

Het ecologisch functioneren van het Veerse Meer 2005-2023

Synthese



Het ecologisch functioneren van het Veerse Meer 2005-2023

Synthese

Auteur(s)

Theo Prins

Arno Nolte

Sabrina Couvin Rodriguez

Luuk van der Heijden

Lora Buckman

Het ecologisch functioneren van het Veerse Meer 2005-2023
Synthese

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zee en Delta
Contactpersoon	de heer Jan Willem Slager de heer E. van Zanten
Referenties	SITO-PS 2023 WBK12 - Kennis voor gebiedsbenadering ZW-Delta
Trefwoorden	Veerse Meer, waterkwaliteit, zuurstof, watersysteem, klimaatadaptatie

Documentgegevens	
Versie	1.1
Datum	01-03-2024
Projectnummer	11209251-000
Document ID	11209251-000-ZKS-0012
Pagina's	92
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
	Theo Prins	
	Arno Nolte	
	Sabrina Couvin Rodriguez	
	Luuk van der Heijden	
	Lora Buckman	

Samenvatting

In juni 2004 is de uitwisseling van water tussen Veerse Meer en Oosterschelde sterk verbeterd door de ingebruikname van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk (de 'Katse Heule'). In 2008 is het peilbeheer aangepast, waarbij het winterstreefpeil is verhoogd. Het doorlaatmiddel heeft in de eerste jaren geresulteerd in wezenlijke verbeteringen van de waterkwaliteit en de ecologie van het Veerse Meer.

De laatste jaren is duidelijk geworden dat er problemen optreden in het Veerse Meer rond waterkwaliteit, waterbodem en ecologie, ondanks de opgetreden verbeteringen als gevolg van het doorlaatmiddel en het aangepaste peilbeheer. Die problemen betreffen o.a. het optreden van vissterfte in 2019 en 2020, verandering in soortensamenstelling en afname in biomassa van de bodemdierengemeenschap, het voorkomen van *Beggiatoa* bacteriematten op de bodem, het niet behalen van doelen voor de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000 en overlast voor gebruikers door grote dichtheden van kwallen en hoge biomassa van wieren.

In 2023 is een rapport gepubliceerd met een systeemanalyse waarin, op basis van beschikbare meetgegevens, modelresultaten en kennis, de huidige problemen rond waterkwaliteit en ecologie en de mogelijke oorzaken zijn beschreven.

Het voorliggende rapport gaat nader in op de oorzaken van de huidige waterkwaliteit en ecologie, de toestand en trends in de tijd en kennisleemtes. Daarnaast is het doel antwoord te geven op de vraag: Welke oplossingsrichtingen zijn in beeld om de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer toekomstbestendig te realiseren?.

Karakteristiek voor het Veerse Meer is het optreden van gelaagdheid door opwarming van de oppervlaktelaag van de waterkolom. Deze gelaagdheid leidt tot zuurstofarme condities in de diepe waterlaag onder de spronglaag, die zich op 5-10 m diepte bevindt. Dit treedt vooral op in het deel ten westen van de Middelpalen. Daar is de zuurstofvraag van de bodem hoger dan de aanvoer via verversing met zuurstofrijk water vanuit de Oosterschelde. Er zijn aanwijzingen uit metingen dat de laatste jaren (2020-2022) de zuurstofcondities onder de spronglaag in dit deel van het Veerse Meer zijn verslechterd ten opzicht van de periode 2005-2011.

De bodemdierengemeenschap in de diepere delen (dieper dan NAP-2 m) van het Veerse Meer is in 2019-2021 sterk achteruit gegaan in biomassa en toont een geleidelijke verandering in soortensamenstelling. Nog onzeker is in welke mate dit wordt veroorzaakt door de zuurstofcondities en wat de invloed van andere omgevingsfactoren is. Op de bodem van het Veerse Meer worden bacteriematten waargenomen die indicatief zijn voor zuurstofarme omstandigheden in het sediment.

Modelberekeningen van een aantal maatregelscenario's laten zien dat het verlagen van de nutriëntenbelasting van het Veerse Meer de sterkste positieve effecten heeft op de zuurstofhuishouding, met verlaging van nutriënten- en fytoplanktonconcentraties en verlaging van de fytoplankton primaire productie. Het effect van verhoogde uitwisseling met de Oosterschelde is minder groot.

Klimaatadaptatiepaden zijn opgesteld om te verkennen welke strategieën van maatregelenpakketten bijdragen aan een toekomstbestendig Veerse Meer, gegeven het feit dat zeespiegelstijging op termijn leidt tot minder uitwisseling met de Oosterschelde via de Katse Heule. In deze eerste verkenning is geconcludeerd dat een betere definitie van te bereiken doelen voor waterkwaliteit en ecologie en een beter begrip van oorzaak-effect relaties nodig is voor een verdere uitwerking. Het is waarschijnlijk mogelijk om met optimalisatie van de

inzet van Katse Heule de uitwisseling met de Oosterschelde te vergroten, wat in ieder geval voor de komende 10 jaar de uitwisseling op peil kan houden binnen de mogelijke ontwikkeling van de zeespiegelstijging.

Er worden aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek om de kennis over de causale verbanden en achterliggende oorzaken van de zuurstofproblematiek en de effecten op het ecologisch functioneren van het meer te verdiepen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Doel van dit rapport	9
1.3	Leeswijzer	10
2	Wat is de huidige toestand van het watersysteem Veerse Meer?	11
2.1	Het fysieke systeem	11
2.2	Huidige problemen rond waterkwaliteit en ecologie	13
2.2.1	Zuurstofhuishouding	13
2.2.2	Bodemgemeenschap	15
2.2.3	Vissen	17
2.2.4	Wieren	18
2.2.5	Kwallen	18
2.2.6	Beoordeling volgens Kaderrichtlijn Water	18
2.2.7	Vogelrichtlijn	19
2.3	Samenvattend	19
3	Wat weten we over de achterliggende oorzaken?	20
3.1	Zuurstof	20
3.1.1	Zuurstofvraag van het sediment	21
3.1.2	Bronnen van organisch materiaal: primaire productie	22
3.1.3	Andere bronnen van organisch materiaal	23
3.1.4	Invloed van watertemperatuur op de zuurstofhuishouding	24
3.1.5	Wat weten we zeker?	24
3.1.6	Wat zijn de leemtes in kennis?	25
3.2	Bodemdieren	26
3.2.1	Wat weten we zeker?	26
3.2.2	Wat zijn de leemtes in kennis?	27
3.3	Vogels	27
3.3.1	Wat weten we zeker?	28
3.3.2	Wat zijn de leemtes in kennis?	28
3.4	Overige ecosysteemelementen	28
3.4.1	Vissen	28
3.4.2	Wieren	28
3.4.3	Zeegras	28
3.4.4	Kwallen	28
3.4.5	Wat weten we zeker?	29
3.4.6	Wat zijn de leemtes in kennis?	29
3.5	Effecten van klimaatverandering	29
3.5.1	Wat weten we zeker?	29
3.5.2	Wat zijn de leemtes in kennis?	29

3.6	Samenvattend	30
4	Oplossingsrichtingen	31
4.1	Te bereiken doelen	31
4.2	Mogelijke maatregelen	31
4.2.1	Lokale maatregelen	32
4.2.2	Grotere ingrepen	32
4.2.2.1	Verbetering uitwisseling/doorstroming	32
4.2.2.2	Vermindering van de nutriëntenbelasting	32
5	Modelanalyse van mogelijke maatregelen	34
5.1	Maatregelscenario's	34
5.2	Vergelijking van de effecten van maatregelen	35
5.3	Effecten van maatregelscenario's; modelresultaten met het grofmazig modelgrid	36
5.3.1	Nutriëntenconcentraties	36
5.3.2	Chlorofyl en primaire productie	37
5.3.3	Zuurstofhuishouding	38
5.4	Gevoeligheidsanalyse effect lichtklimaat	39
5.5	Scenarioberekeningen met het fijnmazig modelgrid	39
5.5.1	Verschil in resultaten tussen grofmazig en fijnmazig grid	39
5.5.2	Effect van stoppen van de afvoer van polderwater	42
5.6	Conclusies modelberekeningen	44
5.6.1	Polderwater afsluiting	44
5.6.2	Maximale uitwisseling met Oosterschelde	45
5.6.3	Overige scenario's	45
6	Adaptatiepaden klimaat	46
6.1	Vraagstelling	46
6.2	Aanpak: adaptatiepaden	46
6.3	Afbakening	46
7	Conceptueel raamwerk adaptatiepaden	48
7.1	Bouwstenen van adaptatiepaden	48
7.2	Basiselementen van adaptatiepaden	49
7.3	Samenhang knikpunt, scenario's en maatregel(en)	50
8	Werkwijze adaptatiepaden	52
8.1	Doelbereik: selectie indicatoren voor ecologische waterkwaliteit	52
8.2	Definitie scenario's (externe factoren)	53
8.3	Maatregelen	55
8.4	Kwantificering indicatoren in relatie tot knikpunten	56
8.4.1	Balansmodel klimaatrobuustheidsstudie	56
8.4.2	Balansmodel relatie uitwisseling-nutriëntenvracht	57
8.4.3	Capaciteit Katse Heule in relatie tot zeespiegelstijging	58

9	Adaptatiepaden: resultaat	60
9.1	Adaptatiepad 1: Vergroten uitwisseling oostzijde (Katse Heule)	61
9.2	Adaptatiepad 2: Reduceren nutriëntenvracht	62
9.3	Adaptatiepad 3: Vergroten doorstroming via westzijde	63
9.4	Samenvattend en concluderend	64
10	Afsluitende beschouwing	66
11	Aanbevelingen	68
12	Referenties	69
A	Berekening zuurstofindex-score	72
B	Gevoeligheidsanalyse model	73
C	Achtergrondinformatie methode dynamische adaptatiepaden	77
D	Indicatoren	81
E	Maatregelen	86

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In juni 2004 is de uitwisseling van water tussen Veerse Meer en Oosterschelde sterk verbeterd door de ingebruikname van het doorlaatmiddel in de Zandkreeksdam (de 'Katse Heule'). In 2008 is het peilbeheer aangepast, waarbij het winterstreefpeil met twee tussenstappen is verhoogd van NAP-0,6 m naar NAP-0,3 m sinds 2011.

In het laatste bekkenrapport, met een beschrijving van de periode 2000-2014, is geconcludeerd dat het doorlaatmiddel heeft geresulteerd in wezenlijke veranderingen van de waterkwaliteit en de ecologie van het Veerse Meer (Prins & Vergouwen 2015). De waterkwaliteit is verbeterd door daling van de nutriëntenconcentraties en sterke afname van bloeien van fytoplankton en zeesla. Door de toename van de saliniteit na de ingebruikname van het doorlaatmiddel heeft het Veerse Meer een meer marien karakter gekregen, wat terug te zien is in de soortensamenstelling van fytoplankton, wieren, bodemdieren, vissen en vogels.

De laatste jaren is duidelijk geworden dat er problemen optreden in het Veerse Meer rond waterkwaliteit, waterbodem en ecologie, ondanks de opgetreden verbeteringen als gevolg van het doorlaatmiddel en het aangepaste peilbeheer. Voorbeelden hiervan zijn het optreden van vissterfte in 2019 en 2020, aanwijzingen voor een verandering in soortensamenstelling en afname in biomassa van de bodemdierengemeenschap, het voorkomen van *Beggiatoa* bacteriematten op de bodem, overlast voor recreanten door grote dichtheden van kwalen en hoge biomassa van wieren (Houtekamer & van Kleef 2021).

In het actieprogramma behorend bij de Gebiedsvisie Veerse Meer 2020-2030¹ (Provincie Zeeland 2021) is 'Onderzoek naar alle oorzaken/gevolgen verminderde waterkwaliteit + opvolgen door opstellen oplossingsgericht actieprogramma op basis van resultaten onderzoek' als actie benoemd. Rijkswaterstaat Zee en Delta is trekker van deze actie.

In het kader van die actie heeft Deltares gewerkt aan de klimaatrobustheid van het huidige beheer geanalyseerd (Maarse *et al.* 2021), de ontwikkeling van een waterkwaliteitsmodel voor het Veerse Meer (Buckman *et al.* 2022), en een systeemanalyse uitgevoerd (Prins *et al.* 2023).

In dit rapport worden de resultaten van drie vervolgwerkzaamheden vastgelegd: 1) een synthese van de huidige inzichten, 2) een modelmatige doorrekening van het effect van een aantal mogelijke maatregelen en 3) een onderzoek van adaptatiepaden.

1.2 Doel van dit rapport

Begin 2023 is de systeemanalyse van het Veerse Meer gepubliceerd (Prins *et al.* 2023). In dat rapport is, op basis van beschikbare meetgegevens, modelresultaten en kennis, een uitgebreide analyse gemaakt van de huidige problemen rond waterkwaliteit en ecologie en is beschreven wat de mogelijke oorzaken zijn.

¹ De Gebiedsvisie Veerse Meer 2020-2030 heeft als doel de kwaliteiten van het gebied te borgen en te versterken, waarbij waterveiligheid, natuur, (verblijfs)recreatie, landbouw, visserij, leefbaarheid en landschap met elkaar in balans zijn. Dit moet ervoor zorgen dat het gebied ook in 2030 en ver daarna toegankelijk en aantrekkelijk blijft voor haar verschillende functies en gebruikers. (Provincie Zeeland, 2021)

Het doel van dit rapport is enerzijds de oorzaken van de matige waterkwaliteit en ecologie te beschrijven en anderzijds de toestand en trends in de tijd te schetsen. Daarnaast is het doel antwoord te geven op de vraag: **Welke oplossingsrichtingen zijn in beeld om de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer toekomstbestendig te realiseren?**

Het voorliggende rapport bevat, op basis van de eerder uitgevoerde analyse, een beschrijving van de huidige toestand van het Veerse Meer, conclusies over de oorzaken en kennislacunes. Vervolgens worden de resultaten van modelanalyses ten behoeve van een verkenning van mogelijke oplossingsrichtingen, beschreven. Tot slot wordt ingegaan op de klimaatrobustheid van mogelijke maatregelen en worden klimaatadaptatiepaden uitgewerkt. Bij de besluitvorming over maatregelen moet rekening gehouden worden met de te verwachten effecten van klimaatverandering

Het rapport richt zich op de ecologie en waterkwaliteit in de periode na de ingebruikname van de Katse Heule. De terrestrische natuur maakt geen onderdeel van dit onderzoek.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit een aantal onderdelen.

Het eerste deel geeft een synthese van de huidige inzichten in de problemen rond waterkwaliteit en ecologie en in de achterliggende oorzaken. De huidige toestand van het Veerse Meer wordt beschreven in Hoofdstuk 2. In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de mogelijke achterliggende oorzaken, wordt samengevat wat we inmiddels met zekerheid kunnen zeggen over de problemen rond waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer en de oorzaken, en worden de belangrijkste kennisleemtes beschreven. Hoofdstuk 4 bespreekt mogelijke oplossingsrichtingen. Vervolgens is voor een selectie van mogelijke maatregelen een verkenning uitgevoerd met behulp van een ecosysteemmodel van het Veerse Meer, waarmee de effecten van een selectie van maatregelen op de waterkwaliteit is gekwantificeerd (Hoofdstuk 5).

Vervolgens wordt in het tweede deel ingegaan op de ontwikkeling van klimaatadaptatiepaden voor het Veerse Meer. Een algemene inleiding op de aanpak wordt beschreven in Hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 wordt het gehanteerde conceptuele raamwerk voor het opstellen van de adaptatiepaden geïntroduceerd, inclusief een definitie van de relevante terminologie. Hoofdstuk 8 beschrijft de bouwstenen van de adaptatiepaden, te weten het doelbereik voor ecologische waterkwaliteit, de externe scenario's, de maatregelen en tenslotte de effectiviteit van maatregelen. In hoofdstuk 9 worden de adaptatiepaden opgebouwd uit de verschillende bouwstenen en worden de verschillende adaptatiestrategieën beschreven.

Tot slot, geeft hoofdstuk 10 een afsluitende beschouwing en worden in Hoofdstuk 11 aanbevelingen gegeven voor de volgende stappen.

2 Wat is de huidige toestand van het watersysteem Veerse Meer?

2.1 Het fysieke systeem

Door de aanleg van de Zandkreekdam (1960) en de Veerse Gatdam (1961) is het Veerse Gat veranderd van een getijdesysteem met schorren, slikken, platen en getijdegeulen in een stagnant brakwatermeer. Vanwege waterkwaliteitsproblemen is in 2004 het doorlaatmiddel de Katse Heule in de Zandkreekdam in gebruik genomen waarmee de wateruitwisseling tussen het Veerse Meer en de Oosterschelde sterk is vergroot.

Het Veerse Meer heeft nog een aantal kenmerken van het oude getijdesysteem, zoals de aanwezigheid van een langgerekte diepe geul met putten tot ca. 25 m diepte afgewisseld met minder diepe drempels. De diepe delen van het Veerse Meer (dieper dan 8 m) vormen 22% van het totale oppervlak en 18% van het volume van het meer. De zone tussen 4-8 m vormt ongeveer 25% van het oppervlak en volume. Een groot deel van het meer (ca. 50%) betreft ondiep water tot 4 m diepte.

Door het in- en uitlaten van water via de Katse Heule heeft het Veerse Meer een gering getij (<10 cm). Negen poldergemalen lozen direct op het Veerse Meer, daarnaast lozen gemalen op het Kanaal door Walcheren, dat via schutverlies bij de sluis Veere ook water naar het Veerse Meer afvoert (Figuur 2-1).

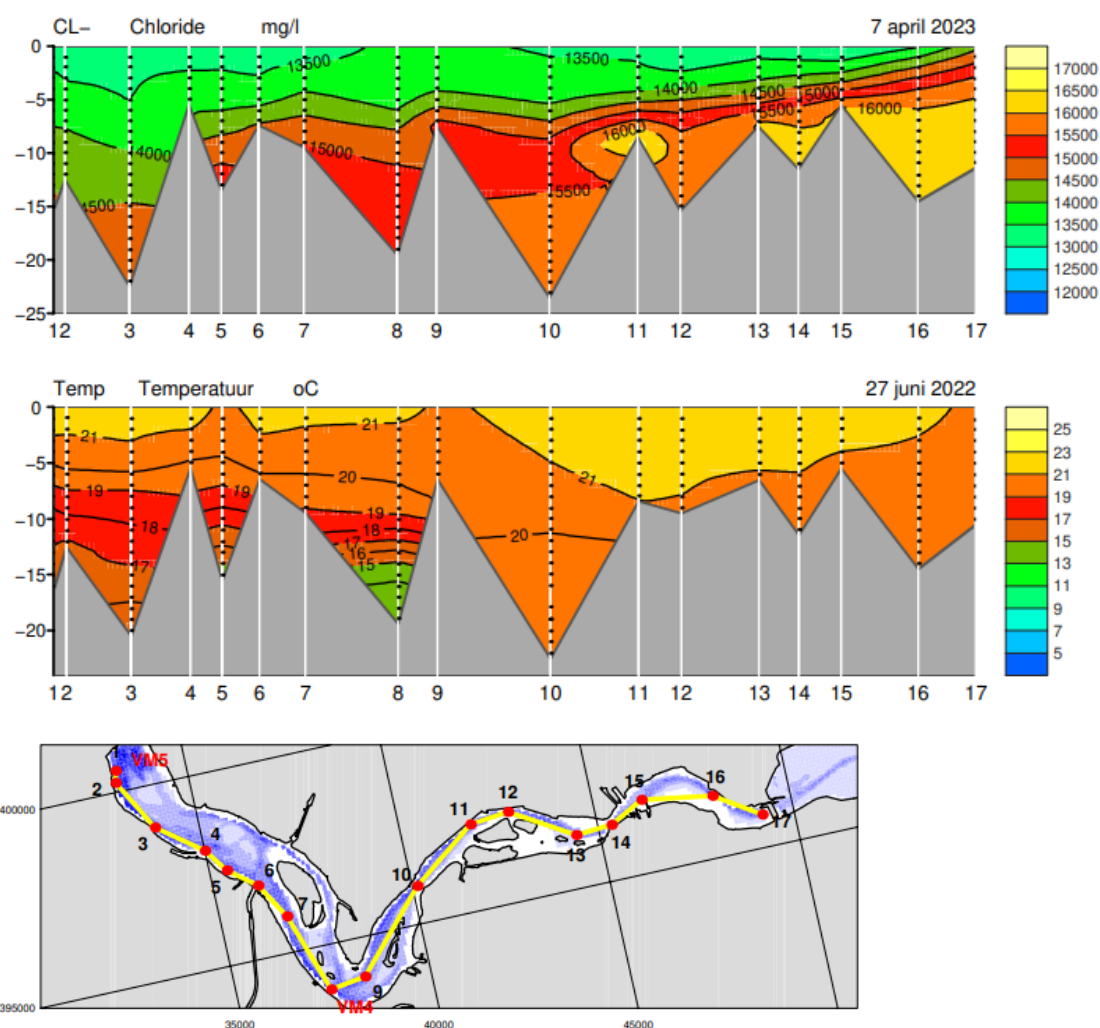
Via de poldergemalen en door neerslag komt zoet/brak water in het Veerse Meer, waardoor de saliniteit (jaargemiddeld 25-30) lager is dan in de Oosterschelde (jaargemiddeld 30-33). De combinatie van een beperkte waterbeweging en de aanwezigheid van diepe delen leidt tot gelaagdheid van de waterkolom in de zomerperiode. Een gelaagdheid ontstaat als een waterlaag met lagere dichtheid 'drijft' op een laag waarvan de dichtheid hoger is. Water heeft een lagere dichtheid bij een hogere temperatuur of lager zoutgehalte. Hoe groter het verschil in dichtheid, hoe sterker de gelaagdheid. Dit verschijnsel wordt ook wel stratificatie genoemd.



Figuur 2-1 Kaart van het Veerse Meer met de poldergemalen (blauwe stippen), de sluizen (zwarte driehoeken) en het doorlaatmiddel (rode pijl).

Gelaagdheid door verschil in zoutgehalte ontstaat vooral in tijden van hoge polderwaterafvoeren. In de zomerperiode leidt opwarming van de bovenste laag van het water tot een sterke gelaagdheid veroorzaakt door temperatuurverschillen. Figuur 2-2 laat voorbeelden zien van zoutstratificatie en temperatuurstratificatie, gemeten door op 16 punten in het Veerse Meer over de hele waterkolom van oppervlak tot bodem sensormetingen te doen (de zogenaamde “TSO” metingen²).

De ingebruikname van de Katse Heule in 2004 heeft geleid tot aanzienlijk meer uitwisseling van water met de Oosterschelde en daardoor meer verversing van het water in het Veerse Meer. Die verversing heeft geresulteerd in een kleiner aandeel zoetwater, hogere zoutgehaltes (bijna een verdubbeling), 40-60% lagere concentraties van nutriënten (stikstof en fosfaat) en veel lagere concentraties van fytoplankton en zeesla. De waterkwaliteit is daarmee aanzienlijk verbeterd. De verversing is onvoldoende om in de westelijke helft van het meer het optreden van gelaagdheid in de zomer te voorkomen (Prins & Vergouwen 2015).



Figuur 2-2 Voorbeeld van het optreden van gelaagdheid in het Veerse Meer als gevolg van verschillen in zoutgehalte op 7 april 2023 (boven) en verschillen in temperatuur op 24 juni 2022 (midden), gemeten in de TSO metingen. De meetpunten 1 t/m 16 liggen op een transect van west naar oost zoals weergegeven in de kaart.

² “Temperature, Salinity, Oxygen”, voor resultaten zie <https://waterberichtgeving.rws.nl/monitoring/tso-metingen/veerse-meer>

2.2 Huidige problemen rond waterkwaliteit en ecologie

De huidige toestand van het Veerse Meer wordt gekenmerkt door problemen rond waterkwaliteit en ecologie op drie verschillende niveaus. Allereerst zijn er problemen rond het niet voldoen aan wettelijke vereisten, zoals de doelen voor de Kaderrichtlijn Water en de instandhoudingsdoelen voor de Vogelrichtlijn / Natura 2000. Naast deze wettelijke vereisten zijn er problemen ten aanzien van het functioneren van het Veerse Meer als gezond en robuust ecosysteem die niet altijd tot uiting komen in het niet behalen van doelen voor KRW of Natura 2000. Tot slot zijn er problemen die voortvloeien uit klachten of beleving van gebruikers van het Veerse Meer, die niet noodzakelijkerwijs samenhangen met een probleem voor het ecosysteem Veerse Meer.

2.2.1 Zuurstofhuishouding

Zoals hierboven beschreven, treedt er gelaagdheid op in het Veerse Meer. Als gevolg van zuurstofverbruikende processen zoals afbraak van bezonken organisch materiaal in de bodem neemt, bij gelaagdheid, de zuurstofconcentratie in de diepere delen van de waterkolom (onder de spronglaag) af. In de bovenlaag wordt de zuurstofconcentratie aangevuld door uitwisseling met de atmosfeer, maar door de gelaagdheid is er nauwelijks uitwisseling van zuurstofrijk water in de bovenlaag met zuurstofarm water in de onderlaag. De spronglaag vormt daarmee de overgang tussen de diepe zuurstofarme waterlaag en de ondiepe zuurstofrijke bovenlaag.

In de zomerperiode treedt er regelmatig gelaagdheid op die meerdere weken kan aanhouden, waardoor de zuurstofconcentraties in de diepere delen van het Veerse Meer dalen tot concentraties die lager zijn dan de drempelwaarde die gehanteerd wordt voor een gezond watersysteem (60% verzadiging, <5-6 mg/l; van der Molen *et al.* 2018). Soms komen de concentraties zelfs onder 2 mg/l, het niveau waarbij sterfte van bodemdieren en vis gaat optreden (Diaz & Rosenberg 2008, Vaquer-Sunyer & Duarte 2011).

In een eerder dit jaar gepubliceerde analyse (Prins *et al.* 2023) is geconcludeerd dat de diepte waarop de spronglaag voorkomt kan variëren, maar in het algemeen tussen 5-10 m diepte ligt. De laagste zuurstofconcentraties onder de spronglaag treden op in de zomermaanden juni-augustus. Boven de spronglaag zijn de zuurstofconcentraties in die periode in het hele meer gelijk en is er geen sprake van een duidelijke trend in zuurstofverzadiging. In Figuur 2-3 is het 25-percentiel van de zuurstofconcentraties weergegeven. Het 25-percentiel geeft de concentratie weer waarbij 25% van de metingen lager is dan die concentratie. Die waarde is hier gebruikt omdat dit een beter beeld geeft van de laagste concentraties die optreden en daarmee van het optreden van zuurstofarme condities.

In het oostelijk deel van het Veerse Meer (tussen de Middelpaten en de Zandkreekdijk) is de gelaagdheid minder sterk en de verversing en menging voldoende om lage zuurstofconcentraties te voorkomen. Hier worden ook zelden zuurstofconcentraties <4 mg/l gemeten (Figuur 2-3).

In de diepere delen in het midden en westelijk deel van het Veerse Meer is er in alle jaren vanaf 2005 in de zomer (maanden juni-augustus) sprake van verlaagde concentraties onder de spronglaag, met de laagste zuurstofconcentraties vooral in de waterlaag dieper dan 8 m. De laagste zuurstofconcentraties worden gemeten in het middendeel van het Veerse Meer. In de waterlaag 5-8 m is, vooral in het middendeel van het Veerse Meer, een verlaging in concentraties opgetreden in 2020-2022, vergeleken met 2005-2011 (Figuur 2-3). Metingen over het hele transect (Figuur 2-2) ontbreken tussen 2012-2020, alleen op meetpunt 10 (Soelekerkepolder oost) zijn in alle jaren metingen gedaan. Daar is de daling in de laagste zuurstofconcentraties (25-percentiel) van 2005 tot 2021 statistisch significant, in de waterlaag tussen 2-5 m maar nog sterker tussen 5-8 m diepte (Figuur 2-4 in Prins *et al.* 2023).

In het westelijk deel (ten westen van Veere) lijkt de gelaagdheid minder stabiel en vindt nog enige verversing van de diepere waterlagen plaats, waardoor de zuurstofconcentraties in die diepe waterlaag wat hoger zijn dan in het middendeel. Het is waarschijnlijk dat dit meer open deel van het Veerse Meer sterker beïnvloed wordt door wind die tot verticaal transport en mogelijk ook scheefstand in het water leidt waardoor de waterlagen enigszins gemengd worden.

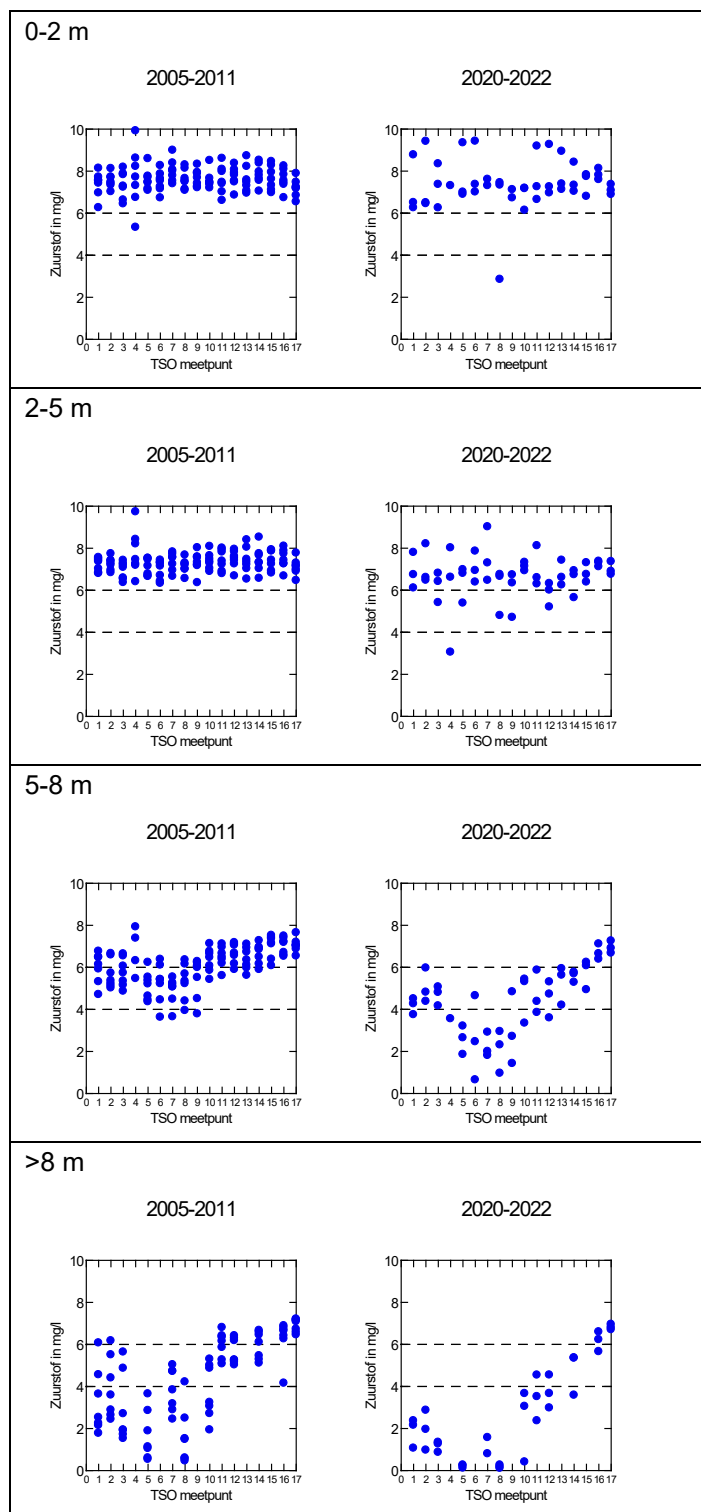
In het middengebied lijkt de onbalans tussen zuurstofaanvoer en zuurstofvraag het grootst in 2020-2022 ten opzichte van 2005-2011, zoals blijkt uit de daling in zuurstofconcentraties dieper dan 5 m in dit deel van het meer.

Er zijn verschillen binnen het meer van west naar oost. Daarnaast zijn er veranderingen in de zuurstofcondities over de periode 2005-2022, met een achteruitgang in vooral de waterlaag tussen 5-8 m in het midden en westelijk deel van het Veerse Meer.

Uit de analyse van de TSO metingen (Prins *et al.* 2023) blijkt ook dat er verschillen zijn tussen jaren in de sterkte van de gelaagdheid. Er zijn jaren met een minder sterke gelaagdheid (berekend uit het dichtheidsverschil tussen de oppervlaktelaag en de bodemlaag van de waterkolom) wat vooral komt door minder grote temperatuurverschillen. Bij een minder sterke gelaagdheid waren de gemeten zuurstofconcentraties bij de bodem hoger.

Binnen een zomerseizoen zijn er ook verschillen. Het beeld dat er in de zomer altijd gelaagdheid is waarna zuurstofuitputting in de diepe waterlaag optreedt, verdient nuancering. De diepte van de spronglaag op meetpunten in het westelijk en middendeel van het Veerse Meer kan over een periode van enkele weken in de maanden juni-augustus sterk variëren, tussen ca. 5-10 m. De spronglaag kan tijdelijk verdwijnen en daarna weer terug komen. Dit leidt er toe dat, over de zomerperiode, de zuurstofconcentraties beneden 5 m diepte sterk kunnen wisselen tussen slecht (<4 mg/l) en goed (>6 mg/l). Het is ook niet zo dat gedurende juni-augustus sprake is van één aaneengesloten periode van verlaagde zuurstofconcentraties. Opeenvolgende TSO metingen laten soms een afwisseling zien tussen momenten met lagere en hogere zuurstofconcentraties. In de eerder gepubliceerde systeemanalyse (Prins *et al.* 2023) geeft Bijlage 1 de resultaten van verticale profielmetingen van dichtheid en zuurstofconcentratie op de diepste TSO meetpunten in de jaren 2020-2022. Die profielen geven inzicht in de sterke variatie in gelaagdheid en zuurstofconcentraties over de zomerperiode. Het ontbreekt op dit moment nog aan goed inzicht in de achterliggende oorzaken voor deze variatie. Weersinvloeden spelen mogelijk een rol maar dit vereist nog een meer gedetailleerde analyse.

Volgens de KRW methodiek wordt de toestand voor zuurstof beoordeeld als 'Goed'. In de KRW beoordeling wordt alleen de zuurstofverzadiging bij het oppervlak beoordeeld. Die beoordelingsmethodiek is niet geschikt voor gestratificeerde zoute meren als Veerse Meer en Grevelingen waar de zuurstofuitputting in de diepere waterlagen optreedt.



Figuur 2-3 25-percentiel van de zuurstofconcentratie in juni-augustus (ieder punt staat voor een jaar) op de TSO meetpunten in vier waterlagen in 2005-2011 en 2020-2022. De onderbroken lijnen geven concentraties van 4 en 6 mg/l aan. De meetpunten zijn weergegeven in de kaart in Figuur 2-2

2.2.2

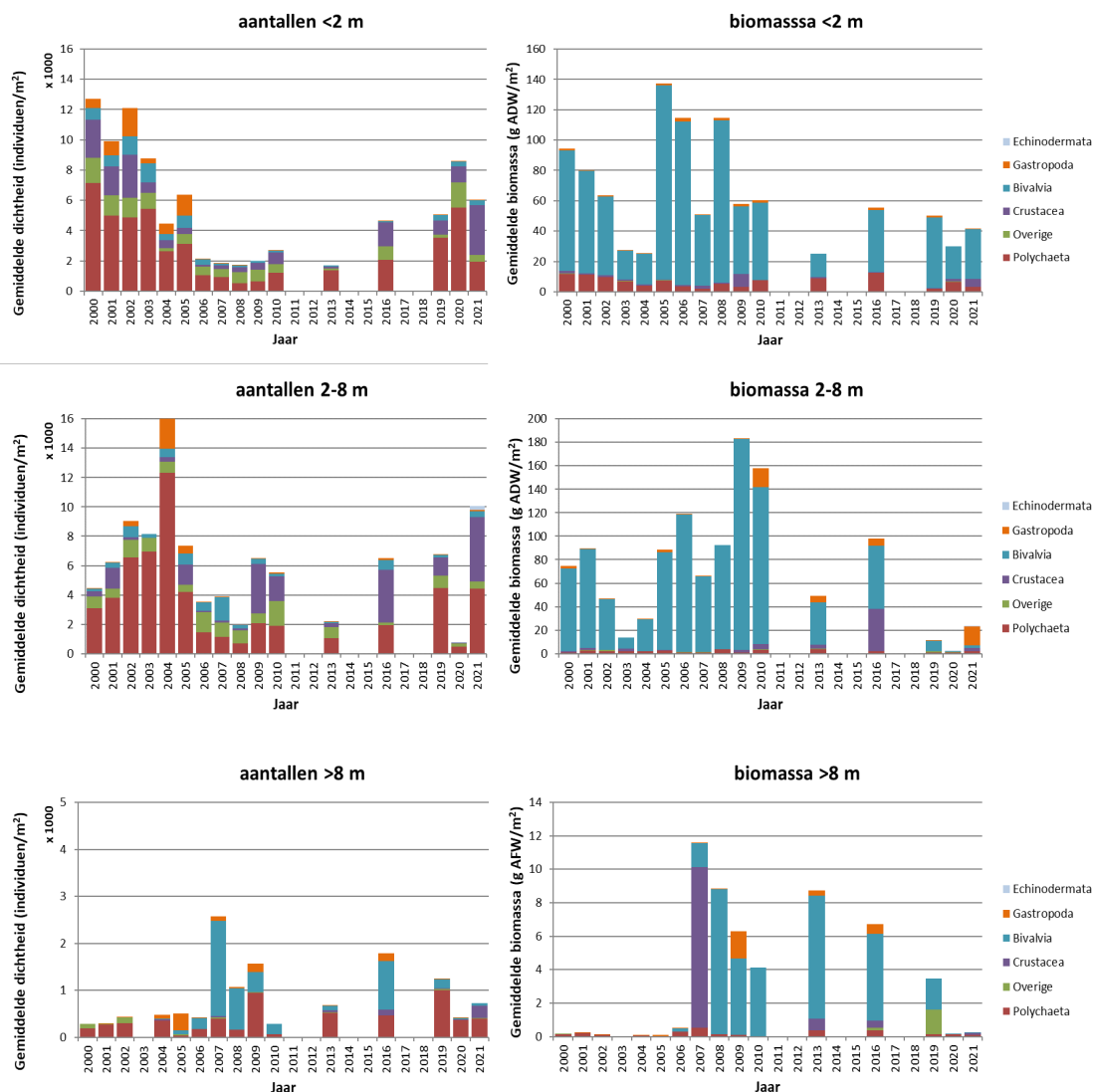
Bodemgemeenschap

Na de ingebruikname van de Katse Heule was er in de eerste jaren een toename van schelpdierbiomassa in de ondiepe zone (0-2 m) te zien in de MWTL bestandsopnames. Na

2008 is de biomassa weer lager. In biomassa zijn schelpdieren de belangrijkste groep, de meest dominante soorten in dichtheid zijn de strandgaper en de Filipijnse tapijtschelp, in biomassa is dat de Japanse oester. Sinds 2019 is dichtheid van borstelwormen sterk toegenomen. In de diepere zones (2-8 m, >8 m) is in 2019 en vooral in 2020 is een grote afname in de biomassa van schelpdieren opgetreden (Figuur 2-4). Door de ontbrekende jaren en de, van nature, grote variatie is het niet mogelijk om vast te stellen of hier sprake is van een doorgaande trendmatige achteruitgang over de periode 2008-2020. De biomassa op deze dieptes wordt gedomineerd door het muiltje. Data van 2021 laten zien dat er enig herstel is in dichtheid en biomassa in de dieptelaag 2-8 m en er dus niet consequent sprake lijkt van een doorgaande afnemende trend (van der Jagt *et al.* 2022a). Wel kan geconcludeerd worden dat de afname in biomassa in 2019-2020 ongekend groot was. Ook is er dieper dan 8 m geen herstel in dichtheid en biomassa van schelpdieren in 2021. Naast de MWTL metingen van Rijkswaterstaat wordt, sinds 2017, in het kader van het schelpdiervisserijbeleid de omvang van de bestanden van commercieel interessante schelpdieren onderzocht. In het Veerse Meer zijn Japanse en platte oester, Filipijnse tapijtschelp, mossel en kokkel de belangrijkste soorten. De Japanse oester wordt sinds 2018 bemonsterd en vormt met ruim 30 miljoen kg natgewicht meer dan 80% van de biomassa van deze soorten. In aantal is de Filipijnse tapijtschelp de meest dominante commerciële soort (Troost *et al.* 2018; 2021; 2022; 2023, van Zwol *et al.* 2019, van der Pool *et al.* 2020). De meerderheid van de soorten komt voor in het midden en westelijk deel van het Veerse Meer. In 2020 waren de bestanden van Japanse oester, mossel, kokkel en Filipijnse tapijtschelp sterk afgenomen ten opzichte van 2019, mogelijk als gevolg van hoge zomertemperaturen (Troost *et al.* 2021). De inventarisatie gaat tot een diepte van 10 m en is niet geschikt voor ingegraven soorten. Ondieper dan 1 m kan ook niet worden bemonsterd en van der Pool *et al.* (2020) geven aan dat het daarom aannemelijk is dat met name de bestanden van oesters en mossels onderschat worden.

In de KRW maatlat voor bodemdieren was de beoordeling voor bodemdieren in 2009 en 2015 'Goed', in 2021 'Matig' (IenW 2022) maar in 2023 weer 'Goed' (RWS 2023). De beoordeling wisselt per jaar en wordt ook beïnvloed door de gebruikte methodiek (van der Jagt *et al.* 2022a, RWS 2023).

Een ander opvallend fenomeen is het voorkomen van bacteriematten (*Beggiatoa*) in de ondiepere delen van het Veerse Meer. Mogelijk is er sprake van een toename in de bedekking met bacteriematten. Daarvoor zijn anekdotische aanwijzingen uit waarnemingen van duikers, maar dit vraagt nog om een meer kwantitatieve onderbouwing. De zuurstofuitputting dichtbij en in de bodem bevordert de groei van *Beggiatoa* aan het oppervlak van het sediment, omdat *Beggiatoa* gebonden is aan het voorkomen van scherpe gradiënten in zuurstof- en sulfideconcentraties. Dit voorkomen van bacteriematten heeft mogelijk nadelige effecten op bodemdieren.



Figuur 2-4 Bodemdier-dichtheid (links) en -biomassa in asvrij drooggewicht (rechts) in het Veerse Meer per diepteklasse, uitgesplitst in soortgroepen. De schaal van de verticale as verschilt. Bron: van der Jagt *et al.* (2022a)

2.2.3 Vissen

Het Veerse Meer wordt sinds 2016 ieder jaar in het najaar (november) met de boomkor bemonsterd, zodat over 2016-2021 data beschikbaar zijn (van Rijssel *et al.* 2022). Omdat voor slecht zes jaar gegevens beschikbaar zijn is het lastig om iets over trends in soorten te kunnen concluderen. Bot en aal zijn de enige van de tien meest algemene soorten die ook in het zoete water kunnen voorkomen (diadrome soorten). Het merendeel van de soorten zijn mariene soorten. Registratie van vangsten door aalvisserij sinds 2012 laten evenmin duidelijke trends zien (van Rijssel *et al.* 2022).

In de warme zomers van 2019 en 2020 is vissterfte opgetreden, vooral op plekken in het westelijk deel van het Veerse Meer. De meest waarschijnlijke verklaring is dat die sterfte samenhangt met plotseling opgetreden zuurstofloosheid in delen van de waterkolom die anders niet zuurstofloos zijn en/of het vrijkomen van waterstofsulfide uit de waterbodem. De KRW beoordeling van vis was in 2021 en 2023 'Goed' (IenW 2022, RWS 2023).

2.2.4 Wieren

Na ingebruikname van de Katse Heule zijn er veel veranderingen in soortensamenstelling opgetreden (afname van zeesla, toename van roodwieren en Japans bessenwier). In 2021 is een sterke toename van Japans bessenwier, visdraadwier en viltwier waargenomen in vergelijking met de daarvoor uitgevoerde opname uit 2014 (van der Jagt *et al.* 2021b). In 2022 is er juist weer zeer weinig Japans bessenwier waargenomen (van der Jagt *et al.* 2022b).

Doordat er maar voor een beperkt aantal jaren monitoringgegevens beschikbaar zijn is het niet mogelijk uitspraken te doen over trends. De omvang van het bestand wieren verschilt sterk tussen jaren. De grote beschikbaarheid van nutriënten bevordert de groei van wieren, maar de verschillen in biomassa tussen recente jaren wijzen er op dat ook andere factoren een rol spelen, zoals weersomstandigheden (van der Jagt *et al.* 2021b, van der Jagt *et al.* 2022b).

De soms grote hoeveelheid wieren langs de oevers geeft overlast voor zwemmers en recreatievaart. Wiermateriaal kan zich op bepaalde plekken ophopen door wind en stroming. Lokaal kan die bezinking van wiermateriaal ook tot een hogere zuurstofvraag in de oeverzone en stankoverlast leiden.

2.2.5 Kwallen

Japanse kruiskwallen veroorzaken overlast voor zwemmers en komen met name in het oostelijk deel van het Veerse Meer voor, vooral in velden Japans bessenwier. Daarnaast zijn de Amerikaanse ribkwal en de oorkwal veel voorkomend. Er zijn anekdotische aanwijzingen voor een toename van de aantallen, maar onvoldoende meetgegevens voor een harde onderbouwing. Naast de inheemse oorkwal (*Aurelia aurita*) is in het Veerse Meer recent ook een niet-inheemse soort afkomstig uit de Stille Oceaan (*Aurelia coerulea*) in aanzienlijke aantallen waargenomen (Gittenberger *et al.* 2023),

Wierenvelden vormen een habitat voor kruiskwallen, daarnaast bevorderen ook factoren als verhoogde watertemperatuur en eutrofiëring het voorkomen van kwallen (van der Jagt *et al.* 2021a). Mogelijk zijn de benthische stadia van kwallen, de poliepen, minder gevoelig voor zuurstofarme condities (Vaquer-Sunyer & Duarte 2008) en speelt dit ook een rol bij de toename van kwallen in het Veerse Meer (en de Grevelingen).

Kwallen zijn predatoren van o.a. zoöplankton, viseieren en -larven, en de soms hoge dichtheden van kwallen hebben potentieel een effect op het voedselweb, maar door de beperkt beschikbare monitoringgegevens is het niet mogelijk een uitspraak te doen over ecosysteem-effecten.

2.2.6 Beoordeling volgens Kaderrichtlijn Water

De ecologische toestand voor het kwaliteitselement Fytoplankton is gebaseerd op de concentratie van chlorofyl, en is als 'Goed' beoordeeld (IenW 2022, RWS 2023) wat betekent dat de concentratie lager is dan de drempelwaarde van 18 µg/l voor het 90-percentiel over de maanden maart t/m september.

De beoordeling van de ecologische toestand in de KRW voor macrofauna (bodemdieren) wisselt tussen 'Goed' (2015), 'Matig' in 2021 en 'Goed' in 2023 (RWS 2023) en is in het meest recente stroomgebiedsbeheerplan als 'Matig' beoordeeld (IenW 2022). De maatlatscore wordt vooral bepaald door de lage diversiteit. De methodiek van aggregeren van soorten is op verschillende wijzen uitgevoerd in de laatste jaren en is van invloed op het resultaat (van der Jagt *et al.* 2022a). Dit betekent dat de relatie tussen de KRW beoordeling voor de maatlat bodemdieren en de actuele toestand in het Veerse Meer lastig te leggen is.

Voor waterplanten is de KRW beoordeling 'Slecht' vanwege de afwezigheid van zeegras. Zeegras komt niet meer voor in het Veerse Meer. Bij het geleidelijk verdwijnen van zeegras uit het Veerse Meer hebben meerdere factoren een rol gespeeld, zoals verdringing door

zeesla en wisselingen in zoutgehalte (Wolfstein 2004). Wieren tellen in de beoordeling voor de KRW niet mee.

Voor het kwaliteitselement Vis was de beoordeling in 2015 nog 'Matig', maar is deze over de laatste jaren (2021, 2023) 'Goed' (IenW 2022, RWS 2023).

Voor de gebied-specifieke fysisch-chemische parameters is de beoordeling 'Matig' voor opgelost anorganisch stikstof³. Fosfaat wordt niet beoordeeld. De andere parameters worden als 'Goed' beoordeeld.

De chemische toestand onder de KRW in 2023 is 'Goed' als uitgegaan wordt van de niet-ubiquitaire stoffen. Voor kwik en som PBDE, twee ubiquitaire stoffen (dit zijn stoffen die niet meer geloosd worden, maar die door nalevering uit bijvoorbeeld het sediment nog lange tijd in het water kunnen worden aangetroffen) voldoet het Veerse Meer niet aan de norm. Arseen, koper en imidacloprid voldoen evenmin aan de norm. De normoverschrijdingen voor arseen, koper en de ubiquitaire stoffen komen in een groot aantal waterlichamen in Nederland voor en zijn niet specifiek voor het Veerse Meer (IenW 2022). Imidacloprid is een neonicotinoïde en wordt als insectenbestrijdingsmiddel gebruikt. Deze stof voldeed in 2021 wel aan de norm, vóór 2021 is geen KRW beoordeling gedaan.

2.2.7 Vogelrichtlijn

Het Veerse Meer is aangewezen als Natura2000 gebied in het kader van de Vogelrichtlijn. De evaluatie van het huidige beheerplan is in voorbereiding (Heidinga *et al.* in prep.). Drie soorten zijn aangewezen als broedvogel, waarvoor het doelaantal broedparen is beschreven en daarnaast behoud van omvang en kwaliteit van het leefgebied als doel is geformuleerd. Dit betreft de volgende soorten: aalscholver, lepelaar, kleine mantelmeeuw. Geen van deze soorten voldoen nu aan de instandhoudingsdoelen. Daarnaast zijn er 20 soorten waarvoor instandhoudingsdoelen als niet-broedvogel zijn vastgesteld. Voor twee soorten (fuut, middelste zaagbek) geldt de kernopgave behoud foerageergebied. Van deze 20 soorten voldoen 13 soorten niet aan de instandhoudingsdoelen Heidinga *et al.* in prep.).

2.3 Samenvattend

Er is een aantal problemen rond waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer. De zuurstofproblematiek volgt deels uit de fysische omstandigheden die leiden tot het ontstaan van gelaagdheid in de zomermaanden. De vraag is wat de oorzaak is van de verslechtering in zuurstofconcentraties in vooral de waterlaag 5-8 m, die de laatste jaren is waargenomen. Speelt watertemperatuur een rol of zijn er (ook) andere factoren van belang? De kwaliteit van het bodemleven staat onder druk en er is incidentele vissterfte opgetreden. Wieren en kwallen zorgen voor overlast voor recreanten en hebben mogelijk ook ecologische gevolgen. Voor veel beschermde vogelsoorten worden de doelen niet gehaald. De vraag is wat de oorzaak van deze problemen is en of er samenhang is tussen de hier genoemde zuurstofproblemen. Hoofdstuk 3 gaat hier verder op in.

³ De som van ammonium+nitraat+nitriet; ook wel als 'DIN' omschreven: dissolved inorganic nitrogen = $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$

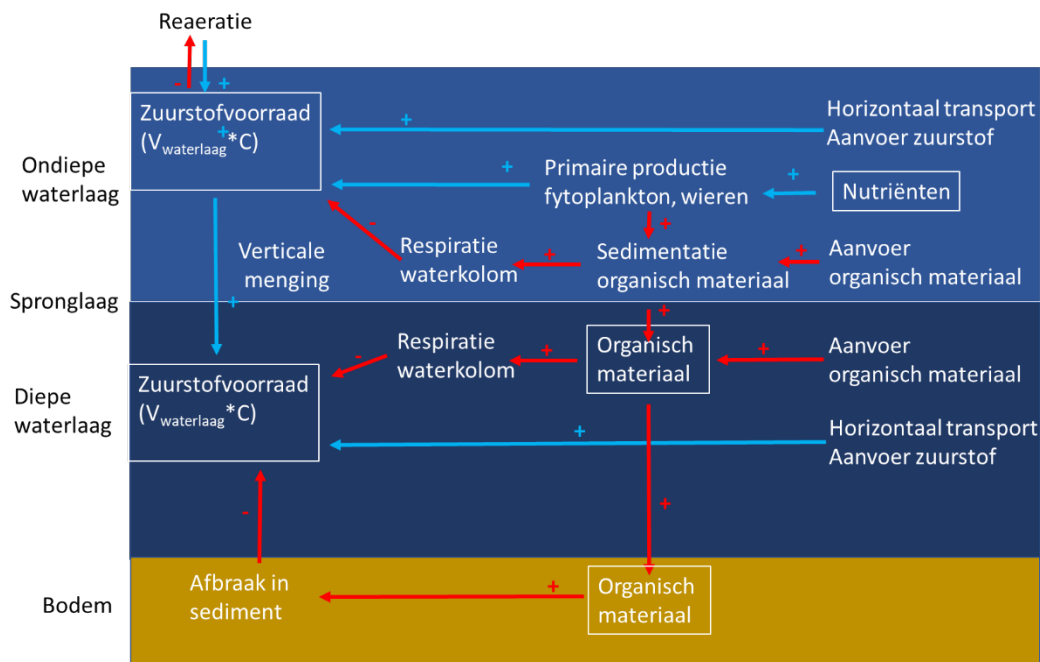
3 Wat weten we over de achterliggende oorzaken?

3.1 Zuurstof

In de zomerperiode en vooral in de diepe delen van het Veerse Meer westelijk van de Middelplaten, zijn de zuurstofconcentraties in de zomer laag in de diepere waterlaag en bereiken waarden die tot sterfte van bodemdieren kunnen leiden. De lage concentraties worden deels veroorzaakt door de gelaagdheid, die in de zomer vooral wordt veroorzaakt door temperatuurstratificatie. Zoutstratificatie komt ook soms voor, vooral in periodes met hoge zoetwaterafvoer en minder in de zomer. Door de gelaagdheid vermindert het verticaal transport van zuurstof naar de diepere waterlaag.

De ingebruikname van de Katse Heule in 2004 heeft de situatie verbeterd in vergelijking met de periode vóór 2004 toen langdurige stratificatie voorkwam en een groot oppervlak van de bodem (ca. 20%) langdurig zuurstofloos was (Holland *et al.* 2004, Craeymeersch & De Vries 2007). Door de grotere uitwisseling met de Oosterschelde is de aanvoer van zuurstofrijk water vergroot en treedt minder langdurig stratificatie op. In het midden en westelijk deel van het Veerse Meer is de verversing van de diepe waterlaag onvoldoende om zuurstofuitputting in de diepere waterlagen te voorkomen. De lange transportweg van water vanaf de Katse Heule naar het westen leidt er toe dat de zuurstofconcentraties door zuurstofvraag (vanuit de bodem en de waterkolom) al verlaagd zijn, voordat het water in dat deel van het meer aankomt, tenzij er onderweg al menging met de waterlaag aan het oppervlak heeft plaatsgevonden. Modelberekeningen laten dit transportpatroon ook zien (Buckman *et al.* 2022).

Voor een beter begrip van de oorzaken van de zuurstofproblemen moet niet alleen naar de aanvoer van zuurstofrijk water door verversing gekeken worden maar ook naar de zuurstofvragende processen in het Veerse Meer (Figuur 3-1). Afbraak van organisch materiaal zorgt voor een zuurstofvraag. Vooral afbraakprocessen in de waterbodem waar het organisch materiaal bezinkt spelen een grote rol. Primaire productie (groei van planktonische algen, wieren en andere waterplanten) is een bron van organisch materiaal. Die primaire productie is afhankelijk van de aanvoer van nutriënten (vooral stikstof en fosfaat) naar het meer en van het lichtklimaat. Er wordt ook organisch materiaal naar het meer aangevoerd via afvoer van polderwater of toevoer van Oosterscheldewater. Hieronder gaan we in op het belang van de verschillende processen.



Figuur 3-1 Schematisch overzicht van de processen die van invloed zijn op de zuurstofhuishouding in de diepe, gestratificeerde waterkolom in het Veerse Meer. Blauwe pijlen geven processen aan met een positief effect op zuurstofbeschikbaarheid, rode pijlen geven een negatief effect aan.

3.1.1

Zuurstofvraag van het sediment

De afbraak van organisch materiaal leidt tot een zuurstofvraag in het water en in de waterbodem. Er zijn geen gegevens van zuurstofverbruik in de waterkolom, maar er zijn wel metingen gedaan in 2022 aan zuurstofverbruik van de waterbodem door Universiteit Utrecht en Radboud Universiteit. De resultaten (Slomp & van Helmond in prep.) laten lage zuurstofconcentraties dicht bij de bodem zien en een hoge zuurstofvraag vanuit het sediment, zowel op ondiepe locaties (ca. 5 m) als op diepe locaties (>15 m). Ook deze metingen lieten zien dat de laagste zuurstofconcentraties voorkomen in het water bij de bodem in het westelijk deel van het Veerse Meer. Uit de metingen blijkt dat er een hogere zuurstofvraag van het sediment is in het oostelijk deel (nabij de Zandkreekdijk), zowel op de ondiepe als op de diepe locatie, dan op de meer westelijke locaties. De gradiënt in zuurstofverbruik door het sediment is dus tegengesteld aan de gradiënt in zuurstofconcentraties in het water nabij de bodem. Aangezien er in slechts één jaar metingen van het zuurstofverbruik zijn uitgevoerd, weten we niet of dit verbruik is toegenomen in de periode 2005-2022.

Het zuurstofverbruik van de bodem varieert tussen 10 mmol m⁻² dag⁻¹ in het westelijk deel van het Veerse Meer tot 100 mmol m⁻² dag⁻¹ in het oosten nabij de Zandkreekdijk. De zuurstofopname in het oostelijk deel is vrij hoog in vergelijking met bijvoorbeeld Grevelingenmeer waar een range van ca. 10-70 mmol m⁻² dag⁻¹ is gemeten (Seitaj *et al.* 2017).

Uit de metingen bleek ook een sterke ophoping van waterstofsulfide in de bodem en incidenteel vrijkomen van waterstofsulfide vanuit de bodem. Waterstofsulfide is zeer giftig en is mogelijk een oorzaak geweest van de vissterfte in 2019 en 2020.

Afbraak van organisch materiaal leidt tot een zuurstofvraag in de waterbodem. De aanvoer van organisch materiaal via sedimentatie en ophoping van organisch materiaal is daarom van invloed op de hoogte van de zuurstofvraag. In de bodemdierbemonstering wordt ook de sedimentsamenstelling bepaald. Eerder is al geconcludeerd dat dicht bij de Zandkreekdijk de fractie fijn sediment was toegenomen tussen 2001-2014 wat verklaard zou kunnen

worden uit bezinking van fijn materiaal afkomstig uit de Oosterschelde (Prins & Vergouwen 2015). Recentere gegevens laten ook zien dat het sediment in het oosten van het Veerse Meer uit fijner materiaal (fractie $<63\ \mu\text{m}$) bestaat dan in het westelijk deel. Ook is het sediment op diepe locaties fijner van samenstelling dan op ondiepe locaties (Verduin *et al.* 2016). Dit alles ondersteunt het beeld dat er fijn sediment bezinkt in de diepere delen van het Veerse Meer en meer in het oosten dan in het westen. Een vergelijking tussen de meest recente metingen (2021) en die van vóór 2018 is lastig door een verandering in de analysemethode (van der Jagt *et al.* 2022a).

Een vraag die met de huidige informatie nog niet beantwoord kan worden, is wat de relatieve bijdrage is van import van organisch materiaal van buiten het Veerse Meer (via Katse Heule of polderwater), in verhouding tot de bijdrage van primaire productie in het Veerse Meer zelf. De volgende twee paragrafen gaan hier verder op in.

3.1.2 Bronnen van organisch materiaal: primaire productie

Primaire productie door fytoplankton is een belangrijke bron van organisch materiaal. In de periode vóór de ingebruikname van de Katse Heule is de primaire productie door fytoplankton geschat op $200\text{--}300\ \text{g C m}^{-2}\ \text{jaar}^{-1}$ (Holland *et al.* 2004). De eerste resultaten van recent uitgevoerde metingen geven een range van $150\text{--}190\ \text{g C m}^{-2}\ \text{jaar}^{-1}$ (pers.med. S. Ciarelli). Het ontbreekt aan meetgegevens van primaire productie over een lange reeks van jaren zodat er geen conclusies kunnen worden getrokken over veranderingen in de tijd. Uitgaand van een productie van $200\ \text{g C m}^{-2}\ \text{jaar}^{-1}$ en een wateroppervlak van ca. 2500 ha, is de totale productie door fytoplankton in de ordegrootte van 5000 ton koolstof per jaar. Uit de gemeten chlorofylconcentraties als maat voor de hoeveelheid (biomassa) fytoplankton blijkt dat de gemiddelde concentraties gedurende het groeiseizoen (maart-september) in 2005-2021 variëren van $5\text{--}11\ \mu\text{g/l}$. Er is geen trendmatige verandering over deze jaren, zodat er geen duidelijke aanwijzing is dat veranderingen in de fytoplanktonproductie een verklaring kunnen zijn voor de verslechtering in de zuurstofconcentraties.

Wieren zijn eveneens een bron een organisch materiaal. Er is maar in een beperkt aantal jaren een opname gemaakt van het bestand aan wieren. Daaruit blijkt dat de omvang van het wierenbestand sterk kan verschillen tussen jaren. Zo was in 2021 een sterke toename van Japans bessenwier, visdraadwier en viltwier waargenomen in vergelijking met de eerdere meting uit 2014 (van der Jagt *et al.* 2021b), maar was er in 2022 juist weer erg weinig Japans bessenwier maar meer visdraadwier (van der Jagt *et al.* 2022b). De reden voor het verschil tussen jaren is niet duidelijk, mogelijk spelen de weersomstandigheden in de winter of het vroege voorjaar een rol.

De biomassa van Japans bessenwier is geschat op ca. $37\ \text{g C m}^{-2}$ op locaties waar het wier groeit (van der Jagt *et al.* 2022b). Als op 20% van het ondiepe deel ($<4\ \text{m}$) van het Veerse Meer Japans bessenwier voorkomt, is dat ca. 10% van het totale oppervlak van het meer. De primaire productie van Japans bessenwier is, op basis van de geschatte biomassa, minder dan $10\ \text{g C m}^{-2}\ \text{jaar}^{-1}$, aanmerkelijk minder dan de schattingen van de fytoplankton primaire productie ($150\text{--}190\ \text{g C m}^{-2}\ \text{jaar}^{-1}$). Voor andere wierensoorten kan deze schatting niet gemaakt worden.

Samenvattend, lijkt de primaire productie van fytoplankton een veel grotere bron van organisch materiaal dan de productie van wieren. Wel is het natuurlijk zo, dat lokaal in de oeverzone grote ophoping van wieren kan voorkomen wat daar tot lokale zuurstofproblemen kan leiden.

De primaire productie wordt vooral bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten en de lichtinstraling en doorzicht. Er is een nutriëntenbalans opgesteld voor de voor de jaren 2011-

2020 (van der Heijden 2021). De berekende belasting van het Veerse Meer met stikstof (N) en fosfaat (P) verschilt tussen jaren met ongeveer een factor 2, zonder een duidelijke trendmatige verandering over de tijd. Poldergemalen vormen de belangrijkste bron (70-75%) in de nutriëntenbalans, gevolgd door het Kanaal door Walcheren (N: 16%, P: 27%; van der Heijden 2021). De nutriëntenconcentraties in het Veerse Meer in de winter laten wel een dalende trend zien, met een daling van ongeveer 40% tussen 2005 en 2021. Die daling kan echter vrijwel geheel verklaard worden uit een lichte stijging van de saliniteit. De uitwisseling met nutriënten-arme Oosterscheldewater is een belangrijke oorzaak van de daling in nutriëntenconcentraties. Ondanks de daling zijn de concentraties van fosfaat nog steeds relatief hoog ($>0,5 \mu\text{M}$) en wordt primaire productie niet beperkt door fosfaat-limitatie (Loebl *et al.* 2009). De concentraties van stikstof worden in de zomermaanden soms zo laag ($<1,5 \mu\text{M}$) dat er kans is op stikstof-limitatie van de primaire productie (Loebl *et al.* 2009). Er is echter geen aanwijzing dat die stikstoflimitatie sterker is geworden in de loop van de jaren.

Modelberekeningen laten zien dat het stoppen van de afvoer van polderwater naar het Veerse Meer (en daarmee een sterke vermindering van de nutriëntenbelasting van het meer) leidt tot een daling van de wintergemiddelde nutriëntenconcentraties tot ongeveer het niveau in de Oosterschelde (zie Hoofdstuk 6). Met die verlaging in nutriëntenbelasting voorspelt het model ook een daling in fytoplankton primaire productie en chlorofylconcentraties en een lichte verbetering in de zuurstofconcentraties in de diepere delen van het midden en westen van het Veerse Meer.

Licht is ook een sturende factor voor de primaire productie. Het gemiddelde doorzicht van de waterkolom, gemeten met een Secchi-schijf, is 20-30 dm. Met het huidige doorzicht vindt productie vooral plaats in de bovenste 6 m van de waterkolom. Er is in de periode 2005-2021 geen trendmatige verandering in het doorzicht die de oorzaak zou kunnen zijn van veranderingen in primaire productie.

Samenvattend, waarschijnlijk is primaire productie van fytoplankton een veel grotere bron van organisch materiaal dan de productie door wieren. Er zijn geen veranderingen vastgesteld in de beschikbaarheid van nutriënten of licht en in de concentraties van fytoplankton, die zouden kunnen wijzen op een verandering in de fytoplankton primaire productie in het Veerse Meer in 2005-2021.

3.1.3 Andere bronnen van organisch materiaal

Polderwater en de uitwisseling met de Oosterschelde kunnen een bron zijn van organisch materiaal. Als dat organisch materiaal in het Veerse Meer achterblijft en daar wordt afgebroken, leidt dit tot een zuurstofvraag bovenop de zuurstofopname die veroorzaakt wordt door lokale (d.w.z. in het Veerse Meer) productie van organisch materiaal (bijv. door fytoplankton en wieren).

Er zijn geen gegevens over de concentraties van organisch stof in het water dat via de poldergemalen wordt geloosd, zodat het niet mogelijk is te schatten hoe groot de bijdrage van poldergemalen is.

Schatting van de import en export van organisch materiaal via de Katse Heule is ook lastig bij gebrek aan goede gegevens. Voor de Grevelingen is vastgesteld dat uitwisseling met de Voordelta via het doorlaatmiddel in de Brouwersdam leidt tot import van organisch materiaal. De hoeveelheid die naar schatting geïmporteerd wordt in de Grevelingen is een factor 10 minder dan de primaire productie (Stronkhorst *et al.* 2021).

Een vergelijking van de concentraties organische stof in Veerse Meer en Oosterschelde laat geen duidelijke verschillen zien. Het is denkbaar dat, bij de import van Oosterschelde water via de Katse Heule tijdens de vloedfase, er sedimentatie optreedt in het Veerse Meer direct

achter de Katse Heule. Metingen van troebelheid in 2020 en 2021 laten zien dat de TSO meetpunten dicht bij de Zandkreeksdam (meetpunt 15, 16) hogere troebelheid hebben dan de andere punten in het Veerse Meer. Dit is een aanwijzing dat er een import is van zwevende stof vanuit de Oosterschelde, wat ook te verwachten is gezien het feit dat het getij in de Oosterschelde tot meer dynamiek en hogere concentraties zwevende stof leidt dan in het Veerse Meer.

Sedimentgegevens laten zien dat het sediment in het oostelijk deel van het Veerse Meer een grotere slibfractie en kleinere mediane korrelgrootte heeft, wat ook wijst op sedimentatie van materiaal (Prins & Vergouwen 2015, van Son & Verduin 2021).

Samenvattend, er zijn wat aanwijzingen dat er import van fijn sediment uit de Oosterschelde is die bezinkt in het Veerse Meer. Onduidelijk is om hoeveel materiaal het gaat en of dit een substantiële bijdrage levert aan de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem. Ook over een eventuele bijdrage van polderwater zijn geen kwantitatieve schattingen te maken. In hoeverre hier sprake is van een geleidelijke verrijking van de bodem met organisch materiaal, over een lange reeks jaren, of dat er sprake is van effecten op een kortere termijn is evenmin bekend.

3.1.4 Invloed van watertemperatuur op de zuurstofhuishouding

De zuurstofvraag van het sediment neemt toe met een stijging van de watertemperatuur, en de oplosbaarheid van zuurstof in water neemt dan juist af. Vóór de ingebruikname van de Katse Heule waren de watertemperaturen nabij de bodem relatief laag ($<10\text{ }^{\circ}\text{C}$) in de zomer. Via de Katse Heule stroomt nu 's zomers warmer Oosterscheldewater naar binnen en zijn de watertemperaturen ook bij de bodem hoger dan voorheen ($>15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Over de periode 2006-2022 is de watertemperatuur in het Veerse Meer (zowel jaargemiddeld als zomergemiddeld) significant toegenomen, met ongeveer $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Omdat we geen gegevens hebben over het zuurstofverbruik door de jaren heen, weten we niet of die temperatuurstijging heeft geleid tot toename van het zuurstofverbruik sinds 2006, maar een temperatuurstijging van $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ heeft waarschijnlijk een beperkt effect (Jørgensen *et al.* 2022).

Mogelijk heeft stijging van de watertemperatuur ook gevolgen voor het optreden van stratificatie. Omdat opwarming zowel in het Veerse Meer als in de Oosterschelde optreedt, kan stratificatie mogelijk sterker worden (door sterke opwarming van de oppervlaktelaag van het Veerse Meer) maar ook zwakker worden als gevolg van instroom van warmer Oosterscheldewater dat tot minder grote verticale temperatuurverschillen leidt.

3.1.5 Wat weten we zeker?

Uit het voorgaande blijkt dat er drie dominante factoren van invloed zijn op de zuurstofconcentraties in het westelijk en middendeel van het Veerse Meer. De eerste factor is de gelaagdheid in de zomer als gevolg van temperatuurverschillen tussen de oppervlaktelaag en de diepere waterlagen die uitwisseling van zuurstof tussen het oppervlak en de diepere waterlaag vermindert. De tweede factor is de zuurstofvraag van de bodem die er toe leidt dat het zuurstof in de diepere waterlagen wordt verbruikt. En de derde factor is de uitwisseling met de Oosterschelde via de Katse Heule en de lange transportweg die het aangevoerde zuurstofrijke Oosterscheldewater aflegt van oost naar west.

In het oostelijk deel van het Veerse Meer (globaal oostelijk van de Middelpalen) lijkt de verversing voldoende om verlaagde zuurstofconcentraties in de diepere waterlaag te voorkomen. In het midden en westelijk deel van het Veerse Meer is de verversing minder en dat leidt tot het regelmatig voorkomen van lage zuurstofconcentraties in de diepe delen in de maanden juni-augustus. De laatste jaren (2020-2022) zijn lagere zuurstofconcentraties waargenomen dan in de periode 2005-2011. Vooral op dieptes rond de spronglaag (5-8 m) is

de situatie verslechterd in 2020-2022. In het middendeel komen lagere concentraties voor dan in het deel westelijk van Veere.

Omdat de gelaagdheid soms doorbroken wordt, vooral in het westelijk deel van het meer, is er geen sprake van permanente zuurstofloosheid gedurende de hele periode juni-augustus. Ook kan de diepte van de spronglaag variëren zodat er een overgangsgebied is tussen het oppervlak en de diepste delen waar de zuurstofconcentratie sterker kan variëren.

In de ondiepe delen van het Veerse Meer, boven de spronglaag, blijft door uitwisseling met de atmosfeer en menging de zuurstofconcentratie in de waterkolom voldoende hoog ondanks zuurstofvraag van het sediment. Wel kan op het grensvlak van water en bodem de zuurstofconcentratie laag worden in de periode juni-september.

In de bodem van het Veerse Meer leiden biochemische afbraakprocessen tot zuurstofloosheid en uiteindelijk tot productie van waterstofsulfide (H_2S). In 2022 zijn hoge concentraties waterstofsulfide gemeten in het sediment op diepe locaties en is incidenteel waterstofsulfide gemeten in de waterkolom.

3.1.6 Wat zijn de leemtes in kennis?

Zuurstofvraag sediment

De grootste vraag is wat de oorzaak is van de relatief hoge zuurstofvraag van het sediment. Wordt dit veroorzaakt door hoge aanvoer van organisch materiaal op korte termijn of is er sprake van opbouw over een langere periode van meerdere jaren?

Ook is de vraag wat de bijdrage is van de verschillende potentiële bronnen van het organisch materiaal? Is de (externe) bijdrage via polderwaterafvoer of via de Katse Heule van belang in vergelijking met de productie van organisch materiaal in het Veerse Meer zelf als gevolg van de primaire productie van fytoplankton? In welke mate is filtratie door bodemdieren (zoals schelpdieren, zakpijpen) van invloed op de hoeveelheid fytoplankton en de aanvoer van organisch materiaal (via feces en pseudofeces) naar de bodem?

Het afsterven van wieren kan lokaal leiden tot een grote zuurstofvraag in de oeverzone en tot stankoverlast, maar op de schaal van het Veerse Meer lijkt de fytoplanktonproductie belangrijker. Echter, er zijn maar beperkt schattingen van de biomassa van wieren beschikbaar.

Vervolgens is de vraag of er sprake van een geleidelijke cumulatie, over meerdere jaren, van organisch materiaal in het sediment en of de zuurstofvraag door het sediment is toegenomen over een periode van meerdere jaren. Is dat een verklaring voor de verslechtering in de zuurstofcondities die vooral in de waterlaag van 5-8 m is waargenomen in de laatste jaren, of speelt bij dat laatste ook verandering in de gelaagdheid mogelijk een rol?

De vraag is ook of toename van de watertemperatuur van invloed is geweest op de zuurstofvraag van de bodem.

Gelaagdheid

De sterkte van de gelaagdheid verschilt tussen jaren maar ook binnen een jaar. Die verschillen werken door op de zuurstofconcentraties in de diepere waterlaag. Er lijkt ook verschil in de stabiliteit van de gelaagdheid tussen het meer open westelijk deel van het Veerse Meer (ten westen van Veere) en het middendeel (tussen Veere en Kortgene).

Daarnaast varieert de diepte van de spronglaag. Onduidelijk is in hoeverre weersinvloeden (bijvoorbeeld wind) of andere factoren een rol spelen bij de verschillen tussen het westelijk en het middendeel en bij de veranderingen in diepte van de spronglaag.

Uitwisseling met Oosterschelde

Tot slot, de uitwisseling met de Katse Heule wordt onder andere beïnvloed door het beheer van de doorlaat. Het is nog onduidelijk in welke mate verschillen in uitwisseling die bij het

huidige peilbeheer optreden op een termijn van uren/dagen (onder invloed van getij in de Oosterschelde en beheer van de Katse Heule) doorwerken op de zuurstofconcentraties in het midden en westelijke deel van het Veerse Meer.

Waterstofsulfide

In metingen is vastgesteld dat in de bodem hoge concentraties waterstofsulfide voorkomen die vrij kunnen komen in het water. Het is echter nog onbekend hoe vaak waterstofsulfide vrijkomt en onder welke omstandigheden dit optreedt. En als het vrijkomt naar de oppervlaktelaag, hoe snel waterstofsulfide afbreekt tot onder het schadelijke concentratieniveau. Dat maakt het lastig een goede inschatting van het ecologische risico te geven.

Zuurstof in diepe en ondiepe delen van het meer

De kennis over de zuurstofconcentraties in het Veerse Meer is vooral gebaseerd op de TSO metingen die in de diepere geul worden uitgevoerd. Er is een beperkt aantal metingen in de meer ondiepe delen die laten zien dat ook ondieper incidenteel lage zuurstofconcentraties kunnen voorkomen. Onduidelijk is of hier sprake is van een scheve opzet van de spronglaag/diepere waterlagen of dat andere processen spelen. Meer gegevens over de zuurstofcondities in de ondiepe delen en inzicht in hoeverre de TSO metingen representatief zijn voor die ondiepe delen is noodzakelijk voor begrip van de rol die zuurstof zou kunnen spelen bij bijvoorbeeld de groeiomstandigheden van bodemdieren en wellicht ook voor jonge vis.

3.2 Bodemdieren

De bemonstering van de bodemdieren heeft laten zien dat de laatste jaren (2019, 2020, 2021) sterke veranderingen zijn opgetreden in biomassa en samenstelling op de meetpunten tussen 2-8 m. Dieper dan 8 m is de biomassa, na een toename direct na ingebruikname van de Katse Heule altijd relatief laag. Schelpdieren zijn de grootste groep als het om biomassa gaat; in aantal zijn borstelwormen dominant. Er is ook een verschil in de soortensamenstelling tussen het westelijk en het oostelijk deel van het Veerse Meer, wat mogelijk samenhangt met verschillen in sedimentsamenstelling (van Son & Verduin 2021).

De beoordeling voor de KRW laat een wisselend beeld zien maar reflecteert nauwelijks de veranderingen die in de bodemdiergemeenschap zijn waargenomen. De KRW maatlat is vooral opgebouwd uit diversiteitsindicatoren en geeft daarom de waargenomen veranderingen in dichtheid en biomassa van de bodemdiergemeenschap niet weer.

Het lijkt logisch een relatie te leggen tussen de waargenomen zuurstofproblematiek en de veranderingen in de bodemdiergemeenschap, maar de relatie is waarschijnlijk minder eenduidig. Zo is bijvoorbeeld de extreem lage biomassa in het najaar van 2020 en het gedeeltelijk herstel in 2021 niet direct te verklaren uit de opgetreden zuurstofconcentraties die over het algemeen in de zomer van 2020 hoger waren dan in de zomer van 2021. Mogelijk hebben een combinatie van specifieke weersomstandigheden (optreden hittegolf, windeffecten op menging vanuit diepere lagen) een rol gespeeld bij het optreden van sterfte van bodemdieren en vis in 2019 en 2020. Op dit moment is echter nog onzeker wat de verklarende factoren zijn. Tot nu toe zijn alleen meer globale analyses van de bodemdiergegevens uitgevoerd. Om beter inzicht te krijgen in de relatie met omgevingsfactoren is een meer gerichte analyse noodzakelijk.

3.2.1 Wat weten we zeker?

In het ondiepe deel van het Veerse Meer (0-2 m) wordt de biomassa gedomineerd door schelpdieren. Na een aanvankelijke toename volgend op de opening van de Katse Heule,

heeft de biomassa zich min of meer gestabiliseerd op een lager niveau van 20-60 g asvrij drooggewicht per m². In de dieptelaag 2-8 m vertoonde de biomassa een zelfde patroon na 2005, maar is de biomassa in 2019-2020 sterk afgenomen en beperkt hersteld in 2021, wat vooral samenhangt met het verdwijnen van schelpdieren. Dieper dan 8 m was de biomassa altijd al veel lager en in 2019-2021 afgenomen naar minder dan 1 g asvrij drooggewicht per m². Op alle dieptes nemen schelpdieren af en borstelwormen toe.

3.2.2 Wat zijn de leemtes in kennis?

Er is een duidelijk verschil in samenstelling en biomassa tussen de verschillende diepteklassen die bemonsterd zijn. Dit suggereert voor de dieper gelegen delen een verband met de zuurstofconcentraties maar dit lijkt niet de enige verklarende factor. Ook dieper dan 8 m in het westelijk deel van het meer zijn na de ingebruikname van de Katse Heule schelpdieren aangetroffen, maar in het algemeen wel in lagere dichtheden (Prins & Vergouwen 2015).

Het is nog onduidelijk wat de oorzaken zijn van de grote veranderingen in biomassa en samenstelling van de bodemdiergemeenschap dieper dan 2 m sinds 2019. Uit de beschikbare zuurstofgegevens zijn geen directe aanwijzingen te halen die een verklaring kunnen geven. Een gedetailleerde analyse van de ontwikkelingen in de bodemdiergegevens per meetlocatie, sinds de ingebruikname van de Katse Heule, is nodig om meer inzicht te krijgen in de sturende factoren. Als sturende omgevingsfactoren moet in ieder geval gekeken worden naar de rol van sedimentsamenstelling, zuurstofconcentraties en duur van zuurstofarme condities, watertemperatuur en voedselaanbod. Ook biologische factoren, zoals bijvoorbeeld broedval/aanwas en het voorkomen van bacteriematten zijn mogelijk van belang.

3.3 Vogels

Een groot aantal van de onder de Vogelrichtlijn aangewezen soorten in het Veerse Meer voldoet niet aan de instandhoudingsdoelen. In de concept evaluatie van het beheerplan Natura 2000 (Heidinga *et al.* in prep.) worden diverse oorzaken genoemd, waaronder verstoring, predatie, voedselaanbod, waterkwaliteit (zuurstof), klimaatverandering en visserij. De vraag is of en voor welke soorten de huidige waterkwaliteit in het Veerse Meer een knelpunt vormt.

In de groep viseters is voedselbeschikbaarheid in het Veerse Meer mogelijk een knelpunt voor de aalscholver. Deze soort foerageert in open water op pelagische vis. Kleine zilverreiger en lepelaars foerageren in de ondiepe oeverzone, en dodaars, fuut en middelste zaagbek in ondiep water tot 7 m. Directe effecten van de lage zuurstofconcentraties die in de diepere delen voorkomen, op de foerageermogelijkheden van deze soorten lijken onwaarschijnlijk. Een indirect effect zou kunnen optreden via effecten op de bestanden van geschikte prooi-soorten. Over effecten van de zuurstofproblematiek op pelagische visbestanden en andere prooien kunnen we echter niets zeggen op basis van de nu beschikbare informatie.

Van de bodemdier-etende vogels foerageert de kluut in ondiepe oeverzones, brilduiker en kuifeend foerageren bij voorkeur in ondiep water (tot ca. 4 m diep) en voornamelijk op schelpdieren. Mogelijk spelen veranderingen in het schelpdierbestand daarom een rol. Zoals in §3.2 besproken, is de relatie tussen de zuurstofproblematiek en de veranderingen in de bodemdiergemeenschap echter nog onzeker.

De groep waterplanten- en plantenetende vogels leeft van waterplanten, wieren, zaden maar ook algen, slakken, en andere benthische ongewervelden, foerageert in ondiep water maar

ook buiten het Veerse Meer. Effecten van de zuurstofproblematiek op deze groep is onwaarschijnlijk.

Geconcludeerd kan worden dat de lage zuurstofconcentraties in de diepere delen van het Veerse Meer geen directe oorzaak zijn van het niet behalen van de instandhoudingsdoelen. Voor een beperkt aantal soorten vis- en bodemdiereters zou de zuurstofproblematiek indirect van invloed kunnen zijn als er een effect is op prooi-soorten, maar over dat verband ontbreekt kennis.

3.3.1 Wat weten we zeker?

Het Veerse Meer is aangewezen als Natura2000 gebied onder de Vogelrichtlijn. Voor vrijwel alle soorten waarvoor instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd, worden deze doelen niet gehaald.

3.3.2 Wat zijn de leemtes in kennis?

In de evaluatie van het Natura2000 beheerplan wordt een groot aantal mogelijke redenen genoemd waardoor de instandhoudingsdoelen niet gehaald worden (Heidinga *et al.* in prep.). Voor een aantal soorten is er mogelijk een relatie met waterkwaliteit en de zuurstofproblematiek. Echter, een meer gedetailleerde analyse per soort is nodig om vast te stellen in welke mate waterkwaliteit en zuurstof het knelpunt zijn voor het niet halen van de instandhoudingsdoelen.

3.4 Overige ecosysteemelementen

3.4.1 Vissen

Er zijn onvoldoende gegevens over de visbestanden in het Veerse Meer beschikbaar om iets zinnigs te kunnen zeggen over veranderingen die verband houden met veranderingen in de waterkwaliteit en andere omgevingsfactoren.

3.4.2 Wieren

Overlast voor gebruikers door groei van wieren komt regelmatig voor. Voor wieren, die in de ondiepe zone groeien, is een relatie met de zuurstofproblematiek in de diepere delen van het Veerse Meer, niet te verwachten. De relatief hoge nutriëntenbelasting is waarschijnlijk wel één van de factoren die van invloed is op de omvang van de populaties, maar de grote verschillen in bedekking met Japans bessenwier die zijn waargenomen tussen 2021 en 2022 wijzen er op dat andere factoren (bijvoorbeeld verschillen in weersomstandigheden tussen jaren) ook van belang zijn. Door het beperkte aantal jaren waarin opnames zijn gemaakt van de omvang van het wierenbestand is het niet mogelijk om vast te stellen welke factoren bepalend zijn.

3.4.3 Zeegras

Bij het geleidelijk verdwijnen van zeegras uit het Veerse Meer hebben meerdere factoren een rol gespeeld, zoals verdringing door zeesla en wisselingen in zoutgehalte (Wolfstein 2004). Als herstelmaatregel onder de KRW wordt zeegras opnieuw geïntroduceerd.

3.4.4 Kwallen

Er zijn onvoldoende gegevens over de omvang en samenstelling van de kwallenpopulatie in het Veerse Meer beschikbaar om iets zinnigs te kunnen zeggen over de ontwikkelingen in tijd en ruimte en over de relatie met waterkwaliteit of andere omgevingsfactoren. Over de effecten van de kwallenpopulatie op de rest van het voedselweb zijn evenmin uitspraken mogelijk.

3.4.5 Wat weten we zeker?

Na de ingebruikname van de Katse Heule is het Veerse Meer veranderd van een brakwatermeer in een systeem met een meer marien karakter. Dit heeft geresulteerd in veranderingen in de soortensamenstelling van o.a. wieren, bodemdieren, vissen en vogels. Er zijn veel niet-inheemse soorten waaronder invasieve soorten die ecologische effecten hebben en ook tot overlast leiden (bijv. Japans bessenwier, Japanse oester, Amerikaanse ribkwal en Pacifische oorkwal, enz.) (Prins & Vergouwen 2015).

3.4.6 Wat zijn de leemtes in kennis?

De betere verbinding met de Oosterschelde door de aanleg van de Katse Heule heeft waarschijnlijk een belangrijke rol gespeeld bij de toename van niet-inheemse soorten. Onzeker is in hoeverre specifieke omstandigheden in het Veerse Meer een rol spelen, zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van een relatief groot oppervlak met ondiep water, groot doorzicht en hoge nutriëntenconcentraties.

3.5 Effecten van klimaatverandering

3.5.1 Wat weten we zeker?

Eén van de gevolgen van klimaatverandering is zeespiegelstijging. Bij stijging van het waterpeil in de Oosterschelde zal de uitwisseling tussen Veerse Meer en Oosterschelde via de Katse Heule minder worden. Water kan naar de Oosterschelde worden afgevoerd als het waterpeil in de Oosterschelde lager is dan in het Veerse Meer. Dit tijdvenster wordt korter bij stijging van de zeespiegel en het uitgaande debiet vermindert met ongeveer 2,5-3 m³/s bij elke 10 cm zeespiegelstijging, bij een huidig debiet van ca. 30 m³/s (P. Lieveense, pers. med.). Die verminderde uitwisseling zal leiden tot minder doorspoeling met Oosterscheldewater en als gevolg daarvan hogere nutriëntenconcentraties en dus een verdere overschrijding van de KRW norm voor stikstof (Maarse *et al.* 2021).

In Hoofdstuk 5 worden de resultaten van modelberekeningen van het effect van zeespiegelstijging van 25 cm beschreven.

Hoofdstuk 8 gaat in op klimaatscenario's en de implicaties voor maatregelen.

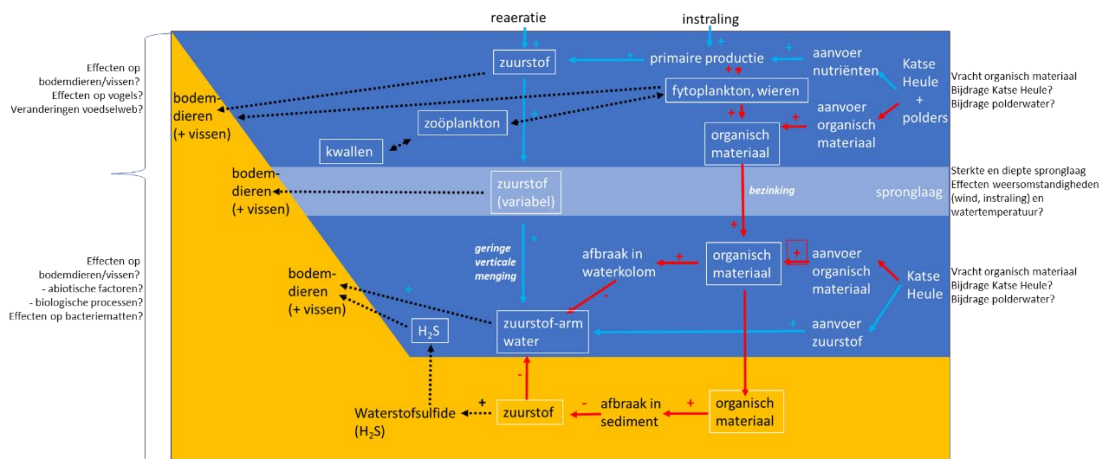
3.5.2 Wat zijn de leemtes in kennis?

Nieuwe klimaatscenario's zijn recent door het KNMI gepubliceerd (KNMI 2023), maar dit was te laat om in dit rapport te verwerken.

Naast zeespiegelstijging zijn er andere aspecten van klimaatverandering, zoals stijging van de watertemperatuur, veranderende neerslagpatronen en mogelijk op langere termijn ook verzuring van het zeewater. Over wat die veranderingen voor effect kunnen hebben op de ecologie van het Veerse Meer kunnen met de huidige kennis geen goede voorspellingen gedaan worden.

3.6 Samenvattend

Een schematisch overzicht van ons inzicht in de belangrijkste relaties voor waterkwaliteit en ecologie is weergegeven in Figuur 3-2. Ook is een aantal openstaande vragen aangegeven. In bovenstaande paragrafen zijn de grootste kennisleemtes benoemd. Deze dienen verder beantwoord te worden om beter zicht te krijgen op de samenhang tussen de problemen in waterkwaliteit en ecologie en op de effecten van maatregelen.



Figuur 3-2 Schematisch overzicht van de verbanden tussen waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer. Blauwe pijlen geven processen aan met een positief effect op zuurstofbeschikbaarheid, rode pijlen geven een negatief effect aan. Zwarte pijlen geven verdere doorwerking weer.

4 Oplossingsrichtingen

4.1 Te bereiken doelen

Voor het Veerse Meer zijn nu doelen vastgesteld voor de Kaderrichtlijn Water en voor de Vogelrichtlijn. Deze huidige doelen zijn een vertrekpunt, maar de problemen rond waterkwaliteit en ecologie zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken vragen om systeembreed herstel dat verder gaat dan de doelen van de KRW of Natura 2000.

De KRW norm voor stikstof wordt overschreden maar dat uit zich niet in een daarmee gepaard gaande overschrijding van de chlorofyl-norm voor fytoplankton. Vanuit ecologisch functioneren ligt het meer voor de hand te sturen op de doelen voor chlorofyl omdat dit ook meer indicatief is voor de ecologische effecten van nutriëntenbelasting. De beoordeling op basis van de KRW maatlat voor bodemdieren reflecteert niet de gesignaleerde veranderingen in de bodemdierengemeenschap. De KRW maatlat is daarom niet goed te gebruiken als indicator om de effectiviteit van maatregelen te toetsen. Een beter toetsbaar doel voor bodemdieren is nodig, dat ook rekening houdt met de verschillen tussen de ondiepe en de diepe delen van het Veerse Meer. Voor een beter toetsbaar doel is wel meer inzicht in oorzaak-effect relaties en dus de sturende factoren voor de bodemdiergemeenschap nodig. Hetzelfde geldt voor de KRW maatlat voor vissen, ook hier ontbreekt het aan kennis over de relatie tussen omgevingsfactoren (die door maatregelen beïnvloed kunnen worden) en de respons van de maatlat.

Het al dan niet halen van de instandhoudingsdoelen voor de Vogelrichtlijn heeft voor veel soorten weinig relatie met de waterkwaliteitsproblemen in het Veerse Meer. Deze doelen bieden dan ook beperkt houvast voor maatregelen gericht op waterkwaliteit.

Het valt te verwachten dat de indicatoren voor KRW en Vogelrichtlijn met vertraging reageren op veranderingen in de toestand van het Veerse Meer. Het is daarom nodig indicatoren te vinden die beter toepasbaar zijn om de effecten en effectiviteit van maatregelen op het ecosysteem te kunnen weergeven. Voor Getij Grevelingen zijn indicatoren ontwikkeld zijn om de effectiviteit van maatregelen in de Grevelingen te beoordelen (Nolte *et al.* 2021). De ervaringen uit Getij Grevelingen kunnen bruikbaar zijn voor toepassing in het Veerse Meer.

Bij het vaststellen van doelen en indicatoren gaat het er ook om een keuze te maken waar te nemen maatregelen zich op moeten richten. Gaat het om de toestand van het ondiepe deel van het Veerse Meer, bijvoorbeeld het deel boven de spronglaag dat ca. 50% van het oppervlak beslaat? Of gaat het (ook) om de laag tussen 4-8 m diep waar de laatste jaren veranderingen in zuurstofconcentraties en een achteruitgang van bodemdieren is opgetreden? Of gaat het ook om de laag dieper dan 8 m? Bij maatregelen gericht op die diepe laag spelen beperkingen door de fysische randvoorwaarden een grotere rol. Ook is de ecologische winst waarschijnlijk verschillend, afhankelijk van waar de maatregelen zich op richten.

4.2 Mogelijke maatregelen

Door RWS Zee en Delta is een inventarisatie van maatregelen gemaakt die zich richten op verschillende soorten ingrepen, nl. verbeteren doorspoeling, verlagen nutriëntenbelasting, verbeteren zuurstofhuishouding en natuurontwikkeling. Een groslijst van mogelijke maatregelen is opgesteld door RWS Zee en Delta (Bijlage E).

4.2.1 Lokale maatregelen

Als het eerste doel is om de zuurstofcondities in het Veerse Meer te verbeteren, zijn verschillende soorten van maatregelen denkbaar. Maatregelen op lokale schaal zouden zich kunnen richten op een in omvang beperkt gebied, waar de menging van de minder diepe delen van de waterkolom (boven en rond de spronglaag) wordt vergroot en zo zuurstofconcentraties verhoogd worden. Door meer grootschalige ingrepen zou de uitwisseling met de Oosterschelde vergroot kunnen worden met het doel de verversing in een groter deel van het Veerse Meer te laten doorwerken.

Een andere optie is om maatregelen te nemen die de productie van organisch materiaal in het Veerse Meer verlagen. Het verlagen van de nutriëntenbelasting van het Veerse Meer is een ingreep die daar aan bijdraagt. Lokale maatregelen

Voor lokale maatregelen zijn systemen beschikbaar zoals de SolarBee, waarmee zuurstofrijk oppervlakwater gemengd kan worden met diepere waterlagen. Het effect van een dergelijke ingreep hangt af van de diepte waarop het water gemengd wordt. Bij het mengen van zuurstofrijk water met diepe waterlagen waar nu, in de zomermaanden, de zuurstofconcentraties laag zijn en het sediment grotendeels zuurstofarm/zuurstofloos, is de vraag wat het effect is op stoffen die nu gebonden zijn in het sediment. Een voorbeeld is fosfaat dat nu gebonden is in het sediment maar onder invloed van zuurstof gemobiliseerd zou kunnen worden. Vergroten van de verticale menging kan ook leiden tot toename van de watertemperatuur in de diepere waterlaag en daarmee de zuurstofvraag verhogen. Een andere lokale maatregel is het verbeteren van de doorstroming in het Veerse Meer door het wegbaggeren van ondiepe drempels.

Het effect van verbetering van de lokale zuurstofcondities op de bodemdiergemeenschap is nu nog onzeker omdat nog niet duidelijk is of de zuurstofconcentraties de belangrijkste oorzaak zijn van de veranderingen in de bodemdiergemeenschap. Een pilot project om de effecten van dit type maatregel te bestuderen wordt daarom aanbevolen.

4.2.2 Grotere ingrepen

4.2.2.1 Verbetering uitwisseling/doorstroming

Verbeteren van de uitwisseling met de Oosterschelde zal resulteren in betere verversing, verlaging van de nutriëntenconcentraties en mogelijk een vermindering van de fytoplanktonproductie. In welke mate die verbeterde uitwisseling effect heeft op de zuurstofconcentraties in de diepere delen van het Veerse Meer zal sterk afhangen van de exacte invulling van die maatregel en zal nader onderzocht moeten worden.

Een punt van aandacht is wat een verhoogde uitwisseling met de Oosterschelde betekent voor de import in het Veerse Meer van slib en organisch materiaal vanuit de Oosterschelde en wat daarvan de effecten zijn op de zuurstofvraag van de bodem.

4.2.2.2 Vermindering van de nutriëntenbelasting

De nutriëntenbelasting van het Veerse Meer kan verminderd worden door het verminderen of volledig stoppen van de polderwaterafvoeren naar het Veerse Meer, door vermindering van de emissies, door verhogen van de nutriëntenretentie in de afwaterende gebieden waardoor de nutriëntenconcentraties dalen in het water dat de gemalen uitstoten, of door een combinatie van deze maatregelen.

Modelberekeningen (Hoofdstuk 6) laten zien dat het verlagen van de nutriëntenbelasting effectief is om ook de concentraties van fytoplankton te verlagen. De modelresultaten voorspellen kleinere effecten op de zuurstofconcentraties en het zuurstofverbruik van de bodem als gevolg van de lagere primaire productie.

Onbekend is hoe belangrijk de polderwaterbelasting is als bron van organisch materiaal. Mogelijk is er aanvullend een effect van lagere polderwaterafvoer op de aanvoer van

organisch materiaal vanuit de polders naar het Veerse Meer, maar het kan ook zijn dat dit effect verwaarloosbaar is.

5 Modelanalyse van mogelijke maatregelen

5.1 Maatregelscenario's

Met het 3-dimensionale waterkwaliteitsmodel van het Veerse Meer dat in de voorgaande jaren is ontwikkeld (Buckman *et al.* 2022), is voor een selectie van mogelijke maatregelscenario's berekend wat de effecten zijn op de waterkwaliteit van het Veerse Meer. Het model van het Veerse Meer heeft een zeer fijnschalige ruimtelijke resolutie met gridcellen van 50 m en een verticale verdeling in lagen van 0,5 m. De berekeningen van de effecten van maatregelen zijn in eerste instantie uitgevoerd met een iets grofschaliger ruimtelijk grid om de rekentijden te beperken.

De verschillende maatregelscenario's zijn beschreven in Tabel 5-1.

In aanvulling op de doorrekening van de maatregelen zijn voor enkele maatregelscenario's berekeningen uitgevoerd met het fijnschalige ruimtelijk modelgrid, om de gevoeligheid van de modeluitkomsten voor de ruimtelijke resolutie te onderzoeken. Ook zijn extra berekeningen uitgevoerd om de effecten van instellingen van het lichtklimaat te analyseren.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de jaren 2019-2020. Voor deze jaren was alle benodigde informatie al beschikbaar, zoals de water- en nutriëntenbalans en weersomstandigheden. De zomers van 2019 en 2020 waren, met uitzondering van juni 2020, warmer en droger dan het langjarig gemiddelde. De zomers behoren bij de tien warmste zomers sinds 1901, de winters waren zeer zacht⁴. Daarmee zijn de modelresultaten wellicht minder representatief voor de gehele periode sinds de ingebruikname van de Katse Heule, maar wel indicatief voor de toekomst bij voortgaande klimaatverandering.

Tabel 5-1 Overzicht van de selectie van maatregelscenario's in deze modelstudie. F = fijn grid; ext = lichtextinctie.

Code in model	Naam scenario	Maatregel/adaptatie	Type grid
S0	S0	Nul-scenario (huidige toestand)	Grof grid
S5	S0+ZSS	Nul-scenario + 25 cm zeespiegelstijging	Grof grid
S1	KH	Maximale uitwisseling met Oosterschelde via de Katse Heule	Grof grid
S2	KH+ZSS	Maximale uitwisseling met Oosterschelde via de Katse Heule + 25 cm zeespiegelstijging	Grof grid
S3	-polders	Model zonder polderwaterafvoer in het Veerse Meer	Grof grid
S4	-drempels	Model waarbij alle ondiepe drempels (dieper dan 12 m) in de doorgaande geul zijn verwijderd	Grof grid
S0-ext	S0 +ext	Nul-scenario met verhoogde lichtextinctie in de winter	Grof grid
S3-ext	-polders +ext	Model zonder polderwaterafvoer, met verhoogde lichtextinctie in de winter	Grof grid
F-S0	F S0	Nul-scenario (huidige toestand), berekening met fijnschalig grid (eerder gerapporteerd in Buckman <i>et al.</i> (2022))	Fijn grid
F-S0-ext	F S0 +ext	Nul-scenario (huidige toestand) met verhoogde lichtextinctie in de winter, berekening met fijnschalig grid	Fijn grid
F-S3	F -polders	Model zonder polderwaterafvoer in het Veerse Meer, berekening met fijnschalig grid	Fijn grid
F-S3-ext	F -polders +ext	Model zonder polderwaterafvoer in het Veerse Meer en verhoogde lichtextinctie in de winter, berekening met fijnschalig grid	Fijn grid

⁴ <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie>

5.2 Vergelijking van de effecten van maatregelen

Om de effecten van de maatregelen te kwantificeren en de verschillen tussen de maatregelen te vergelijken, is gekeken naar een aantal indicatoren.

Die indicatoren zijn gekozen omdat ze met het model berekend kunnen worden, gevoelig zijn voor de effecten van de maatregelen en indicatief zijn voor de waterkwaliteitsproblemen.

De indicatoren zijn:

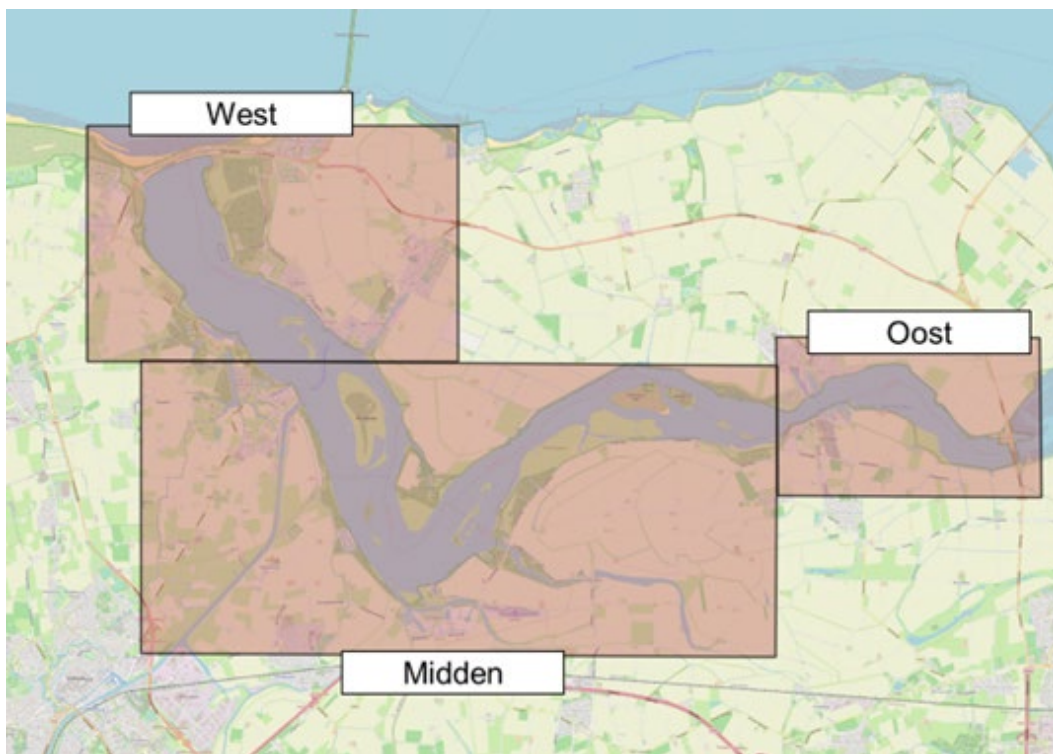
- Wintergemiddelde concentraties fosfaat en opgelost anorganisch stikstof (DIN)
- Gemiddelde chlorofylconcentratie in het groeiseizoen (maart-september)
- Jaarlijkse primaire productie
- Zurstofconcentratie in 4 dieptelagen (0-2m, 2-5m, 5-8m, >8m)
- Zurstofindex-score
- Zurstofopname sediment

De vergelijking van de effecten van maatregelen is gedaan aan de hand van:

1. Tijdseries voor drie meetpunten in het Veerse Meer, namelijk VTSO-03, VTSO-10 en VTSO-16 (zie Figuur 2-2)
2. Box-plots die een overzicht geven van de ruimtelijke variatie van de indicator in een bepaald deel van het meer
3. Kaarten met ruimtelijke verdeling

Voor een deel van de analyses wordt gekeken naar het hele meer. Daarnaast is het meer onderverdeeld in west, midden en oost (Figuur 5-1).

De box-plots geven een overzicht van de mediane waarde en de 5-, 25-, 75- en 95%-percentielen van alle ca. 45.000 gridcellen van het model.



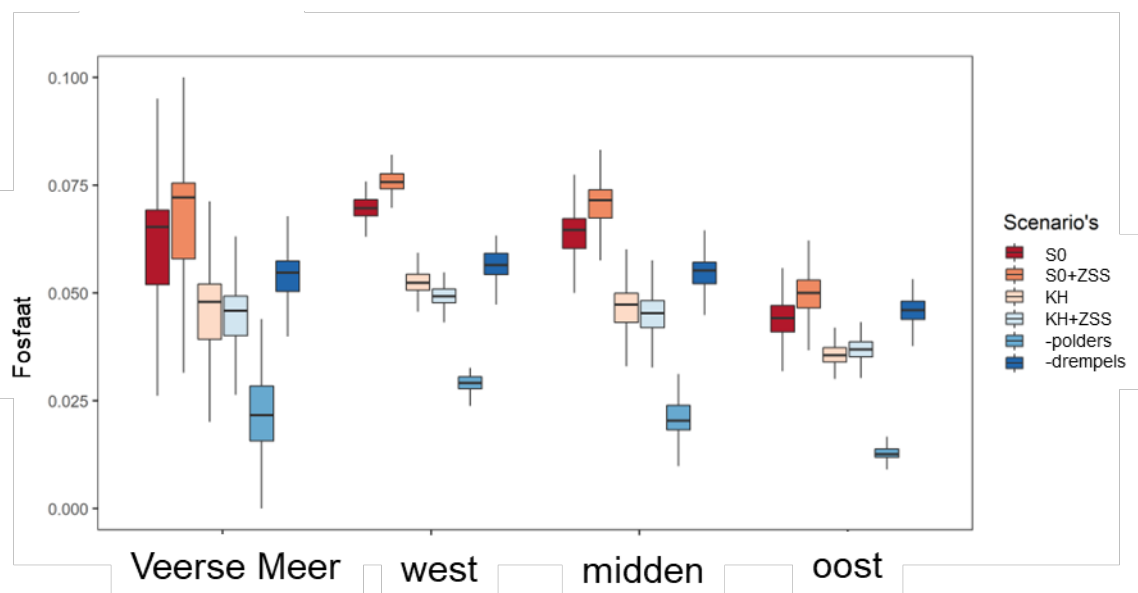
Figuur 5-1 Onderverdeling van het Veerse Meer in deelgebieden west, midden en oost.

5.3 Effecten van maatregelenscenario's; modelresultaten met het grofmazig modelgrid

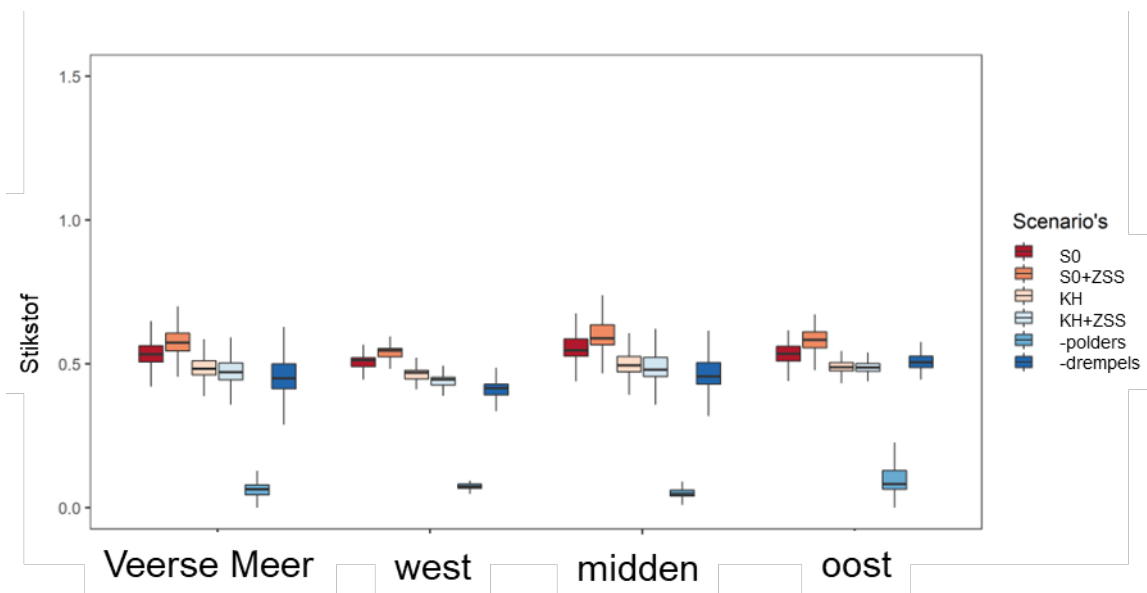
5.3.1 Nutriëntenconcentraties

De gemiddelde nutriëntenconcentraties, zowel opgelost anorganisch fosfaat (Figuur 5-2) als stikstof (Figuur 5-3) tonen met name een sterke verlaging in het scenario zonder polderwaterlozingen ("polders"; Figuur 5-3). Een maximale uitwisseling met de Oosterschelde (scenario "KH") resulteert in een kleine verlaging van de gemiddelde nutriëntenconcentraties ("KH" & "KH+ZSS" t.o.v. "S0" & "S0+ZSS"). Het effect van een stijgende zeespiegel (scenario "S0+ZSS", "KH+ZSS") is beperkt voor wat betreft nutriëntenconcentraties. Een verbetering van het horizontaal transport door het verwijderen van drempels ("-drempels") verkleint de oost-west gradiënt (met name zichtbaar bij fosfaat) maar doet verder weinig met de nutriëntenconcentraties.

Het grote verschil tussen het scenario zonder polderafvoer en de overige scenario's is zichtbaar in de ruimtelijke verdeling van concentraties in de verschillende deelgebieden, voor fosfaat (Figuur 5-2) en in sterkere mate voor stikstof (Figuur 5-3). Tijdsreeksen van de nutriëntenconcentraties laten vooral in de winter de verschillen tussen de scenario's zien, met veel lagere winterconcentraties van zowel stikstof als fosfaat in het scenario "polders" doordat in de winter de polderwaterafvoer hoog is in de andere scenario's.



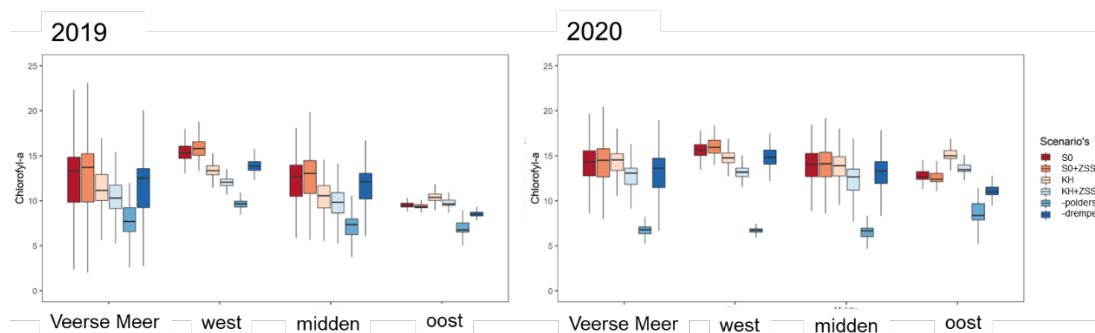
Figuur 5-2 Wintergemiddelde concentratie fosfaat in mg P/l (boven) aan het wateroppervlak, voor de verschillende scenario's en gebieden. De box-plot geeft de 5-percentiel (onderkant van de lijn), de 25-percentiel (onderkant van box), de mediaan (dikke middenlijn van box), de 75-percentiel (bovenkant van box) en de 95-percentiel (bovenkant van de lijn) van de wintergemiddelde concentraties in iedere gridcel van het model binnen een deelgebied. Daarmee is de boxplot een weergave van de horizontale ruimtelijke variatie binnen zo'n deelgebied. Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



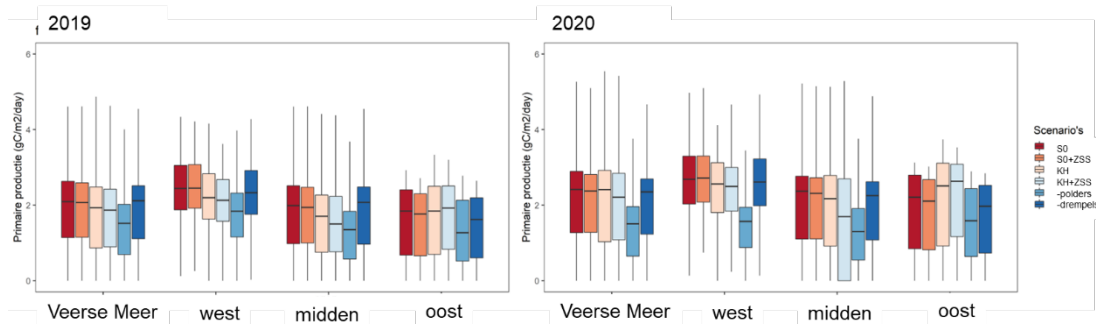
Figuur 5-3 Wintergemiddelde concentratie stikstof in mg N/l aan het wateroppervlak, voor de verschillende scenario's en gebieden. De box-plot geeft de 5-percentiel (onderkant van de lijn), de 25-percentiel (onderkant van box), de mediaan (dikke middenlijn van box), de 75-percentiel (bovenkant van box) en de 95-percentiel (bovenkant van de lijn). Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.

5.3.2 Chlorofyl en primaire productie

Verschillende scenario's resulteren met name in een relatief groot verschil in chlorofyl-a concentraties in het westen en midden van het Veerse Meer (Figuur 5-4). De verschillen zijn in 2020 groter dan in 2019. In alle gevallen, zowel voor het hele meer als voor de deelgebieden, leidt het scenario zonder polderwaterafvoer ("polders") tot de laagste chlorofyl-a concentraties. In het oostelijke deel van het meer resulteert een maximale uitwisseling (scenario "KH") met de Oosterschelde in een verhoogde chlorofyl-a concentratie; dit kan niet alleen verklaard worden door hogere primaire productie (6-5) in dat deel van het meer en wijst mogelijk op import vanuit de Oosterschelde. De box-plots van primaire productie hebben meer spreiding die veroorzaakt worden door grotere ruimtelijke verschillen in productie. De medianen laten duidelijk zien dat het scenario "polders" leidt tot de laagste productie, zowel over het gehele meer als in de deelgebieden (Figuur 5-5). Het effect van het scenario "polders" is het sterkst in 2020 en vooral in het westelijk deel van het meer.



Figuur 5-4 Chlorofylconcentratie (gemiddeld voor maart-september) in µg/l, voor de verschillende scenario's en gebieden. De box-plot geeft de 5-percentiel (onderkant van de lijn), de 25-percentiel (onderkant van box), de mediaan (dikke middenlijn van box), de 75-percentiel (bovenkant van box) en de 95-percentiel (bovenkant van de lijn). Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



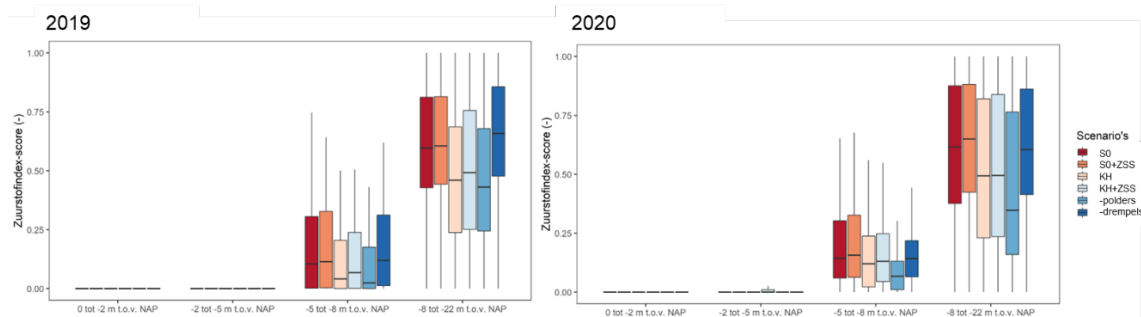
Figuur 5-5 Primaire productie (gemiddeld voor maart-september), voor de verschillende scenario's en gebieden. De box-plot geeft de 5-percentiel (onderkant van de lijn), de 25-percentiel (onderkant van box), de mediaan (dikke middenlijn van box), de 75-percentiel (bovenkant van box) en de 95-percentiel (bovenkant van de lijn). Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.

5.3.3 Zuurstofhuishouding

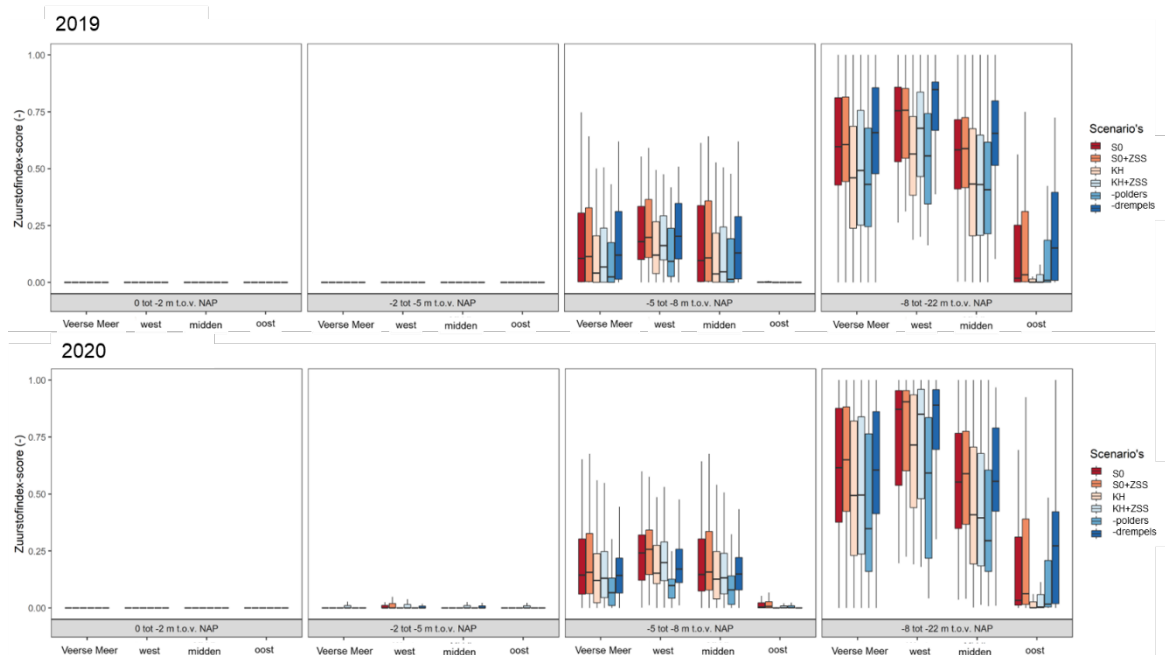
De zuurstofhuishouding toont ook sterk de effecten van de verschillende scenario's. Het scenario zonder polderwaterafvoer ("polders") heeft de sterkste positieve effecten op de zuurstofconcentraties. De zuurstofindex-score (zie bijlage A voor uitleg over deze index-score) varieert tussen 0 en 1; hoe lager de waarde van de zuurstofindex, hoe beter de zuurstofbeschikbaarheid. Scenario "polders" heeft van alle scenario's de beste zuurstofbeschikbaarheid in de diepe delen van het meer (Figuur 5-6).

In het Veerse Meer speelt de lage zuurstofbeschikbaarheid met name in het westen en midden van het meer in de diepere delen (dieper dan NAP-8 m). In het oostelijke gedeelte van het meer heeft met name een maximale uitwisseling met de Oosterschelde (scenario "KH") en het stoppen van polderafvoer (scenario "polders") een sterk positief effect op de zuurstofhuishouding in het water van de diepe delen (Figuur 5-7).

De zuurstofvraag van het sediment is eveneens berekend in het model. De effecten van de verschillende scenario's vertonen grotendeels een zelfde patroon als de effecten op de zuurstofindex. Er is een lagere zuurstofvraag bij scenario "polders" in 2019 en 2020, over het gehele meer. Een maximale uitwisseling met de Oosterschelde (scenario's "KH" en "KH+ZSS") resulteert hier in een verhoging van zuurstofvraag voor het oostelijk deel van het meer, met name in 2020.



Figuur 5-6 Zuurstofindex-score (gemiddeld voor juli-augustus), voor de verschillende scenario's en diepteklassen. De box-plot geeft de 5-percentiel (onderkant van de lijn), de 25-percentiel (onderkant van box), de mediaan (dikke middenlijn van box), de 75-percentiel (bovenkant van box) en de 95-percentiel (bovenkant van de lijn). Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



Figuur 5-7 Zuurstofindex-score (gemiddeld voor juli-augustus) voor 2019 (boven) en 2020 (onder) nabij de bodem voor de verschillende scenario's, bodemdiepte-klassen en deelgebieden in het Veerse Meer (VM). De box-plot geeft de 5-percentiel (onderkant van de lijn), de 25-percentiel (onderkant van box), de mediaan (dikke middenlijn van box), de 75-percentiel (bovenkant van box) en de 95-percentiel (bovenkant van de lijn). Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.

5.4 Gevoeligheidsanalyse effect lichtklimaat

Gebleken is dat de modelresultaten beïnvloed worden door aannames over het lichtklimaat. In de eerste modelberekeningen was een relatief lage lichtuitdoving gebruikt (gebaseerd op meetgegevens). Daarom is aanvullend gekeken naar het gevolg van een aanpassing van het lichtklimaat met verhoogde extinctie (uitdoving) van het licht in de winter. Dit is gedaan voor de scenario's "S0" en "-polders". Verhoogde extinctie in de winter leidt tot minder groei van fytoplankton en lagere chlorofyl-a concentraties in de winter periode (december t/m februari) en als gevolg daarvan hogere concentraties van zowel stikstof als fosfaat. Er is een latere en meer uitgesproken voorjaarspiek te zien van fytoplankton, wat beter aansluit op het seizoenspatroon in de waarnemingen van chlorofyl-a. De hogere voorjaarspiek betekent ook dat, gemiddeld over het groeiseizoen, de chlorofylconcentraties hoger zijn. De effecten op de zuurstofhuishouding zijn klein, met een geringe verhoging van de zuurstofindex-score (dus verslechtering van zuurstofhuishouding) bij hogere lichtextinctie in de winter. De resultaten zijn weergegeven in Bijlage B.

5.5 Scenarioberekeningen met het fijnmazig modelgrid

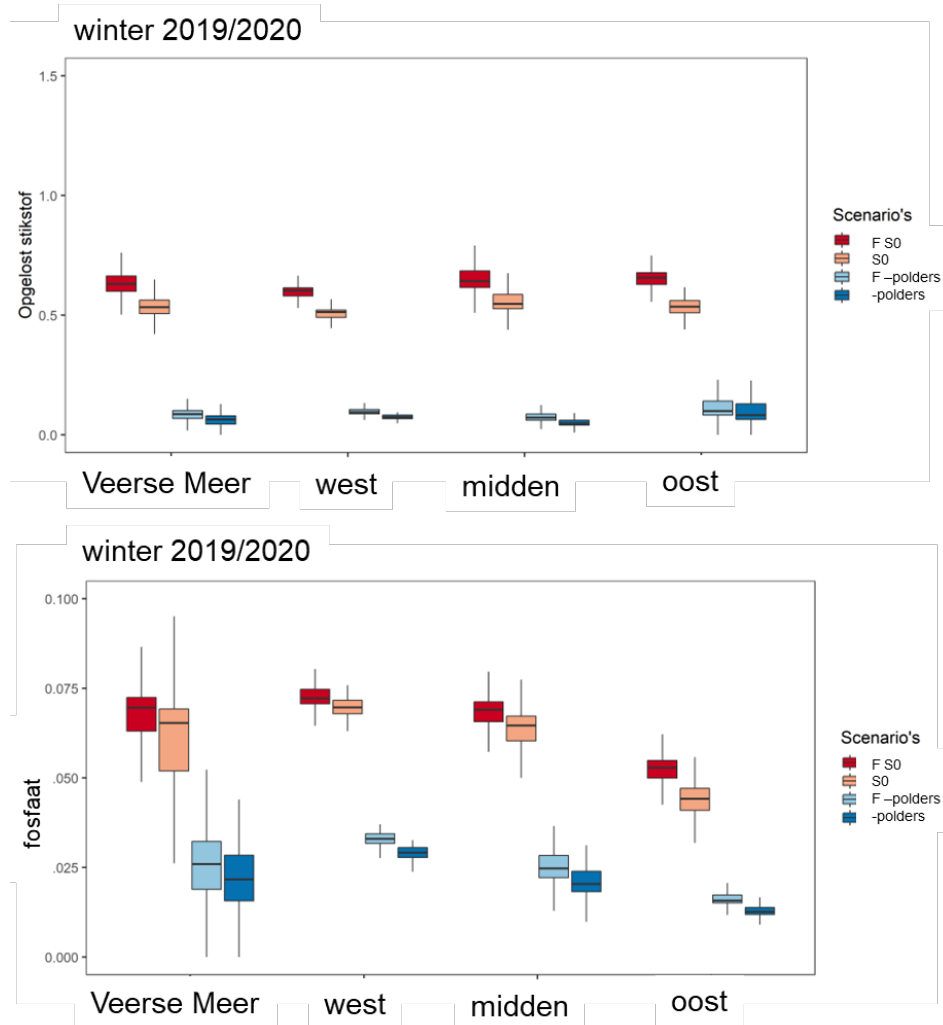
5.5.1 Verschil in resultaten tussen grofmazig en fijnmazig grid

Voor het referentiescenario "S0" en het scenario "-polders" is nagegaan wat het effect is van de ruimtelijke resolutie van het model op de resultaten van de scenario's, door de resultaten van de berekeningen met het grofmazig grid zoals beschreven in §6.3, te vergelijken met berekeningen met het fijnmazige grid.

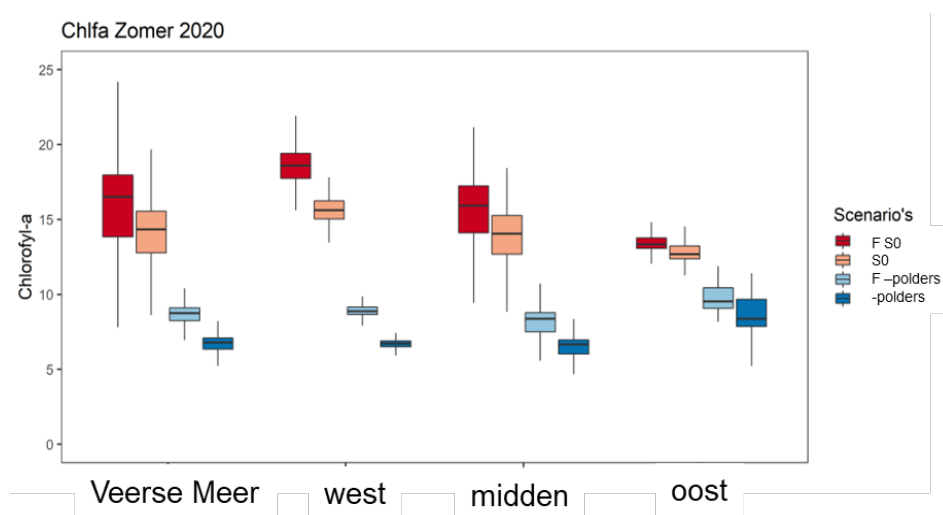
Voor deze vergelijking is alleen naar de resultaten voor het jaar 2020 gekeken, vanwege het feit dat voor de grovere modelsimulaties een inspeelperiode van 1 jaar is gebruikt terwijl er voor de fijnere simulaties een vaste waarde als start waarde (per parameter) is ingesteld beginnende in het jaar 2019. Het jaar 2019 is dus hier beschouwd als de inspeelperiode.

Voor beide scenario's geldt dat, bij berekeningen met het fijnmazige grid, de concentraties van stikstof en fosfaat wat hoger zijn dan in de berekeningen met het grove grid. Dit effect treedt op in het hele meer (Figuur 5-8).

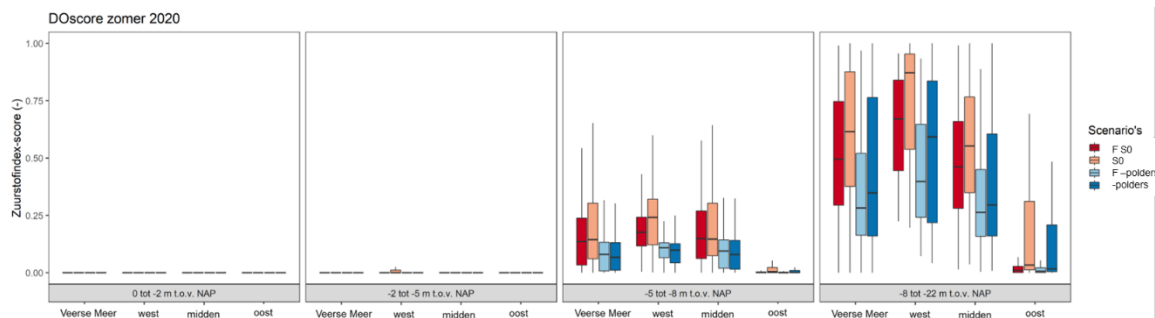
In de berekeningen met het fijnmazig grid zijn de gemiddelde chlorofylconcentraties in het groeiseizoen hoger dan in het grofmazige grid (Figuur 5-9). De zuurstofindex laat een iets lagere score zien (betere zuurstofomstandigheden) in het referentiescenario bij een fijnmaziger grid, ten opzichte van het grove grid. In het “-polders” scenario is het verschil tussen het fijnmazig en grofmazig grid klein. Het fijnmazige grid laat, in vergelijking met het grove grid, in het oostelijk deel van het Veerse Meer een duidelijk lagere zuurstofindex in de diepste delen zien in zowel het referentie als het “-polders” scenario (Figuur 5-10).



Figuur 5-8 Wintergemiddelde concentraties van opgelost anorganisch stikstof (boven) en fosfaat (onder) in de verschillende scenario's en deelgebieden van het Veerse Meer. Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



Figuur 5-9 Groeiseizoen-gemiddelde concentraties van chlorofyl in de verschillende scenario's en deelgebieden van het Veerse Meer. Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



Figuur 5-10 Zomergemiddelde zuurstof-index in de verschillende scenario's, diepteklassen en deelgebieden van het Veerse Meer. Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.

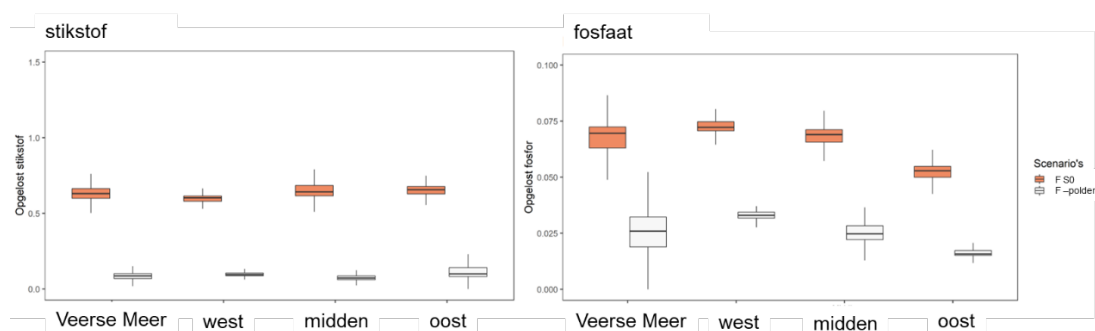
5.5.2 Effect van stoppen van de afvoer van polderwater

Uit de resultaten met het grofmazige grid (§6.3) bleek dat, van alle scenario's, het stoppen van de polderwaterafvoer (scenario “-polders”) het grootste effect had op de concentraties van nutriënten en chlorofyl, en op de zuurstofhuishouding. In de berekeningen met het fijnmazige grid (§6.5.1) bleek het verschil tussen de referentie en het “-polders” scenario vergelijkbaar hoewel de concentraties van nutriënten en chlorofyl en de zuurstofindex in absolute zin wel verschilden, afhankelijk van de modelresolutie.

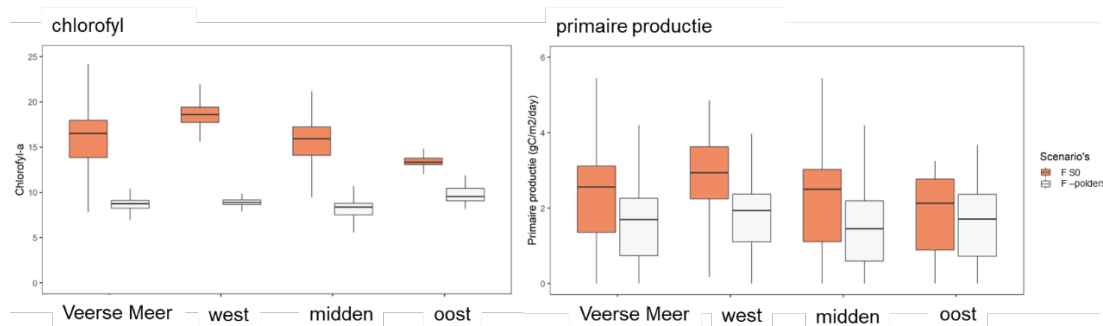
Hier worden de belangrijkste effecten van het “-polders” scenario, berekend met het fijnmazig grid, nog eens uitgelicht.

Stoppen van de polderwaterafvoer betekent een forse verlaging van de nutriëntenbelasting van het Veerse Meer. Dat wordt weerspiegeld in de lagere concentraties van stikstof en fosfaat in het hele meer (Figuur 5-11). Die lagere concentraties vertalen zich in lagere chlorofylconcentraties en lagere primaire productie (Figuur 5-12). Het scenario “-polders” heeft een relatief sterker effect op de wintergemiddelde nutriëntenconcentraties dan op chlorofyl of primaire productie in het groeiseizoen, doordat naast nutriëntenbeschikbaarheid ook andere factoren (bijvoorbeeld licht, graas door bodemdieren) van invloed zijn op de fytoplanktongroei.

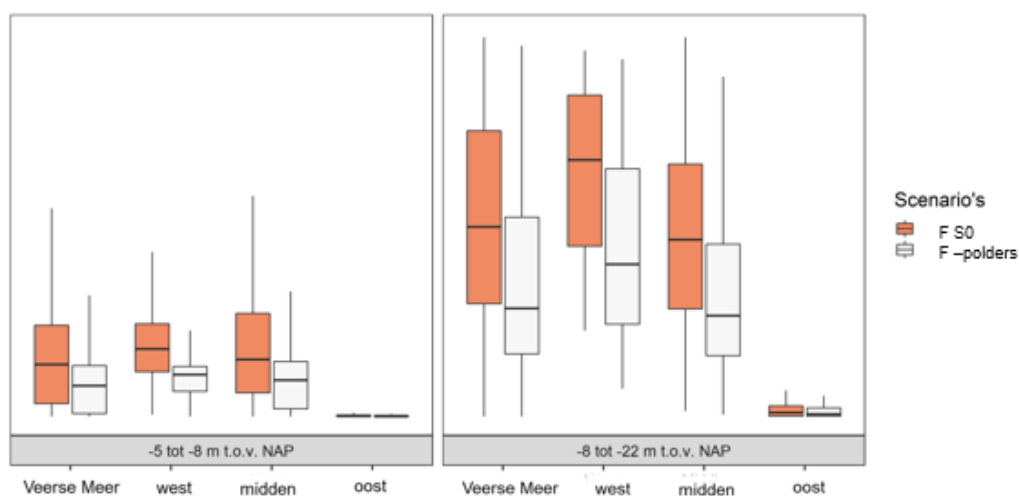
De zuurstofindex verbetert in het westelijk en middendeel van het Veerse Meer in het scenario “-polders”, in de delen dieper dan NAP-5 m (Figuur 5-13). Een kaart van de zuurstofindex laat ook zien dat de verbetering vooral plaatsvindt in de diepere delen westelijk van de Middelpalen (Figuur 5-14).



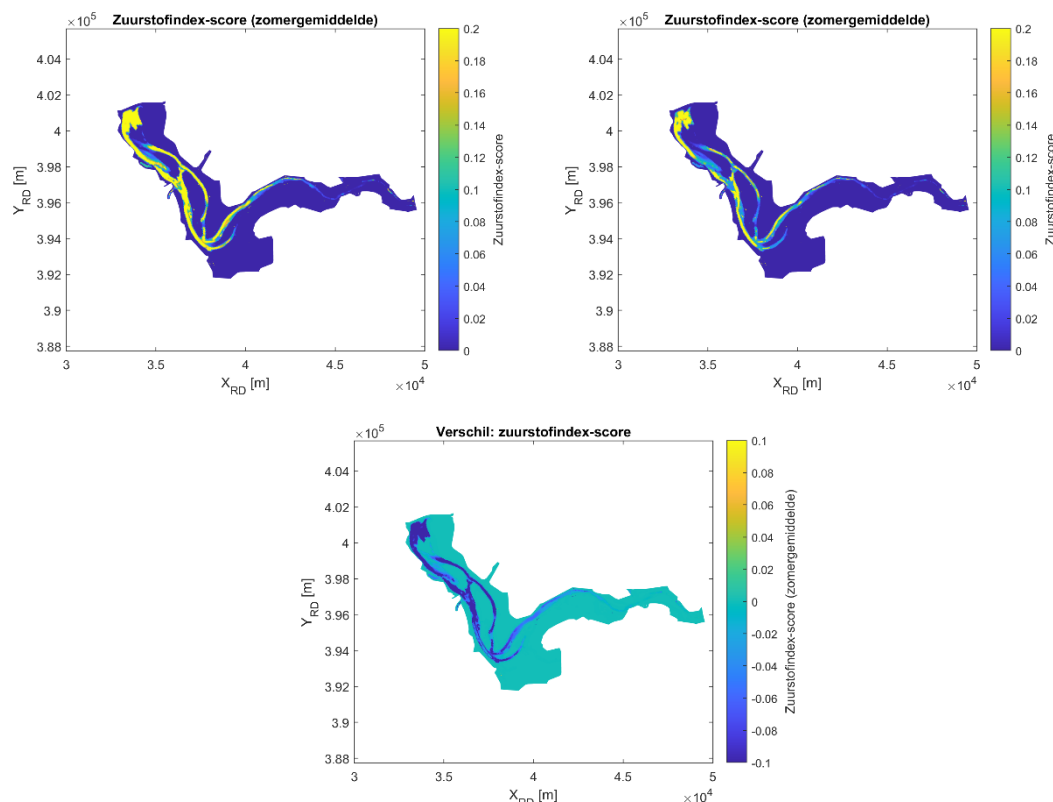
Figuur 5-11 Met het fijnmazig grid berekende wintergemiddelde (winter 2019/2020) concentraties van opgelost anorganisch stikstof en fosfaat (mg/l) in referentiescenario S0 en het scenario -polders, in de verschillende delen van het Veerse Meer. Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



Figuur 5-12 Met het fijnmazig grid berekende zomergemiddelde concentraties van chlorofyl ($\mu\text{g/l}$) en primaire productie ($\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) in referentiescenario S0 en het scenario -polders, in de verschillende delen van het Veerse Meer. Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



Figuur 5-13 Met het fijnmazig grid berekende zuurstofindex voor de waterlaag tussen NAP-5 en NAP-8 m en de laag dieper dan NAP-8 m, in het referentiescenario "S0" en het scenario "-polders" in de verschillende delen van het Veerse Meer. Zie Tabel 5-1 voor de codering van de scenario's.



Figuur 5-14 Kaart van de zuurstofindex-score (zomergemiddelde) nabij de bodem voor scenario “S0” (linksboven), scenario “-polders” (rechtsboven) en het verschil tussen beide scenario’s (midden-onder).

5.6 Conclusies modelberekeningen

5.6.1 Polderwater afsluiting

De modelsimulaties van verschillende scenario’s met het grove grid tonen het grootste effect van het scenario waarbij de polderwaterafvoer wordt gestopt. Deze resultaten worden bevestigd door de berekeningen met het fijnmazig grid. Het stoppen van de polderwaterafvoer leidt tot:

- Lagere nutriëntenconcentraties in de winter vanwege de veel lagere nutriëntenbelasting.
- Lagere concentratie van fytoplankton en lagere primaire productie in de waterkolom, die verklaard kan worden uit een sterkere nutriëntenlimitatie.
- Een lagere zuurstofindex-score en minder zuurstofvraag van het sediment en dus een verbetering van de zuurstofcondities, waarschijnlijk door een verlaging van de flux van organisch materiaal naar de bodem als gevolg van de lagere primaire productie.

In het modelscenario is alleen gekeken naar het directe effect van stoppen van de afvoer van polderwater. Op langere termijn zou zo’n ingreep kunnen leiden tot verdergaande veranderingen in het Veerse Meer, bijvoorbeeld in het bestand van bodemdieren of wieren of in het pelagische voedselweb (zoöplankton, kwallen). Die effecten zijn met de huidige kennis niet goed in te schatten of te modelleren.

Vooral de effecten op bodemdieren zijn naar alle waarschijnlijkheid niet verwaarloosbaar.

Een grove inschatting op basis van de gegevens van schelpdierbestanden (zie §2.2.2) en omrekenfactoren van biomassa naar filtratie (Jansen *et al.* 2019) suggereert dat de filtratie-activiteit van Japanse oesters hoog is ten opzichte van het totale volume van het meer.

Vanwege de onzekerheid in de schatting van schelpdierbestanden, grootteverdeling van die schelpdieren en de filtratie-activiteit, is graas door schelpdieren nu gemodelleerd als een extra verliesfactor. Hetzelfde geldt voor graas door zoöplankton.

5.6.2 Maximale uitwisseling met Oosterschelde

De effecten van maximale uitwisseling met de Oosterschelde (scenario “KH” en “KH+ZSS”) worden gekenmerkt door een aantal patronen:

- Grotere uitwisseling met de Oosterschelde resulteert voor het hele meer in een geringe afname van de stikstofconcentraties en een grotere afname van fosfaatconcentraties in de winter. Deze verschillen in fosfaatconcentraties zijn met name in het westen en midden van het meer zichtbaar.
- Grotere uitwisseling leidt tot een geringe verlaging van chlorofylconcentraties in het westen en midden van het meer en een verhoging in het oostelijk deel.
- Ondanks de hogere chlorofyl-a concentratie en primaire productie in het oostelijk deel van het meer is er bij maximale uitwisseling sprake van een verbetering van de zuurstofhuishouding in het deel dieper dan NAP-5 m in het oosten van het meer. De grotere doorspoeling is de meest waarschijnlijk verklaring.

Ook in dit scenario geldt dat alleen het directe effect van grotere uitwisseling is onderzocht. Verdergaande veranderingen in sedimenthuishouding en ecologie als gevolg van grotere uitwisseling met de Oosterschelde zijn niet goed in te schatten of te modelleren.

5.6.3 Overige scenario's

Het scenario waarin de drempels in de diepe delen weg zijn gehaald (“-drempels”) laat geen effecten zien ten opzichte van het referentiescenario.

De gevolgen van een zeespiegelstijging van 25 cm zijn eveneens gering. In het referentiescenario leidt 25 cm zeespiegelstijging (scenario “S0+ZSS”) tot minder uitwisseling met de Oosterschelde en die afname van de verversing leidt tot iets hogere nutriëntenconcentraties maar nauwelijks verandering in chlorofylconcentraties.

In het scenario met maximale uitwisseling (“KH”) leidt zeespiegelstijging (“KH+ZSS”) niet tot verandering van de uitwisseling met de Oosterschelde, omdat er in dat scenario geen grenzen aan het peil in het Veerse Meer zijn gesteld en het waterpeil dus meestijgt met het peil in de Oosterschelde. Het enige effect van het laatste scenario is dat het watervolume van het Veerse Meer iets toeneemt, maar dit heeft nauwelijks effect op de concentraties van nutriënten of chlorofyl.

6 Adaptatiepaden klimaat

6.1 Vraagstelling

Door Rijkswaterstaat Zee en Delta is een long-list van mogelijke maatregelen opgesteld, inclusief een inschatting van de technische en financiële haalbaarheid. Een volgende stap is om te komen tot strategieën voor (combinaties van) maatregelen, ofwel verschillende maatregelpakketten. Onderdeel hiervan is de volgorde in de tijd van verschillende maatregelen, waarmee nu al geanticipeerd kan worden op onzekere toekomst. En als in de toekomst (meer) zekerheid ontstaat over bijvoorbeeld de mate van zeespiegelstijging en relevante kennisleemtes zijn opgelost, liggen de mogelijke strategieën al klaar.

Gestreefd wordt naar een toekomstbestendig Veerse Meer, waarbij maatregelen worden gekozen die effectief blijven in het licht van verwachte en onverwachte veranderingen in de toekomst en rekening wordt gehouden met onzekerheden. Een belangrijke verwachte verandering is klimaatverandering, maar de mate en snelheid van klimaatverandering is onzeker.

6.2 Aanpak: adaptatiepaden

De methode van dynamische adaptatiepaden (hierna kortweg 'adaptatiepaden' genoemd) is inmiddels ingeburgerd in o.a. het Deltaprogramma. Adaptatiepaden zijn bij uitstek geschikt om verschillende strategieën af te zetten tegen een onzekere toekomst (zie tekstblok). In hoofdstuk 8 wordt het raamwerk toegelicht. Bijlage C bevat de theoretische achtergrond.

Korte omschrijving dynamische adaptatiepaden

Dynamische adaptatiepaden (DAP) vormen een strategische benadering voor het omgaan met complexe en onzekere uitdagingen, zoals klimaatverandering. Het concept omvat het ontwikkelen van meerdere adaptatiestrategieën die in de tijd kunnen evolueren op basis van nieuwe informatie en veranderende omstandigheden. In plaats van een vaststaand plan, bieden DAP flexibiliteit door adaptatiemaatregelen aan te passen naarmate meer kennis wordt vergaard. Dit proces omvat het identificeren van verschillende adaptatie-opties, het vaststellen van tussentijdse beslismomenten en het monitoren van relevante gegevens en trends. Hierdoor kunnen beleidsmakers en planners tijdig bijsturen en optimaal reageren op onverwachte ontwikkelingen. DAP richt zich op adaptieve beheerstrategieën die veerkracht bieden en de impact van onzekerheid verminderen door geleidelijke aanpassing en leren in een continu veranderende omgeving.

Qua proces is een aanpak gebruikt van fysieke werksessies met het projectteam van Deltares, het kernteam van Rijkswaterstaat Zee en Delta en een vertegenwoordiger van de Gebiedsvisie (provincie Zeeland) en van het programmabureau Zuidwestelijke delta. Deltares leidde de aanwezigen systematisch door de verschillende stappen. Tussen de werksessies verwerkte Deltares de informatie én bereidde voorstellen voor ter bespreking van de benodigde bouwstenen. Tijdens de werksessie werd gebruik gemaakt van de kennis beschreven in Hoofdstuk 4.

6.3 Afbakening

De adaptatiepaden in dit rapport omvatten uitsluitend strategieën voor de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer exclusief de terrestrische delen. Overige doelen van de Gebiedsvisie Veerse Meer zoals (verblijfs)recreatie, landbouw en landschappelijke kwaliteit

worden niet meegenomen of meegewogen. Bij de afsluitende beschouwing in Hoofdstuk 11 wordt wel kort gereflecteerd op deze overige doelen.

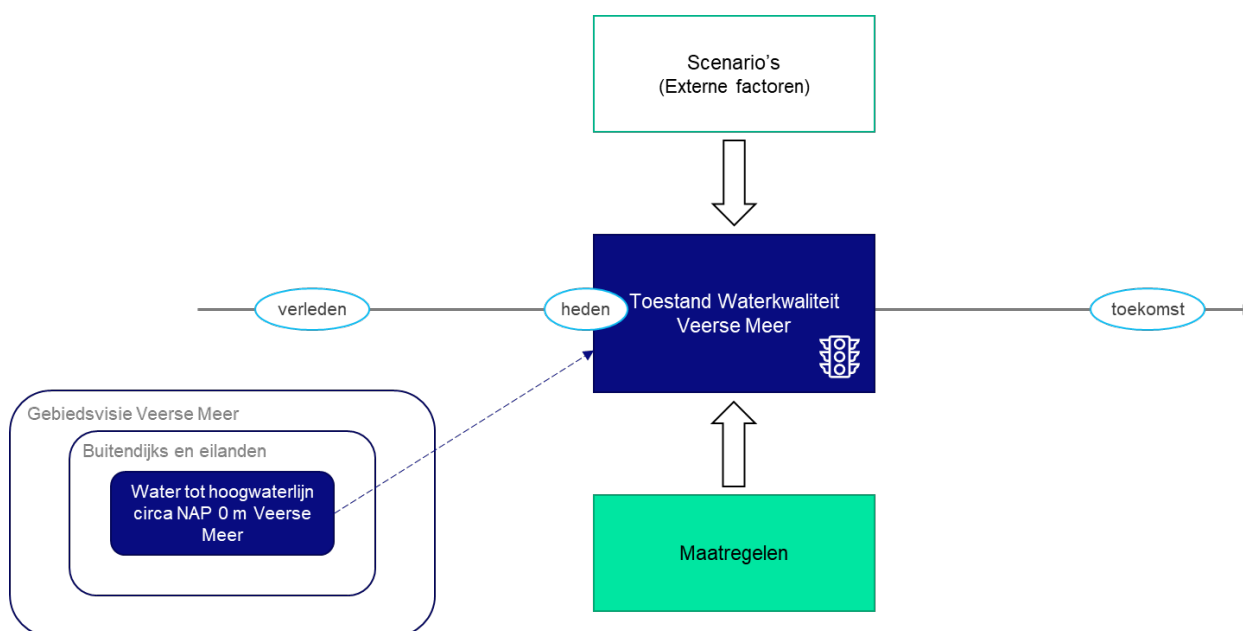
Nog niet voor alle maatregelen is voldoende kwantitatieve kennis beschikbaar, bijvoorbeeld over effect en effectiviteit van een opening in de Veerse Gatdam. Ook is nog niet alle kennis over oorzaak-effectrelaties beschikbaar, waardoor niet het volledige doelbereik beschouwd kon worden. Hierdoor kunnen de adaptatiepaden nog niet volledig dekkend zijn. Echter, door de systematische werkwijze gericht op ondersteuning van besluitvorming draagt het identificeren van benodigde kennis wel bij aan het prioriteren en programmeren van vervolgstappen. Dit komt aan bod bij de aanbevelingen in Hoofdstuk 12.

7 Conceptueel raamwerk adaptatiepaden

7.1 Bouwstenen van adaptatiepaden

Voor de ontwikkeling van adaptatiepaden worden drie bouwstenen gecombineerd (Figuur 7-1):

- De toestand (of staat) van de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer. De toestand wordt beschreven door een aantal zorgvuldig geselecteerde indicatoren. Door de werkelijke waarde van een indicator te vergelijken met een normwaarde wordt bepaald of de toestand voldoet ('groen') of niet voldoen ('rood'). In Figuur 7-1 wordt dat gevisualiseerd door het stoplichticoon.
- Scenario's (of externe factoren); een scenario is een specifieke, plausibele toekomstige situatie die niet beïnvloed kan worden door de betrokken deelnemers aan de besluitvorming. Scenario's helpen bij het anticiperen op onzekerheden en het begrijpen van hoe keuzes en acties zich kunnen ontploffen onder verschillende omstandigheden.
- Maatregelen: een maatregel is een specifieke actie om een bepaald doel te bereiken, een probleem op te lossen of een gewenste uitkomst te bevorderen. Een maatregel kan een fysieke, technische ingreep zijn, maar ook juridisch, economisch, organisatorisch (institutioneel) of sociaal van aard zijn. Een maatregelpakket is een combinatie van maatregelen.



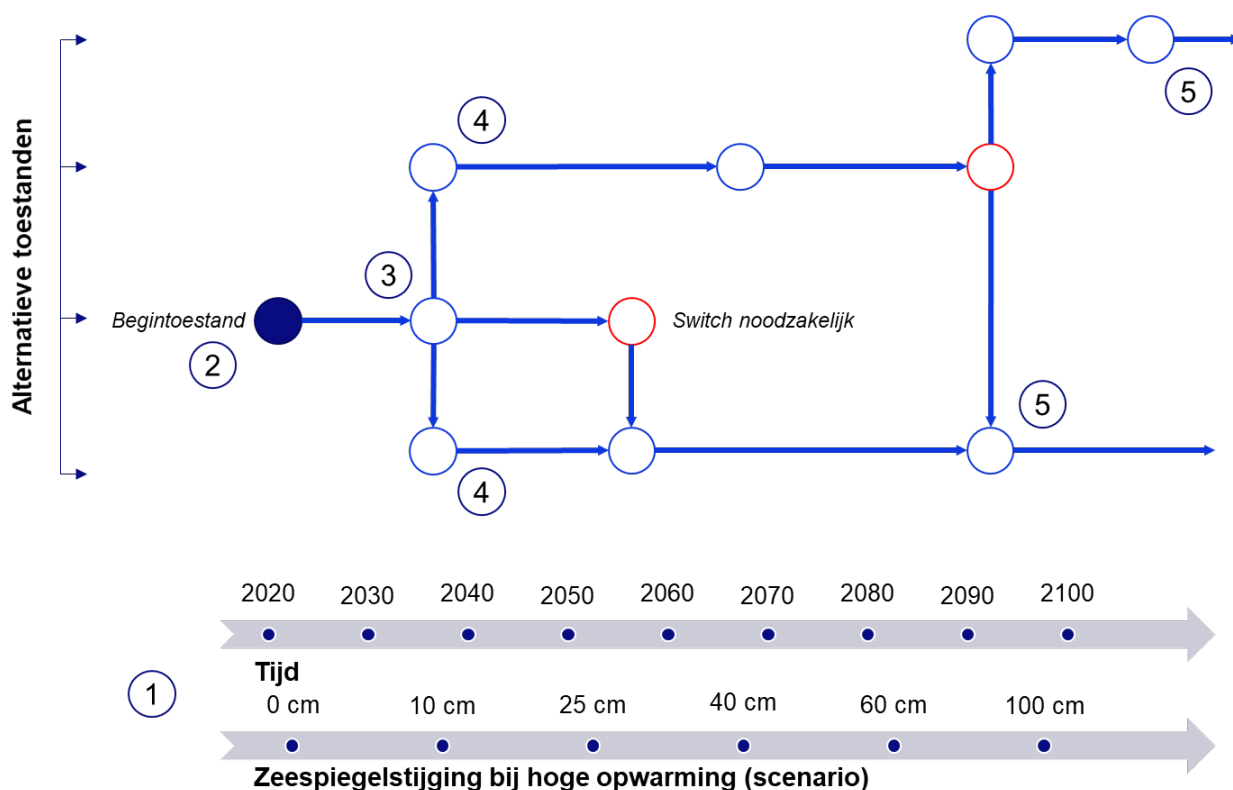
Figuur 7-1 Drie in dit rapport gehanteerde bouwstenen voor de ontwikkeling van adaptatiepaden - toestand waterkwaliteit, scenario's en maatregelen – die in de tijd (kunnen) veranderen. Het figuur linksonder geeft de gebiedsafbakening weer.

7.2 Basiselementen van adaptatiepaden

Bijlage C bevat uitgebreide, theoretische achtergrond van de dynamische adaptatiepaden methode. Deze paragraaf introduceert de basiselementen van adaptatiepaden en de wijze waarop deze gevisualiseerd worden.

Een visualisatie van adaptatiepaden bestaat uit de volgende kernelementen (Figuur 7-2):

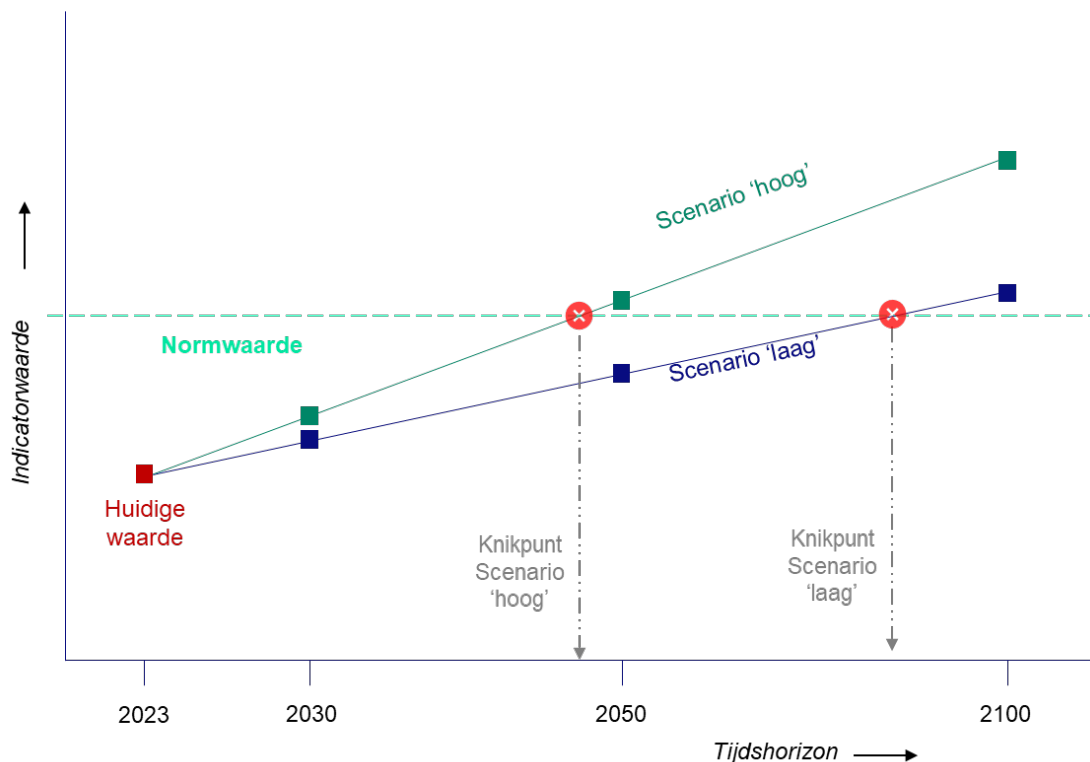
1. De x-as is een tijd- en/of scenariolijn, waarbij concrete jaartallen gecombineerd worden met scenario's. Het bekendste voorbeeld is zeespiegelstijging. Een scenario is een externe factor die niet te beïnvloeden is door het project. Scenario's worden gebaseerd op literatuur.
2. De huidige toestand is het beginpunt aan het begin van de tijd- en/of scenariolijn.
3. Vanuit het beginpunt wordt de tijd- en/of scenariolijn gevolgd tot aan een knikpunt of kantelpunt waarop de toestand niet meer voldoet aan de gestelde normen.
4. Met een maatregel of maatregelpakket wordt een nieuwe toestand bereikt die ofwel weer voldoet aan de gestelde normen ofwel voldoet aan bijgestelde normen. Door opties voor verschillende maatregelen of maatregelpakketten ontstaan verschillende paden. De methode maakt geen prioritering of voorkeur.
5. Element 4 wordt herhaald tot een volgend knikpunt of kantelpunt. Zo ontstaat een netwerk van adaptatiepaden die tot meerdere eindtoestanden op de tijd- en/of scenariolijn leidt.



Figuur 7-2 Basisprincipe van visualisatie van adaptatiepaden; de nummering verwijst naar de tekst

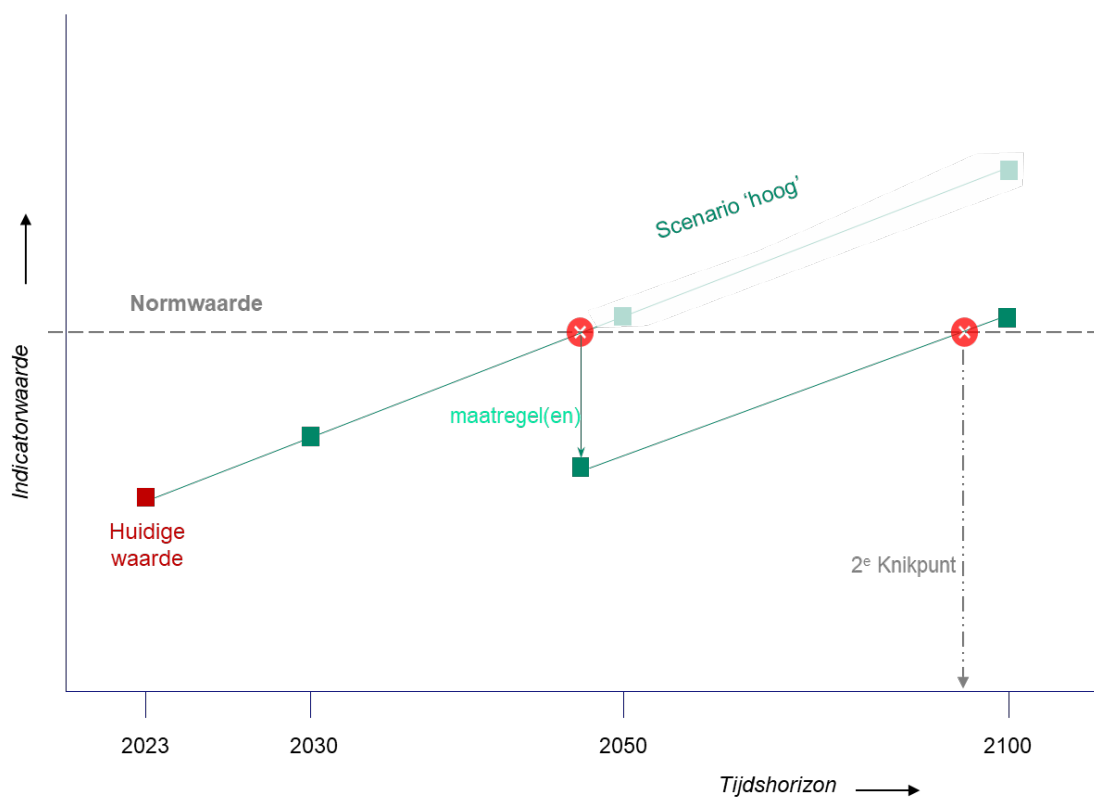
7.3 Samenhang knikpunt, scenario's en maatregel(en)

Figuur 7-3 geeft schematisch weer hoe een knikpunt wordt bepaald. Uitgangspunt is dat een indicator voor de toestand van de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer door de tijd 'gevolgd' wordt. Door een scenario-ontwikkeling zoals zeespiegelstijging verandert de indicatorwaarde. Het knikpunt wordt bereikt als de indicatorwaarde gelijk is aan de normwaarde voor de betreffende indicator. Bij een 'hoog' scenario wordt het knikpunt eerder bereikt dan bij een 'laag' scenario.



Figuur 7-3 Bepaling van knikpunt voor verschillende scenario's

Als het knikpunt bereikt wordt, moet een maatregel genomen worden. Figuur 7-4 laat zien, voor het 'hoog' scenario, dat na het nemen van de maatregel in circa 2045 de indicatorwaarde weer voldoet, d.w.z. lager is dan de indicatorwaarde. Echter, de scenario-ontwikkeling gaat door en in circa 2090 wordt het 2^e knikpunt bereikt en zal een volgende maatregel genomen moeten worden. Voor het nemen van de maatregel is het belangrijk de voorbereidingstijd van de maatregel mee te nemen. Als bijvoorbeeld een vergunningstraject en/of een bouwphase van 5 jaar nodig is, voordat een maatregel geëffectueerd kan worden, moet in het voorbeeld van het 1^e knikpunt al in 2040 begonnen worden. Adaptatiepaden geven zo inzicht in de tijdigheid van de te nemen maatregel.



Figuur 7-4 Effect van maatregel(en) en eventueel nieuw 2^e knikpunt

8 Werkwijze adaptatiepaden

8.1 Doelbereik: selectie indicatoren voor ecologische waterkwaliteit

De eerste bouwsteen is de selectie van indicatoren die de toestand van de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer weergeven. Hiervoor is dezelfde aanpak gevolgd als voor het Getij Grevelingen project (Nolte *et al.* 2021), zij het in aanzienlijk verkorte vorm.

Als eerste is een longlist van indicatoren samengesteld uit onderstaande bronnen (zie bijlage D voor de longlist):

- KRW
- Natura 2000
- Beheerindicatoren (concept)
- PAGW-indicatoren
- Indicatoren toegepast voor Grevelingen (vanwege vergelijkbaarheid van de problematiek)

Vervolgens is een bruikbare set indicatoren geselecteerd welke voldoet aan de volgende criteria (Nolte *et al.* 2021):

1. Representatief voor de vraagstelling, d.w.z. de ecologische waterkwaliteit
 - Autonome ontwikkeling
 - Met maatregelen
2. Effect en effectiviteit van maatregelen weergeven
 - Doorlaatmiddel Getij Grevelingen
 - Autonome beheermaatregelen
 - Compenserende/mitigerende maatregelen
3. Zowel wetenschappelijk valide als politiek/bestuurlijk uitlegbaar
4. Meetbaar
 - Voldoende praktisch/eenvoudig en voldoende nauwkeurig te meten of af te leiden uit metingen
5. Voorspelbaar / Modelleerbaar
 - Omstandigheden en trends in de toekomst voldoende goed te voorspellen

De resulterende set indicatoren voor de toestand van de ecologische waterkwaliteit in het Veerse Meer is opgenomen in Tabel 8-1. Ook de normwaarde en de huidige range zijn opgenomen, indien deze bekend zijn. Net als in de Grevelingen (Nolte *et al.* 2021) blijkt de voorspelbaarheid het criterium waarop veel van de long-list indicatoren afvallen: met name voor de biologische indicatoren op soort- of soortengroep niveau vallen indicatoren af omdat ze met de huidige kennis niet of niet voldoende goed voorspelbaar zijn.

Bij de geselecteerde indicatoren in Tabel 8-1 is nog de volgende toelichting relevant:

- In eerste instantie was de chlorideconcentratie conform de KRW-normering ook als indicator geselecteerd. Deze is in tweede instantie toch weggelaten, omdat de chlorideconcentratie volgens het huidige inzicht nooit als eerste de normwaarde zal bereiken en dus nooit als eerste tot een knippunt zal leiden. De huidige waarde van 15-16 g Cl/l is te ver verwijderd van de normwaarde van 10 g Cl/l.
- In eerste instantie was het areaal ecotopen (diep water, ondiep water, intergetijdengebied, etc.) conform de Grevelingen ook als indicator geselecteerd. Omdat deze echter vrijwel 1-op-1 samenhangt met het peilbeheer en dus met het de geselecteerde indicatoren zomer- en winterpeil, is deze in tweede instantie weggelaten vanwege overbodigheid.

- De twee indicatoren 'zuurstof bij de bodem' en 'geschiktheidsindex bodemdieren' zijn overgenomen van het Getij Grevelingen project. Voor beide is geen normwaarde bekend. Voor de indicator 'zuurstof bij de bodem' is de huidige situatie alleen uit modelresultaten, maar niet uit metingen bekend. Voor de indicator 'geschiktheidsindex bodemdieren' zijn noch modelresultaten noch metingen bekend. Deze indicatoren voldoen daarmee feitelijk niet aan alle selectiecriteria. Desalniettemin zijn deze indicatoren geselecteerd, omdat zij op basis van het huidige systeeminzicht en huidige kennis van functioneren van het ecosysteem als meest relevant en meest kansrijk voor toepassing voor scenariovergelijking worden gezien. Net als bij Getij Grevelingen zijn kennisleemtes gedefinieerd om in het vervolg te adresseren. In Hoofdstuk 11 komt dit terug.

Tabel 8-1 Geselecteerde indicatoren voor de ecologische waterkwaliteit ten behoeve van toepassing in de adaptatiepaden



Indicator (bron)	Normwaarde	Statistiek	Huidige waarde
Zomerpeil (beheerplan) onderste/bovenste	NAP -0,10 / 0 m	99% binnen peilgrenzen	NAP -0,09 / -0,01 m
Winterpeil (beheerplan) onderste/bovenste	NAP -0,40 / -0,20 m	99% binnen peilgrenzen	NAP -0,35 / -0,25 m
DIN (KRW, dissolved inorganic nitrogen)	0,46 mg N/l (goed) 0,74 mg N/l (matig)	wintergemiddelde	0,5-0,9 mg N/l (range 2014-2020)
Chlorofyl-a (KRW)	18 µg/l (goed)	zomergemiddelde	<10 µg/l
Zuurstof bij de bodem (Getij Grevelingen)	<i>Niet bekend</i>	Indexscore	<i>Zie modellering</i>
Bodemdieren (Getij Grevelingen)	<i>Niet bekend</i>	Geschiktheidsindex	<i>Niet bekend</i>

8.2 Definitie scenario's (externe factoren)

Tijdens de eerste werksessie met het projectteam en enkele andere vertegenwoordigers (zie §6.2) op 19 april 2023 is geïnventariseerd welke scenario's van invloed (kunnen) zijn op de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer. De volgende longlist van scenario's waarop deelnemers aan de besluitvorming geen invloed kunnen uitoefenen, is opgesteld:

- Zeespiegelstijging
- Temperatuurstijging
- Verandering neerslagpatronen
- Toename verdamping
- Verandering luchtkwaliteit
- Invasie van exoten
- Toenemende druk van recreatie en toerisme bijvoorbeeld door langer recreatie seizoen
- Levensduur van de huidige waterbouwkundige infrastructuur

De elementen die tijdens de werksessie zijn geïdentificeerd, komen overeen met de drijvende factoren die in de Deltascenario's zijn gepresenteerd (Wolters *et al.* 2018). Om consistentie te waarborgen tussen de scenario's die in deze studie worden gebruikt voor de adaptatiestrategie voor het Veerse Meer en de nationale en regionale projecties, is de ontwikkeling van de adaptatiepaden voor het Veerse Meer daarom voortgezet langs de lijnen van de Deltascenario's.

De Deltascenario's hanteren een tweedimensionale indeling met klimaatfactoren op de ene as en sociaaleconomische factoren op de andere as. In Tabel 8-2 zijn de geïdentificeerde factoren in deze indeling geplaatst en (deels) geherformuleerd in de terminologie van de Deltascenario's. Tabel 8-2 geeft daarnaast aan of de scenariofactor een relevant, dat wil zeggen substantieel effect heeft op de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer. Uit deze beoordeling komen vier scenariofactoren naar voren die (potentieel) significant geacht worden. Tabel 8-3 geeft de waarden voor deze factoren conform de Deltascenario's Rust en Stoom (Wolters *et al.* 2018). Opgemerkt wordt dat voor de komende 15 jaar de verwachte zeespiegelstijging 2.9 mm/jaar is (Stolte *et al.* 2023). Voor de periode tot 2050 sluit het Deltascenario Rust daarom het meest aan op de huidige waarnemingen.

Voor de nutriëntenbelasting geven de Deltascenario's geen waarde. Bovendien is hiervoor het NPLG en het PPLG van Provincie Zeeland relevant, waarvan de uitkomst nog niet bekend is. Voor de nutriëntenbelasting is daarom een indicatieve waarde aangenomen, waarbij de 'worst-case' (scenario Stoom) is dat de nutriëntenbelasting gelijk blijft. In het 'best-case' scenario (Rust) wordt vooralsnog aangenomen dat de nutriëntenbelasting enkele tientallen procenten afneemt.

Tabel 8-4 geeft aan of de scenariofactor effect heeft op de doelbereikindicatoren. Tevens wordt aangegeven of een model beschikbaar is om het effect te voorspellen. Hieruit blijkt dat voor de indicator 'Bodemdieren' momenteel geen model beschikbaar is.

Tabel 8-2 Beoordeling relevantie van scenariofactoren voor de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer

Scenario	Scenariofactor	Relevant?
Klimaatverandering	Zeespiegelstijging	Ja: verversing via Katse Heule en waterpeil
	Neerslag	Ja: waterpeil en mogelijk aanvoer nutriënten
	Temperatuur	Mogelijk: stratificatie en directe hittestress biota
Sociaal-economische ontwikkeling	Aantal inwoners	Nee: Geen direct effect (via bijvoorbeeld RWZI), mogelijk via recreatie
	Omvang BBP	Nee
	Economische groei	Nee
	Stedelijke gebied	Nee
	Natuur (binnendijs)	Nee
	Recreatie	Nee: mogelijk extra nutriëntenbelasting, maar klein (Ja: via verstoring vogels)
	Landbouw	Ja: nutriëntenbelasting

Tabel 8-3 Waarden voor scenariofactoren in 2050 en 2085 conform het Rust en Stoom Deltascenario (Wolters et al. 2018). Voor nutriëntenbelasting geven de Deltascenario's geen waarde; zie tekst voor uitleg.

Scenario	Scenariofactor	Rust		Stoom	
		2050	2085	2050	2085
Klimaatverandering	Zeespiegelstijging (cm)	15	25	40	85
	Neerslag (jaar gemiddeld)	+4%	+5%	+5%	+7%
	Temperatuur (°C)	1	2	1,5	3,5
Sociaaleconomische ontwikkeling	Nutriëntenbelasting (landbouw)	-20% ?	-40% ?	0%	0%

Tabel 8-4 Indicatie of een scenariofactor van invloed is op een indicator. Indien 'Ja', 'Ja?' of '?' wordt aangegeven of een model beschikbaar is voor voorspellingen.

Scenariofactor	Zeespiegelstijging		Neerslag		Temperatuur	Nutriëntenbelasting	
Indicator							
Zomerpeil	Ja	✓	Ja	✓	Nee	Nee	
Winterpeil	Ja	✓	Ja	✓	Nee	Nee	
Stikstof (DIN)	Ja	✓	Ja	✓	Nee	Ja	✓
Chlorofyl-a	Ja	✓	Nee		? ✓	Ja	✓
Zuurstof bij de bodem	Ja	✓	? ✓		Ja? ✓	Ja	✓
Bodemdieren	Ja	✗	Nee		Ja? ✗	? ✗	

8.3 Maatregelen

Het projectteam van Rijkswaterstaat heeft als onderdeel van het project een longlist van mogelijke maatregelen opgesteld. Deze longlist is onder andere tot stand gekomen in omgevingsbijeenkomsten met belanghebbenden. Het projectteam van Rijkswaterstaat heeft de maatregelen reeds geëvalueerd op technische haalbaarheid, complexiteit, geschatte kosten en financieringsmogelijkheden.

Ten behoeve van het gebruik in adaptatiepaden zijn de maatregelen ingedeeld in vier categorieën onderscheidend in het type effect dat een maatregel heeft op het ecosysteem functioneren:

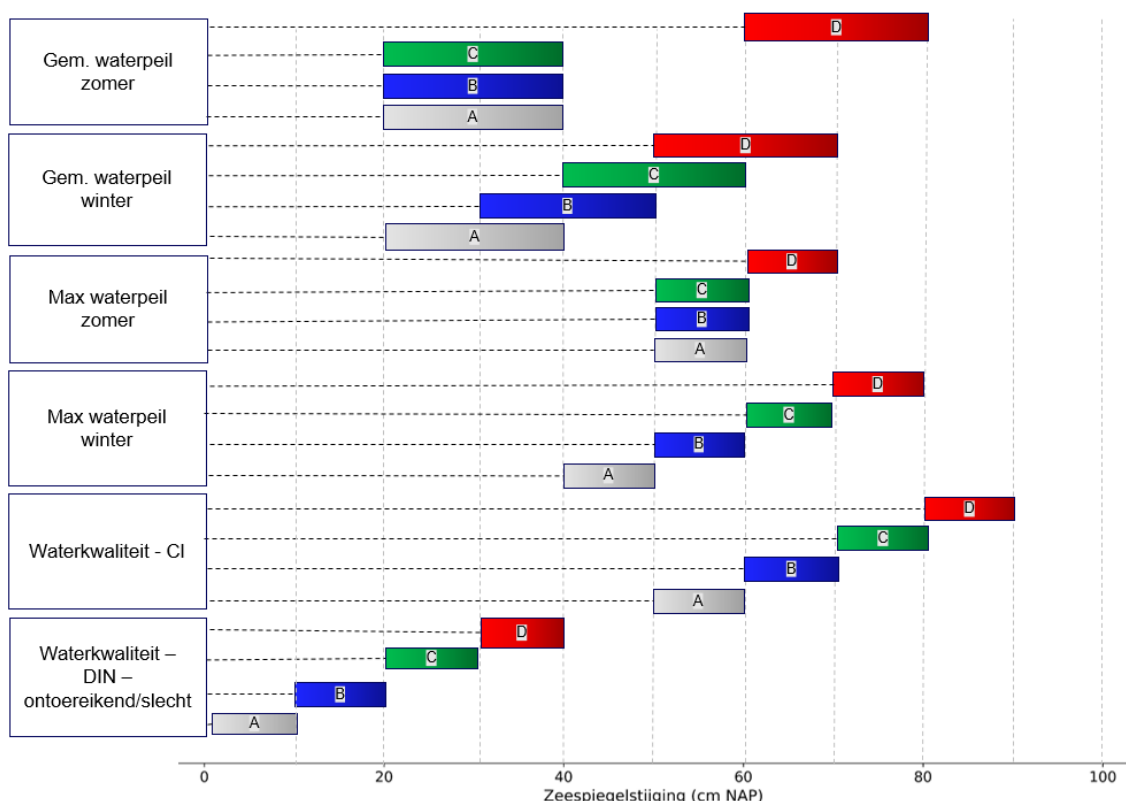
1. Vergroten uitwisseling via de oostzijde (Zandkreeksluis, Katse Heule)
2. Realiseren uitwisseling of doorspoeling via westzijde (Veerse Gatdam of kanalen)
3. Reduceren nutriëntenvracht vanuit de omliggende polders
4. Lokale maatregelen in het Veerse Meer (o.a. lokale menging, lokaal baggeren)

De longlist van maatregelen inclusief evaluatie door het projectteam van Rijkswaterstaat en ingedeeld in de vier categorieën is opgenomen in Bijlage E.

8.4 Kwantificering indicatoren in relatie tot knikpunten

8.4.1 Balansmodel klimaatrobuustheidsstudie

In de studie naar klimaatrobuustheid Veerse Meer (Maarse *et al.* 2021) is de relatie onderzocht tussen zeespiegelstijging en het regulier peilbeheer en waterkwaliteit (KRW-normen voor stikstof en chloride). De overige beheerdoelen en gebruiksfuncties zijn kwalitatief beoordeeld. De kwantitatieve analyse gebruikt een model dat de waterbalans van het Veerse Meer doorrekent op basis van aannames voor de in- en uitgaande debieten. De mengverhouding tussen zoet/brak polderwater en het Kanaal door Walcheren en zout Oosterscheldewater is als maat voor de waterkwaliteit berekend. Figuur 8-1 vat de resultaten van de klimaatrobuustheidsstudie samen waarin drie van de zes doelbereikindicatoren zijn meegenomen (zomerpeil, winterpeil en stikstof (DIN)).



Figuur 8-1 Overzicht van knikpunten per indicator voor de vier verschillende peilbeheersscenario's in de klimaatrobuustheidsstudie Veerse Meer (Maarse *et al.* 2021)

8.4.2 Balansmodel relatie uitwisseling-nutriëntenvracht

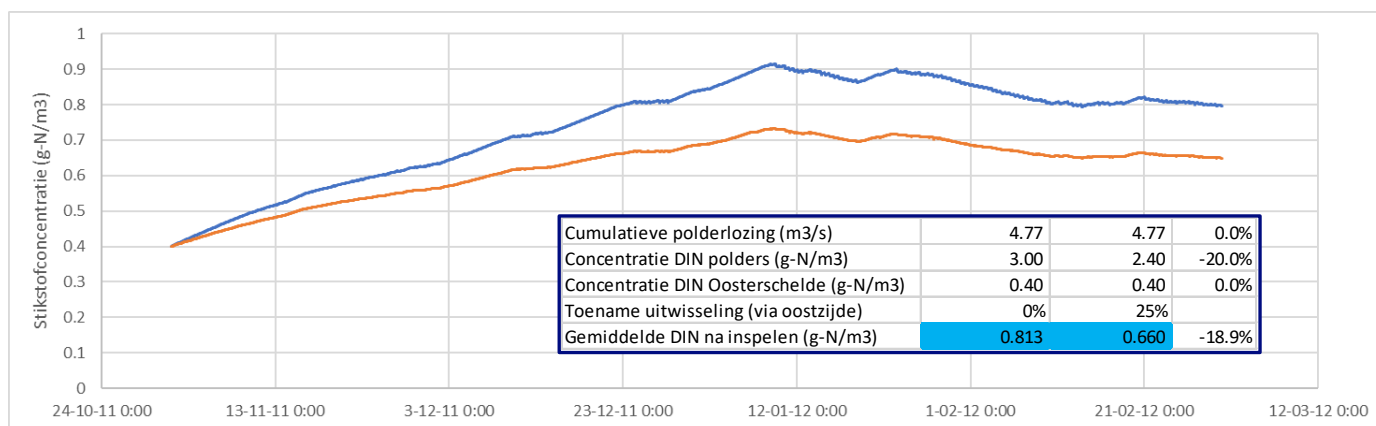
Om te onderzoeken hoe de doelindicator Stikstof (DIN) reageert op (de combinatie van) het vergroten van de uitwisseling aan de oostzijde en het reduceren van de nutriëntenvracht is een eenvoudig balansmodel opgezet in Excel. De basis is een gemeten tijdserie van de uitwisseling door de Katse Heule. De tijdserie omvat de winterperiode van november tot en met februari, omdat de doelindicator Stikstof (DIN) als wintergemiddelde is gedefinieerd. Voor deze studie is arbitrair de periode november 2011-februari 2012 gebruikt. Nog niet gecontroleerd is, of dit een representatieve winter is geweest. In een vervolg is deze periode eenvoudig te veranderen of is het mogelijk meerdere periodes te vergelijken. Voor de toepassing in deze studie om een verkennende relatieve vergelijking van categorieën maatregelen te doen, wordt de keuze van de specifieke periode niet cruciaal geacht. In de meetperiode november 2011-februari 2012 is het gemiddeld instromend debiet 20,96 m³/s en het gemiddeld uitstromend debiet 25,72 m³/s. Uitgaande van een gesloten waterbalans komt dat neer op 4,76 m³/s cumulatieve lozing op het Veerse Meer door poldergemalen, neerslag en het Kanaal door Walcheren. Uit de bekende waterbalansen voor het Veerse Meer is dit een normale waarde, hetgeen vertrouwen geeft in de gebruikte tijdserie.

Overige invoer in het balansmodel is de stikstofconcentratie in de cumulatieve (polder)lozing en de stikstofconcentratie in de Oosterschelde. Deze worden als constant aangenomen. Het balansmodel berekent vervolgens de stikstofconcentratie (DIN) in het Veerse Meer, waarbij het gemiddelde over de maand februari 2012 voor vergelijking wordt gebruikt. De drie maanden november 2011-januari 2012 worden als inspeelperiode beschouwd.

In het balansmodel kunnen vier variabelen veranderd worden, waarna – na inspelen – voor de maand februari de nieuwe gemiddelde stikstofconcentratie wordt berekend. De vier variabelen zijn:

- Cumulatieve polderlozing (m³/s)
- Concentratie DIN polders (g-N/m³)
- Concentratie DIN Oosterschelde (g-N/m³)
- Toename uitwisseling (via oostzijde)

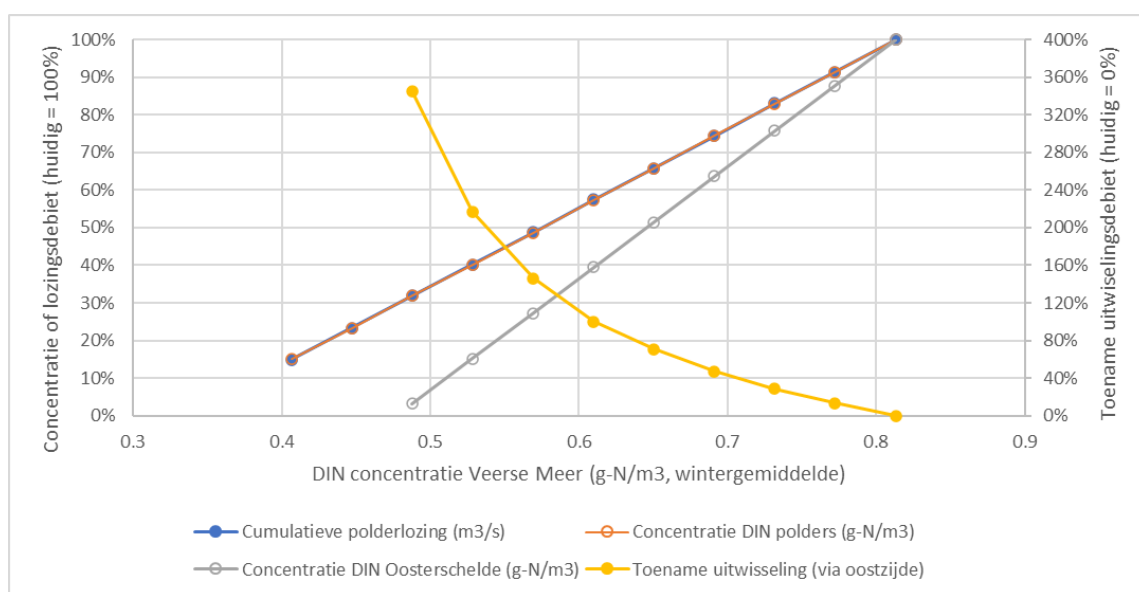
Figuur 8-2 toont een voorbeeld van de berekende tijdseries waarbij de (huidige) referentiesituatie in blauw is weergegeven en een situatie met 20% lagere stikstofconcentratie in de (polder)lozingen en 25% meer uitwisseling aan de oostzijde in oranje is weergegeven. De gemiddelde stikstofconcentratie in februari daalt van 0,81 g-N/m³ naar 0,66 g-N/m³ ofwel daalt 19% (Figuur 8-2).



Figuur 8-2 Voorbeeldresultaat van het bakjesmodel voor uitwisseling aan de oostzijde en reduceren van de nutriëntenvracht

Tenslotte is met dit balansmodel de relatie bepaald tussen de wijziging van één variabele en de resulterende stikstofconcentratie (Figuur 8-3). Uit Figuur 8-3 is bijvoorbeeld af te lezen dat om de stikstofconcentratie te verlagen van 0,81 g-N/m³ naar 0,60 g-N/m³ een toename van bijna 120% van de uitwisseling aan de oostzijde nodig is, circa 65% (= 100-35) reductie van de stikstofconcentratie in de Oosterschelde of circa 45% reductie van de stikstofvracht uit de omliggende polders.

De indicatieve getallen geven een schatting van de mogelijke effecten van verschillende scenario's op de waterkwaliteit in het Veerse Meer, gebaseerd op de huidige peilgrenzen. Bij een zeespiegelstijging van 25 cm wordt verwacht dat de uitwisseling via Katse Heule met circa 20% zal afnemen en de stikstofconcentratie in het Veerse Meer met 10% zal stijgen. Dit kan worden gecompenseerd door de polderafvoer met 15% te verminderen. Bij een toename van 20% in de uitwisseling via Katse Heule zal de stikstofconcentratie in het Veerse Meer met 7% afnemen en na een zeespiegelstijging van 15 cm weer op het oude niveau komen. Als de poldervracht met 50% wordt verlaagd, wordt verwacht dat de stikstofconcentratie in het Veerse Meer met 30% zal afnemen en na een zeespiegelstijging van 50 cm weer op het oude niveau zal zijn.



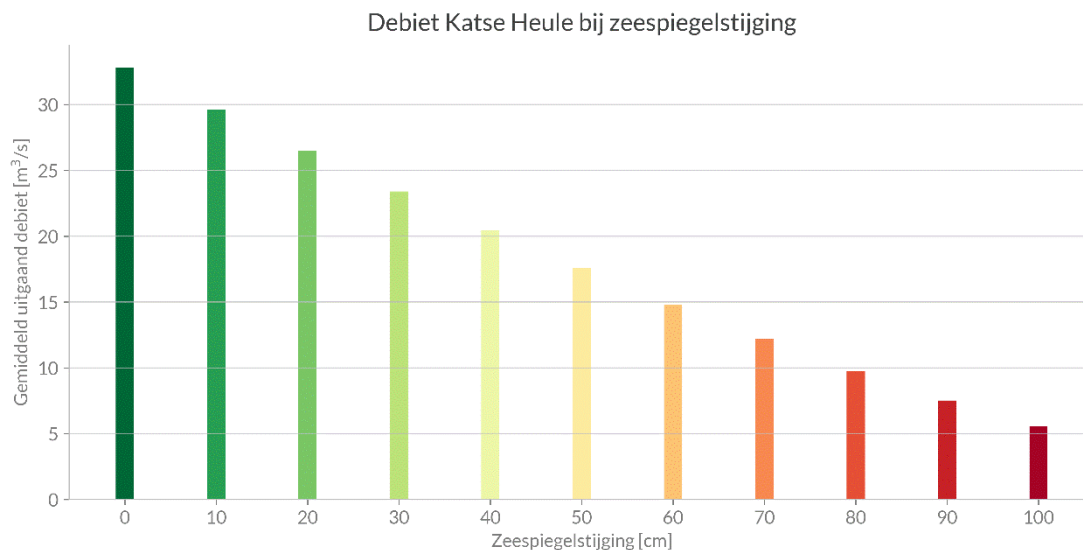
Figuur 8-3 Relatief effect van toename uitwisseling aan de oostzijde (rechter as) en van afname nutriëntenvracht (linker as) op de resulterende gemiddelde stikstofconcentratie (horizontale as) in het Veerse Meer.

8.4.3 Capaciteit Katse Heule in relatie tot zeespiegelstijging

De capaciteit van de Katse Heule, uitgedrukt in het debiet dat naar de Oosterschelde kan worden afgevoerd, is afhankelijk van het verschil in waterpeil tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer. Figuur 8-4 laat een inschatting zien van het jaargemiddelde uitgaande debiet (W. Huibregtse, pers.med.).

Uitgangspunt bij deze figuur is een peil in het Veerse Meer dat het gemiddelde is van de peilgrenzen. Het peil op de Oosterschelde zijn de opgetreden waterstanden van het jaar 2022. Elke zeespiegelstijging is opgeteld bij deze opgetreden waterstanden.

Het berekende uitgaande debiet is een theoretische waarde, er is geen rekening gehouden met het precieze peil van het Veerse Meer, bijvoorbeeld door scheefstand, regenval, etc. Het gemeten uitgaande debiet over 2022 is ongeveer 30,3 m³/s, het theoretische debiet ligt iets minder dan 10% hoger. Dat zal waarschijnlijk ook gelden bij zeespiegelstijging.



Figuur 8-4 Theoretisch jaargemiddeld uitgaand debiet door de Katse Heule als functie van zeespiegelstijging (bron: W. Huibregtse, RWS Zee en Delta).

9 Adaptatiepaden: resultaat

In dit hoofdstuk is alle beschikbare informatie gebundeld en samengevat in adaptatiepaden. Het betreft:

- De doelbereikindicatoren met als afbakening
 - dat voor de indicator 'zuurstof bij de bodem' geen normwaarde bekend is, en
 - dat voor de indicator 'bodemleven' noch een normwaarde bekend is noch een voorspellend model beschikbaar is.
- De scenario's voor klimaatverandering en nutriëntenvracht met als afbakening
 - dat voor temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering nog geen voorspellend model beschikbaar is, en
 - dat voor de nutriëntenvracht de uitwerking van de NLPG/PPLG relevant is waarvoor nog niet bekend is wat dat voor het Veerse Meer gaat betekenen.
- De maatregelen ingedeeld in vier categorieën met als afbakening
 - dat er voor de categorie lokale maatregelen (lokale menging, lokaal baggeren) nog geen modelresultaten beschikbaar zijn, en
 - dat er nog geen combinatie van type maatregelen (zoals vergroten uitwisseling oostzijde én reductie nutriëntenvracht) in de adaptatiepaden is verwerkt.

De elementen die in de afbakening zijn opgenomen, kunnen in de volgende fase van het project eventueel toegevoegd worden. Zie ook Hoofdstuk 11 en 12 voor overwegingen en aanbevelingen.

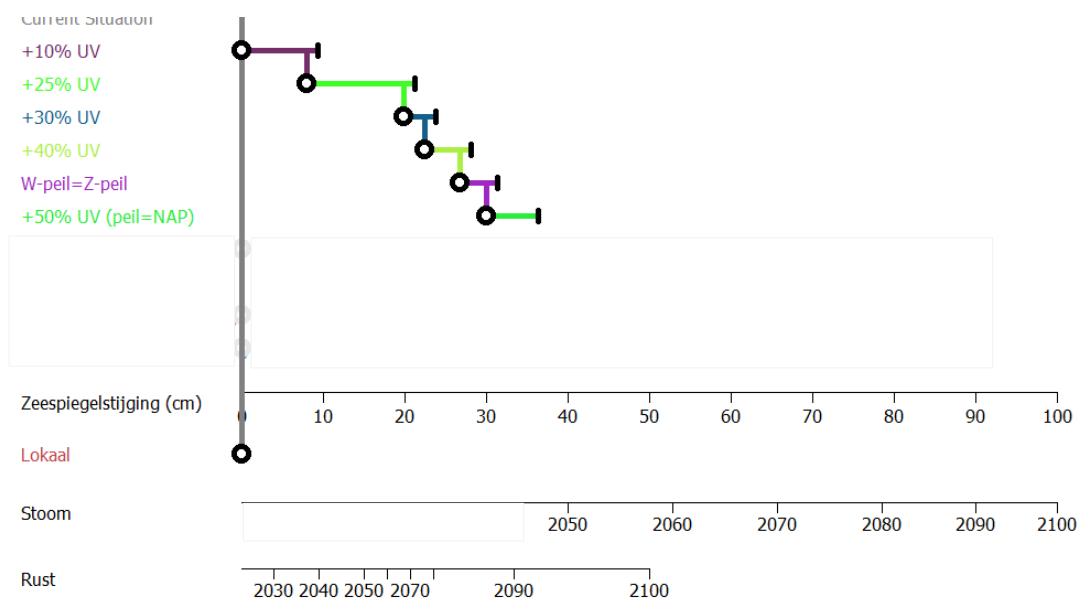
9.1 Adaptatiepad 1: Vergroten uitwisseling oostzijde (Katse Heule)

Voor de maatregelcategorie 'vergroten uitwisseling oostzijde' wordt voorsnag een relatief eenvoudige aanname gedaan op basis van de capaciteit van de Katse Heule (Figuur 8-4). Hieruit blijkt dat de capaciteit per 10 cm zeespiegelstijging met 2,5-3 m³/s afneemt. Op basis van de huidige capaciteit van circa 30 m³/s kan vervolgens gesteld worden dat per 10 cm zeespiegelstijging de uitwisselingscapaciteit 10% moet toenemen om weer gelijk te zijn aan de huidige capaciteit. De voorlopige aanname is vervolgens dat de ecologische waterkwaliteit in het Veerse Meer dan ook weer gelijk is aan de huidige situatie.

Figuur 9-1 toont het adaptatiepad voor de categorie 'vergroten uitwisseling oostzijde'. Zoals hierboven toegelicht volgt het 1^e knikpunt bij 10 cm zeespiegelstijging als de uitwisseling met ongeveer 10% is afgenomen. Er is dan 10% vergroting van de uitwisseling nodig om weer op het huidige niveau terug te keren. 10% vergroten van de uitwisseling is waarschijnlijk te realiseren door schoonmaken van aangroei in de Katse Heule en inzet van de Zandkreeksluis (maatregelen M001 en M002 in Bijlage E).

Verwacht wordt dat 25% vergroting van de uitwisseling te realiseren is met optimalisatie van het peilbeheer. Tijdens de zomerpeilgrenzen wordt nu een marge van 1 cm gehanteerd ten opzichte van de onder- en bovengrens waardoor in de praktijk op een peilvariatie van 8 cm wordt gestuurd, terwijl de peilgrenzen een peilvariatie van 10 cm toestaan. Indien van 8 cm op 10 cm peilvariatie overgegaan kan worden, komt dat neer op 25% meer uitwisseling door de Katse Heule.

Tijdens het verlaagde winterpeil is de capaciteit van de Katse Heule kleiner dan tijdens het zomerpeil, omdat het tijdvenster waarin gespuid kan worden naar de Oosterschelde korter is. Ingeschat wordt dat het verhogen van het winterpeil naar het zomerpeil de uitwisseling met 25-30% vergroot. Aanvullend op de hierboven genoemde maatregelen als schoonmaak zou tot ruim 30 cm zeespiegelstijging de huidige waterkwaliteit gehandhaafd kunnen blijven. Echter, de indicator 'winterpeil' wordt dan niet meer gehaald en zal bijgesteld moeten worden. Het verhogen van het winterpeil heeft consequenties voor de kwel en vernatting van binnendijkse en buitendijkse gebieden en voor de afvoercapaciteit van poldergemalen.



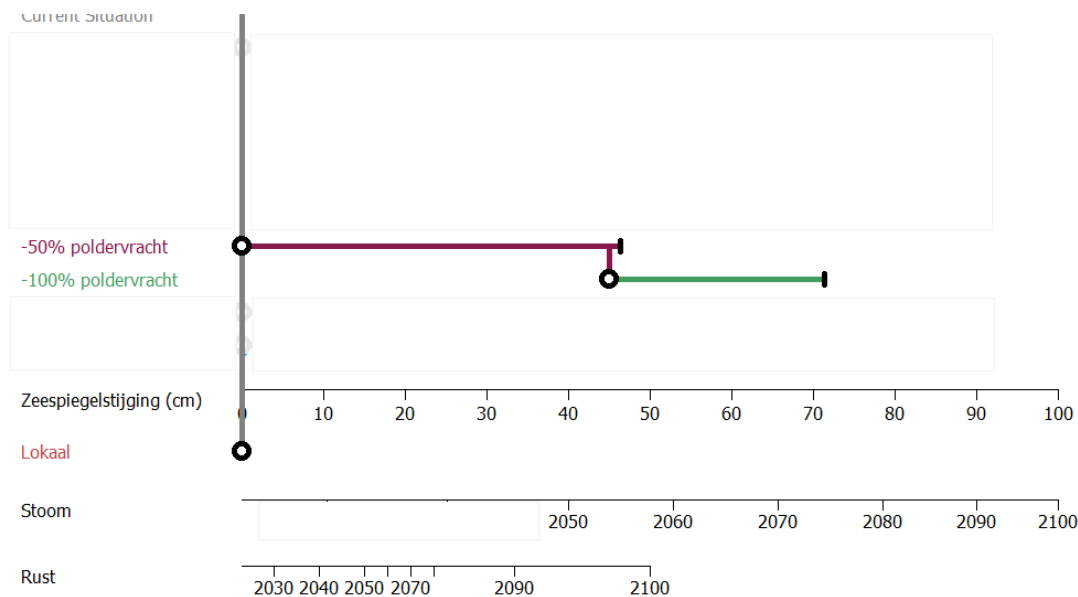
Figuur 9-1 Adaptatiepad 1: Vergroten uitwisseling oostzijde (Katse Heule). Aanname is dat na het nemen van de maatregel de huidige waterkwaliteit is hersteld. Er is nog geen rekening gehouden met verbetering van de huidige waterkwaliteit.

9.2 Adaptatiepad 2: Reduceren nutriëntenvracht

Figuur 9-2 toont het adaptatiepad voor de maatregelcategorie 'reduceren nutriëntenvracht' uit de omliggende polders. Indicatief worden alleen 50% en 100% reductie getoond. Andere reductiepercentages kunnen geïnterpoleerd worden.

Scenarioberekening '-polders' met het 3D model met 100% reductie van de nutriëntenvracht uit de omliggende polders laat een groot effect op de indicator Stikstof (DIN) zien met een circa 80% lagere concentratie ten opzichte van huidig tot gevolg (Figuur 5-3). Dit komt overeen met de berekening van het eenvoudige balansmodel (Figuur 8-3). Het effect op de indicatoren Chlorofyl-a en Zuurstof bij de bodem is minder groot (Figuur 5-4, Figuur 5-6). Het effect op de indicator Bodemleven is niet bekend (Tabel 8-4).

Bij stijgende zeespiegel neemt de uitwisseling met de Oosterschelde af (bij gelijkblijvend peilbeheer). Bij circa 45-50 cm zeespiegelstijging is de uitwisselingscapaciteit door de Katse Heule gehalveerd, waardoor bij 50% reductie van poldervracht de verhouding tussen Oosterscheldewater en polderwater weer gelijk is aan de huidige situatie. Het knippunt voor de houdbaarheid van de maatregel 50% reductie nutriëntenvracht uit omliggende polders ligt daarom bij circa 45 cm zeespiegelstijging in Figuur 9-2. Het knippunt bij maximale reductie van 100% is speculatief op ruim 70 cm geplaatst; aannemende dat het effect van zeespiegelstijging niet lineair doorwerkt.

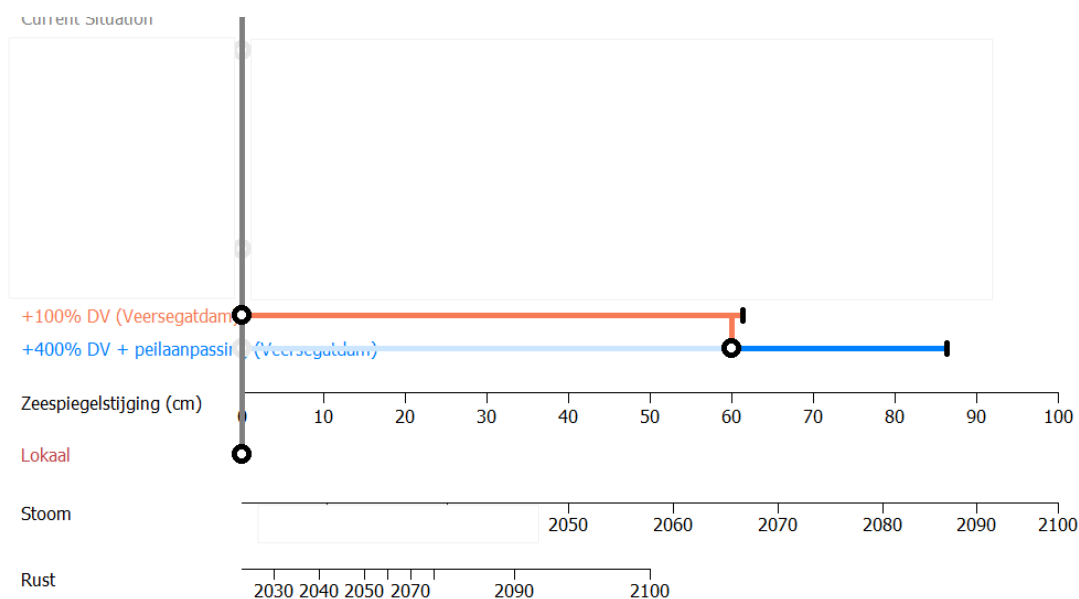


Map generated with Pathways Generator, ©2015, Deltares, Carthago Consultancy

Figuur 9-2 Adaptatiepad 2: Reduceren nutriëntenvracht uit omliggende polders. Aanname is dat na het nemen van de maatregel de huidige waterkwaliteit is hersteld. Er is nog geen rekening gehouden met verbetering van de huidige waterkwaliteit.

9.3 Adaptatiepad 3: Vergroten doorstroming via westzijde

Het derde adaptatiepad gaat over de maatregelcategorie 'vergroten doorstroming via westzijde'. In Figuur 9-3 worden indicatief twee maatregelen getoond. De eerste maatregel is een doorlaatmiddel in de Veerse Gatdam ter grootte van de Katse Heule waardoor de totale uitwisselingscapaciteit in potentie verdubbelt (afhankelijk van de uitvoering). De tweede maatregelen is een doorlaatmiddel dat verhoudingsgewijs vergelijkbaar is met het onderzochte doorlaatmiddel in de Brouwersdam voor 30 tot 40 cm getij in de Grevelingen. Zo'n doorlaatmiddel zal de uitwisselingscapaciteit met ordegrootte 400% vergroten. De uitwisselingscapaciteit van de Katse Heule is bij circa 45-50 cm zeespiegelstijging gehalveerd. Omdat verwacht wordt dat uitwisseling aan de westzijde een positief effect heeft op de indicator Zuurstof bij de bodem, vooral in het westelijk/middendeel van het meer, wordt het knikpunt bij een grotere zeespiegelstijging verwacht dan alleen op basis van uitwisselingscapaciteit. Uit de systeemanalyse en uit de modellering blijkt immers dat Zuurstof bij de bodem in het oosten dichtbij de Katse Heule 'goed' is ondanks hoge zuurstofvraag van de bodem door de nabijheid van aanvoer van zuurstofrijk water via de Katse Heule. Verwacht mag worden dat dit effect ook op zal treden in het westen – waar in de huidige situatie lage zuurstofconcentraties voorkomen in de diepere delen van het meer (Figuur 5-6) – en dat een doorlaatmiddel in de Veerse Gatdam voor aanvoer van zuurstofrijk water zal zorgen.



Map generated with Pathways Generator, ©2015, Deltares, Carthago Consultancy

Figuur 9-3 Adaptatiepad 3: Vergroten doorstroming via westzijde (Veerse Gatdam). Aanname is dat na het nemen van de maatregel de huidige waterkwaliteit is hersteld. Er is nog geen rekening gehouden met verbetering van de huidige waterkwaliteit.

9.4 Samenvattend en concluderend

In Figuur 9-4 staan alle uitgewerkte adaptatiepaden. De paden zijn in deze fase uitgewerkt per categorie maatregelen. Er is nog geen combinatie van maatregelen uitgewerkt. Uit de resultaten blijkt dat het aanpakken van de bronnen van stikstof, met name het polderwater, een sterker effect heeft op de stikstofconcentratie dan het vergroten van de verversing (zie ook §5.6). Het relatieve effect op stikstof is groter dan het relatieve effect op algen en het relatieve effect op zuurstof. Deze bevindingen zijn van cruciaal belang bij het ontwikkelen van effectieve maatregelen om de waterkwaliteit in het Veerse Meer te verbeteren en de ecologische balans te herstellen, rekening houdend met verschillende klimaat- en nutriëntenvrachtsenario's. Het vinden van een evenwichtige aanpak tussen het verminderen van de poldervracht en het optimaliseren van de uitwisseling via Katse Heule kan een effectieve strategie zijn om de waterkwaliteit in het Veerse Meer te beheersen.

De dynamische adaptatiepaden methode is ingezet om (informatie over) het doel, de scenario's (externe factoren) en de maatregelen systematisch te ordenen. Adaptatiepaden zijn met name geschikt om een onzekere toekomst zoals de mate van zeespiegelstijging inzichtelijk te maken voor besluitvorming.

- Voor het doelbereik zijn de volgende indicatoren gedefinieerd:
 - Zomerpeil
 - Winterpeil
 - Opgelost anorganisch stikstof concentratie (DIN wintergemiddelde, KRW)
 - Chlorofyl-a (zomergemiddelde, KRW)
 - Zuurstofconcentratie bij de bodem
 - Bodemdieren
- Voor de scenario's zijn de volgende factoren gedefinieerd:
 - Klimaatverandering (zeespiegelstijging kwantitatief; temperatuurstijging kwalitatief)
 - Nutriëntenbelasting
- De long-list van maatregelen is als volgt gecategoriseerd:
 - Vergroten uitwisseling via de oostzijde (Zandkreeksluis, Katse Heule)
 - Realiseren uitwisseling of doorspoeling via westzijde (Veerse Gatdam of kanalen)
 - Reduceren nutriëntenvracht vanuit de omliggende polders
 - Lokale maatregelen in het meer

Op basis van de systematische aanpak met adaptatiepaden waarin kennis van de monitoring, systeemanalyse en modellering is meegenomen, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

In relatie tot het doelbereik:

- Het is noodzakelijk het doelbereik nader te definiëren. Voor twee van de geselecteerde indicatoren – Zuurstofconcentratie bij de bodem en Bodemdieren – is geen normwaarde voor een goed functioneren van het ecosysteem bekend. De beschikbare KRW en Natura 2000 indicatoren en normwaarden zijn niet geschikt voor gebruik in de adaptatiepaden, omdat zij niet voorspelbaar (modelleerbaar) zijn.
- Hieraan ten grondslag ligt de constatering uit de systeemanalyse dat een oorzaak-effectrelatie tussen tijdelijk lage zuurstofconcentraties bij de bodem en de toestand van bodemdieren nog niet (wetenschappelijk) vastgesteld is.

In relatie tot de adaptatiepaden en de maatregelen op korte (5-10 jaar) termijn:

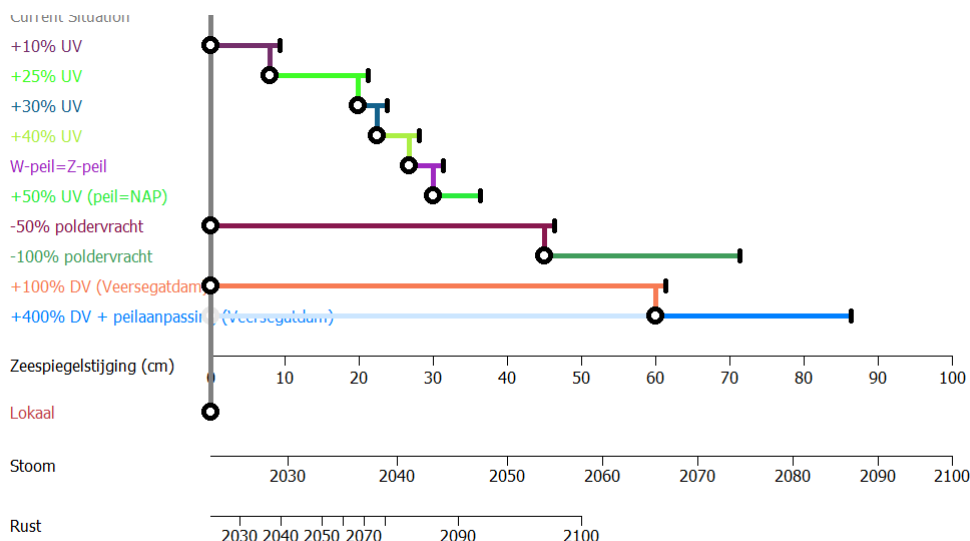
- Het is waarschijnlijk mogelijk om met optimalisatie van de inzet van Katse Heule en Zandkreeksluis de uitwisseling aan de oostzijde 10-25% te vergroten en zo de huidige

situatie (licht) te verbeteren. Deze nieuwe situatie is in ieder geval de komende 10 jaar (tot 2035) houdbaar binnen de mogelijke ontwikkeling van de zeespiegelstijging.

- Het reduceren van de nutriëntenvracht uit de omliggende polders is effectiever dan het vergroten van de uitwisseling aan de oostzijde (Katse Heule, Zandkreeksluis).
- De ontwikkeling van de nutriëntenvracht als gevolg van de uitvoering van het Provinciaal Programma Landelijk Gebied (PPLG) tot 2030 is nog niet bekend. Het is waarschijnlijk dat de nutriëntenvracht zal afnemen, wat positief bijdraagt aan de ecologische waterkwaliteit.
- Het is nog niet mogelijk geweest om de effectiviteit van uitwisseling of doorspoeling via de westzijde en de effectiviteit van lokale maatregelen kwantitatief te onderzoeken.

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Vergroot de systeemkennis en met name het begrip van toestand en trend van het bodemleven als kernindicator voor het hogere voedselweb. De hypothese dat tijdelijk lage zuurstofconcentraties de (enige) oorzaak zijn van achteruitgang van het ecosysteem moet getoetst worden. Daarnaast moet de relatie tussen de ontwikkeling van de sedimentsamenstelling en het bodemleven onderzocht worden op basis van de hypothese dat invang van slib en organisch materiaal uit de Oosterschelde een negatief effect heeft op de voor bodemleven geschikte sedimentsamenstelling.
- Vergroot de kennis van het effect van lokale menging waardoor lokaal de zuurstofconcentratie verbetert, op de toestand en ontwikkeling van het bodemleven. Hiervoor is een grootschalig veldexperiment noodzakelijk in samenhang met een monitoringsprogramma inclusief gedegen data-analyse en modelvalidatie ten behoeve van het kunnen doorrekenen van het effect van opschaling. Dit experiment draagt ook bij aan aanbeveling A.
- Creëer tijd voor het uitvoeren van deze aanbevelingen door optimalisatie van uitwisseling aan de oostzijde en door optimalisatie van de uitvoering van het PPLG. Dan is rond 2030 voldoende kennis beschikbaar om tijdig de adaptatiepaden aan te scherpen om indien nodig keuzes te maken voor de volgende maatregel of maatregelen.



Map generated with Pathways Generator, ©2015, Deltares, Carthago Consultancy

Figuur 9-4 Adaptatiepaden voor de ecologische waterkwaliteit van het Veerse Meer. Combinaties van maatregelcategorieën zijn nog niet uitgewerkt in deze fase. Aanname is dat na het nemen van de maatregel de huidige waterkwaliteit is hersteld. Er is nog geen rekening gehouden met verbetering van de huidige waterkwaliteit

10 Afsluitende beschouwing

Dit rapport maakt onderdeel uit van het actieprogramma van de Gebiedsvisie Veerse Meer 2020-2030, in het bijzonder de actie gericht op de waterkwaliteit van het Veerse Meer. In hoofdstuk 2 t/m 5 is samengevat wat we op basis van eerder uitgevoerde analyses en onderzoek kunnen concluderen over de huidige problemen in het Veerse Meer, de belangrijkste oorzaken en de kennisleemtes. Hoofdstuk 6 geeft een modelinschatting van de effecten van een aantal maatregelen op de waterkwaliteit van het Veerse Meer. Hoofdstuk 7 t/m 10 gebruikt de methodiek van adaptatiepaden om op een systematische wijze verschillende categorieën van maatregelen te ordenen met betrekking tot doelen en fasering in de tijd, rekening houdend met onzekerheid over zeespiegelstijging.

Uit de analyse van de huidige waterkwaliteits- en ecologische problemen en mogelijke oorzaken komt naar voren dat verschillende wettelijke doelen (KRW, Natura 2000) niet gehaald worden en gebruikers overlast ervaren (o.a. van wieren, kwallen). En belangrijker, er is geen sprake van een gezond ecosysteem wat zich de laatste jaren o.a. uit in een achteruitgang van de zuurstofcondities en de bodemdierengemeenschap. Ook is duidelijk dat als gevolg van klimaatverandering en zeespiegelstijging, op termijn de uitwisseling met de Oosterschelde via de Katse Heule zal verminderen met potentieel negatieve effecten op het functioneren van het ecosysteem.

Er zijn nog vrij veel kennisleemtes, vooral als het gaat om kwantitatief begrip van de samenhang tussen de ecologische en waterkwaliteitsproblemen in het Veerse Meer. Zo zijn er nog vragen rond de wisselwerking tussen fysische factoren, het optreden van gelaagdheid, weersinvloeden en bodemprocessen, en de doorwerking op de zuurstofhuishouding. Daarnaast is de invloed van zuurstofproblematiek op bodemdieren onzeker, terwijl de bodemdierengemeenschap belangrijk is als indicator voor het functioneren van het ecosysteem. Hoewel de waterkwaliteit mogelijk relevant is voor enkele vogelsoorten onder Natura2000, zijn andere oorzaken waarschijnlijk meer van invloed op de meeste soorten. Gezien de vele onzekerheden is het essentieel om de kennis over de samenhang en causale relaties tussen waterkwaliteits- en ecologische problemen verder te verdiepen en te onderbouwen.

Daarnaast is het noodzakelijk om het inzicht in de effectiviteit van maatregelen te vergroten en de doelen verder uit te werken. De doelen die nu gebruikt zijn bij de eerste opzet van de adaptatiepaden (§9.1) zijn gebaseerd op de huidige KRW doelen, doelen voor waterpeil en doelen afgeleid van Getij Grevelingen die nog niet gekwantificeerd zijn (geen normwaarde vastgesteld). Dit is een onvoldoende basis voor vergaande besluitvorming. Een grondiger begrip van de complexe interacties en gevolgen van de maatregelen is van essentieel belang om duurzame oplossingen te kunnen bieden voor de waterkwaliteits- en ecologische uitdagingen in het Veerse Meer.

Op dit moment zijn vier categorieën van maatregelen in beeld om de waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer te verbeteren. Er zijn lokale maatregelen die uitvoerbaar zijn op korte termijn en in pilotprojecten kunnen worden toegepast. Daarnaast is het mogelijk om de uitwisseling van water te vergroten via de Katse Heule/Zandkreeksluis, waarbij deels gebruik kan worden gemaakt van de huidige infrastructuur, en dit is ook op korte termijn haalbaar. Verder zijn er maatregelen om de nutriëntenvrachten vanuit polders te verminderen. Ten slotte zijn er infrastructuurmaatregelen mogelijk om de doorstroming te verbeteren, zoals het creëren van een doorlaatmiddel in de Veerse Gatdam, maar deze maatregelen kunnen pas op lange termijn worden uitgevoerd.

Hoewel deze vier categorieën van maatregelen zijn overwogen bij de uitwerking van de adaptatiepaden, is er nog geen onderzoek gedaan naar mogelijke combinaties van deze maatregelen. Het onderzoeken van de synergie en effectiviteit van verschillende combinaties van maatregelen kan een waardevolle stap zijn bij het ontwikkelen van een integrale adaptatiestrategie voor het Veerse Meer, gericht op het bereiken van een duurzame waterkwaliteit en ecologisch evenwicht op zowel korte als lange termijn.

11 Aanbevelingen

Op dit moment zijn er nog kennisleemtes als het gaat om de causale verbanden en de achterliggende oorzaken van de zuurstofproblematiek in het Veerse Meer. De effecten van de zuurstofproblematiek op het ecologisch functioneren van het meer kennen ook nog de nodige vragen. Het is daarom van belang om de komende tijd te gebruiken om de kennis te verdiepen en tot een beter begrip te komen. Een aantal zaken heeft prioriteit:

- Meer kennis over het belang van primaire productie in het meer en het belang van import van organisch materiaal via Oosterschelde of polderwaterafvoeren is nodig om beter te kunnen inschatten wat het effect van maatregelen is op de aanvoer van organisch materiaal naar de bodem en de gevolgen voor de zuurstofvraag van de bodem. Monitoring van organisch stofconcentraties in polderwater en Oosterschelde en kwantificering van de vrachten is daarvoor nodig.
- Het is nu nog onduidelijk hoe groot het risico is van het vrijkomen van waterstofsulfide uit het sediment. Er zijn nu incidentele waarnemingen geweest van waterstofsulfide in de waterkolom. Het meten van H_2S concentraties tijdens de al lopende TSO metingen kan, zonder veel extra meetinspanning, informatie opleveren.
- Een beter inzicht in de zuurstofcondities in de ondiepere delen van het Veerse Meer waar het grootste deel van de bodemdiergemeenschap voorkomt is nodig. Aanvullende metingen kunnen meer informatie geven over de representativiteit van de TSO metingen voor deze delen van het Veerse Meer.
- De bodemdiergemeenschap heeft een belangrijke ecologische rol, bijvoorbeeld als consument van fytoplankton en als voedselbron voor vogels en vissen. Een goed begrip van de factoren die de veranderingen in de bodemdiergemeenschap veroorzaken ontbreekt nu nog, maar is nodig om de effectiviteit van maatregelen te kunnen beoordelen. Een diepgaande statistische analyse van de beschikbare bodemdierengegevens in combinatie met gegevens die de omgevingsfactoren beschrijven, is daarom aanbevolen.
- Uit modelresultaten en uit schattingen van de potentiële filtratie door schelpdieren komen aanwijzingen dat graas door bodemdieren een belangrijke factor kan zijn voor de ontwikkeling van fytoplankton. Meer inzicht in de samenstelling en activiteit van filtrerende bodemdieren (en zoöplankton) is nuttig voor een beter begrip van fytoplanktonontwikkeling, sedimentatie van organisch materiaal en nutriëntenkringloop.
- Voor wieren en kwallen, die overlast veroorzaken voor recreanten, is nog onduidelijk wat de omvang van de populaties bepaalt en daarmee is ook onduidelijk welke maatregelen mogelijk zijn. Gestandaardiseerde en regelmatige monitoring en analyse van de beschikbare gegevens is nodig voor vergroting van de kennis.
- Voor veel van de vogelsoorten waarvoor instandhoudingsdoelen zijn geformuleerd, zijn maatregelen gericht op waterkwaliteit waarschijnlijk nauwelijks effectief. Een preciezere definitie van oorzaak-gevolg relaties per soort is nodig om de effectiviteit van maatregelen te kunnen inschatten.
- De huidige vastgestelde beheerdoelen voor het Veerse Meer (KRW, Natura2000, peilbesluit) bieden onvoldoende aanknopingspunten en moeten op de lange termijn aangepast worden vanwege de effecten van zeespiegelstijging. Verdere uitwerking van doelen en indicatoren is nodig om meer concreet vast te kunnen stellen wat het resultaat van maatregelen moet zijn.

12 Referenties

- 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 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, rapport RIKZ/2007.008, 86 pp.
- Diaz, R.J. & R. Rosenberg (2008). Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321: 926-929.
- 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.
- Groenenboom, J., L. van der Heijden, A.A. Markus & S.C. Laan (2021). Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Grevelingen; Modelbouw, kalibratie en validatie. Delft, Deltares, rapport 11205259-006-ZKS-0007.
- Haasnoot, M., J.H. Kwakkel, W.E. Walker & J. ter Maat (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change* 23: 485-498.
- Haasnoot, M., A. Warren & J.H. Kwakkel (2019). Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP). In: *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. V.A.W.J. Marchau, W.E. Walker, P.J.T.M. Bloemen & S.W. Popper (eds.). Cham, Springer International Publishing 71-92.
- Heidinga, D., A.C.P. Brekelmans, B. Schilt, F. Versloot & M. Marijt (in prep.). Ecologische evaluatie Natura 2000 beheerplannen. Deventer, Witteveen+Bos, 17 mei 2023.
- Holland, A.M.B.M., C.M. Berrevoets, J. Consemulder, L. Peperzak, E.C. Stikvoort, F. Twisk, L.P.M.J. Wetsteyn, K. Wolfstein, C. van der Male, J.P.F. Pieters, A.M. van der Pluym, P. Lievense & I. Schep (2004). Veerse Meer aan de Oosterschelde : toestand ecosysteem Veerse Meer vóór ingebruikname doorlaatmiddel. Middelburg, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee en Directie Zeeland, rapport RIKZ/2004.007, 72 pp.
- Houtekamer, N. & O. van Kleef (2021). Verslag kennissessie ontwikkeling waterkwaliteit en ecologie Veerse Meer Houtekamer & Van Kleef, 13 oktober 2020 9 pp.
- IenW (2022). Stroomgebiedbeheerplannen Rijn, Maas, Schelde en Eems 2022 – 2027. Den Haag, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, maart 2022.
- Jansen, H., P. Kamermans, S. Glorius & M. van Asch (2019). Draagkracht van de Oosterschelde en westelijke Waddenzee voor schelpdieren. Yerseke, Wageningen Marine Research, Rapport C096/19, 46 pp.
- Jørgensen, B.B., F. Wenzhöfer, M. Egger & R.N. Glud (2022). Sediment oxygen consumption: Role in the global marine carbon cycle. *Earth-Science Reviews* 228: 103987.
- KNMI (2023). KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland. De Bilt, KNMI, KNMI-Publicatie 23-03.
- Kwadijk, J.C., M. Haasnoot, J.P. Mulder, M.M. Hoogvliet, A.B. Jeuken, R.A. van der Krogt, N.G. van Oostrom, H.A. Schelfhout, E.H. van Velzen & H. van Waveren (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1: 729-740.
- Loebl, M., F. Colijn, J.E.E. van Beusekom, J.G. Baretta-Bekker, C. Lancelot, C.J.M. Philippart, V. Rousseau & K.H. Wiltshire (2009). Recent patterns in potential phytoplankton limitation along the Northwest European continental coast. *Journal of Sea Research* 61: 34-43.

- Maarse, M., F. Kleissen & A. Nolte (2021). Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Veerse Meer. Deltares, rapport 1206201-001-ZKS-0005, 80 pp.
- Nolte, A., L. Buckman & M. Maarse (2021). Advies voor indicatoren ter beoordeling van de toekomstige ecologische waterkwaliteit van de Grevelingen. Delft, Deltares, rapport 11206580-003-ZKS-0007, 65 pp.
- Prins, T., A. Nolte, L. Buckman & W. Stolte (2023). Systeemanalyse Veerse Meer. Delft, Deltares, rapport 11208079-000-ZKS-0009, 53 pp.
- Prins, T.C. & S.A. Vergouwen (eds.) (2015). *Bekkenrapport Veerse Meer 2000-2014*. Delft, Deltares, rapport 1220248-000-ZKS-0010 134 pp.
- Provincie Zeeland (2021). Gebiedsvisie Veerse Meer 2020-2030. Middelburg, Provincie Zeeland, Versie 21 juli 2021.
- RWS (2023). "KRW Factsheets Rijkswaterstaat ". Datum: 2023-09-20, van https://waterkwaliteitsportaal.overheidsbestanden.nl/factsheets/Factsheets%202023/Oppervlaktewater/factsheet_OW_80_Ministerie_van_Infrastructuur_en_Waterstaat_Rijkswaterstaat_2023-09-20.pdf.
- 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.
- 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.
- Smaal, A.C. & J.W.M. Wijsman (2015). Minimum zuurstofgehalte voor bodemdieren in het Grevelingenmeer. Yerseke, IMARES, rapport C022/15.
- Stolte, W., F. Baart, S. Muis, M. Hijma, M. Taal, D. Le Bars and S. Drijfhout (2023). Zeespiegelmonitor 2022. Delft, Deltares, Rapport nr 11209266-000-ZKS-0001, 151 pp.
- Stronkhorst, J., W. Stolte & A. Nolte (2021). Import van organisch koolstof in het Grevelingenmeer vanuit de Voordelta. Delft, Deltares, rapport 11203741-000-ZKS-0023, 39 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 der Heijden, L. (2021). Water- en stoffenbalans Veerse Meer 2011-2020. Delft, Deltares, rapport 11206834-000-ZKS-0014, 70 pp.
- van der Heijden, L., A.A. Markus & S. Laan (2021). Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Grevelingen; Modelbouw, kalibratie en validatie. Delft, Deltares, rapport 11205259-006-ZKS-0007.
- van der Jagt, H., P. Neijenhuis, P.B. Broeckx, M. Japink & D.B. Kruijt (2021a). Kruiskwallenmonitoring Veerse Meer 2021. Bureau Waardenburg, rapport 21-265. Culemborg, Bureau Waardenburg, rapport 21-265, 24 pp.
- van der Jagt, H.A., P. Neijenhuis, P.B. Broeckx, P.J. de Gier & D.B. Kruijt (2021b). Ecologische monitoring Veerse Meer – Wieren en bodemgesteldheid. Culemborg, Bureau Waardenburg, Rapport nr.21-266, 34 pp.
- van der Jagt, H.A., B. Achterkamp, M. Japink & D.B. Kruijt (2022a). Macrozoöbenthos in het Veerse Meer 2021. Culemborg, Bureau Waardenburg, rapport 22-316.

- van der Jagt, H.A., P.B. Broeckx, P. Neijenhuis, D.S. Spruijt & D.B. Kruijt (2022b). Zuurstofvraag van Japans bessenwier in het Veerse Meer. Culemborg, Bureau Waardenburg, rapport 22-0310, 16 pp.
- van der Molen, D.T., R. Pot, C.H.M. Evers, F.C.J. van Erpen & L.L.J. van Nieuwerburgh, Eds. (2018). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027*. Amersfoort, STOWA, 489 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 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 Son, L. & E. Verduin (2021). MWTL Macrozoöbenthos Veerse meer. Jaarrapportage 2020. Amsterdam, Eurofins AquaSense, 38 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.
- Vaquer-Sunyer, R. & C.M. Duarte (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 15452-15457.
- Vaquer-Sunyer, R. & C.M. Duarte (2011). Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms. *Global Change Biology* 17: 1788-1797.
- Verduin, E.C., H. Boonstra & L. Leewis (2016). Macrozoobenthosonderzoek in de zoute Rijkswateren, jaarrapportage MWTL 2014 : waterlichamen: Delta (Oosterschelde, Westerschelde). Eurofins AquaSense , Koeman en Bijkerk, 13 april 2016, 81 pp.
- Wolfstein, K. (2004). De ontwikkeling van zeesla en zeegras in het Veerse Meer. Middelburg, RIKZ, Werkdocument RIKZ/OS/2004.824x, 8 pp.
- Wolters, H., G. van den Born, E. Dammers & S. Reinhard (2018). Hoofdrapport: Deltascenario's voor de 21e eeuw. Utrecht, Deltares, 70 pp.

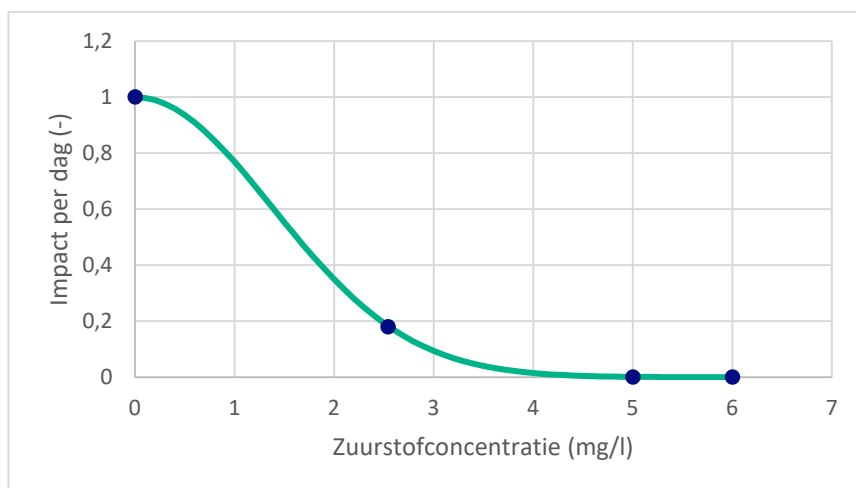
A Berekening zuurstofindex-score

In onderzoek in de Grevelingen werd voorheen de zuurstofhuishouding benaderd m.b.v. het zuurstofloos areaal. Dit areaal werd bepaald aan de hand van een aantal grenswaardes: een bodemlaag die minimaal 7 dagen een zuurstofconcentratie lager dan 3 mg/l had werd hierin meegenomen. Het nadeel van deze indicator is dat het harde grenswaardes heeft die zeer gevoelig zijn voor kleine veranderingen in zuurstofconcentraties (Groenenboom *et al.* 2021). De zuurstofindex-score heeft een “zachtere” benadering waarin variatie in zuurstofconcentraties en in duur van zuurstofarme condities worden meegenomen. Het voordeel van deze indexscore, t.o.v. bijvoorbeeld het zuurstofloos areaal, is dat het breder wordt getrokken doordat het ook de gebieden meeneemt die niet 7 dagen aaneengesloten een zuurstofwaarde van onder de 3 mg/l hebben. Een versterkt negatief effect van langdurig zuurstofarme condities wordt in deze index net meegenomen.

De berekening van de zuurstofindex zoals voorgesteld in van der Heijden *et al.* (2021), is als online post-processing aan het 3D model is toegevoegd. Dat wil zeggen dat op iedere rekentijdstap van 5 minuten de zuurstofindex van iedere rekencel in de onderste waterlaag wordt berekend. De berekening wordt als volgt uitgevoerd:

- Per rekentijdstap wordt een impact tussen 0 en 1 bepaald volgens onderstaande curve. De curve is een Gauss-functie gefit naar drie punten:
- Boven 5 mg/l wordt geen impact (impactscore = 0) verwacht.
- Bij zuurstofloosheid 0 mg/l wordt een maximale impact, sterfte van bodemdieren, verwacht (impactscore = 1)
- Smaal & Wijsman (2015) geven aan als grenswaarde een zuurstofconcentratie van 2,54 mg/l gedurende 5,5 dag aaneengesloten (impactscore $1/5,5 = 0,18$) (Figuur bijlage A-1).

De cumulatieve impactscore over een jaar is de opstelsom van alle impactscores gedeeld door het aantal tijdstappen. Hierdoor resulteert een fractie (0-1) of een percentage (0-100%). Hoe lager de impactscore, des te beter is de zuurstofbeschikbaarheid. Voor deze indexscore is geen normwaarde vastgesteld. Een vergelijking tussen scenario's is dus uitsluitend relatief.

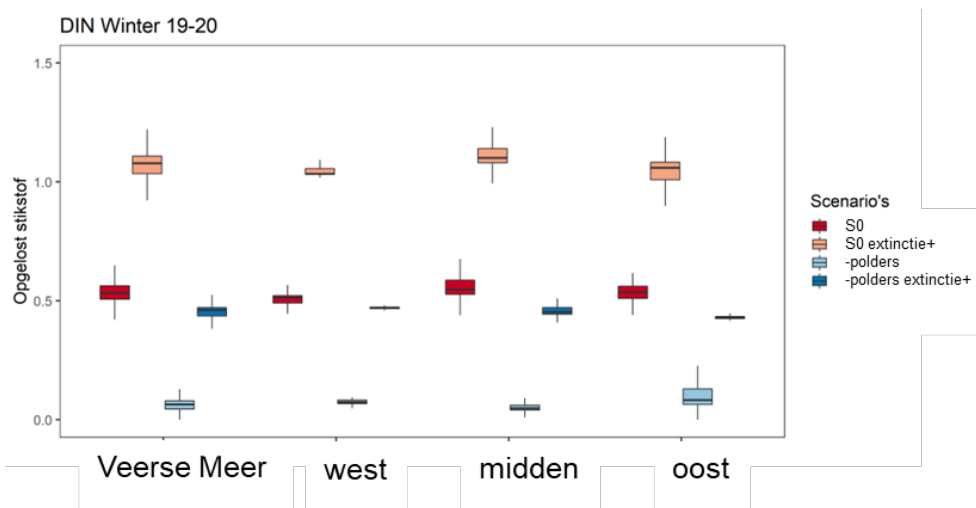


Figuur bijlage A-1. Impact per dag tegenover de zuurstofconcentratie.

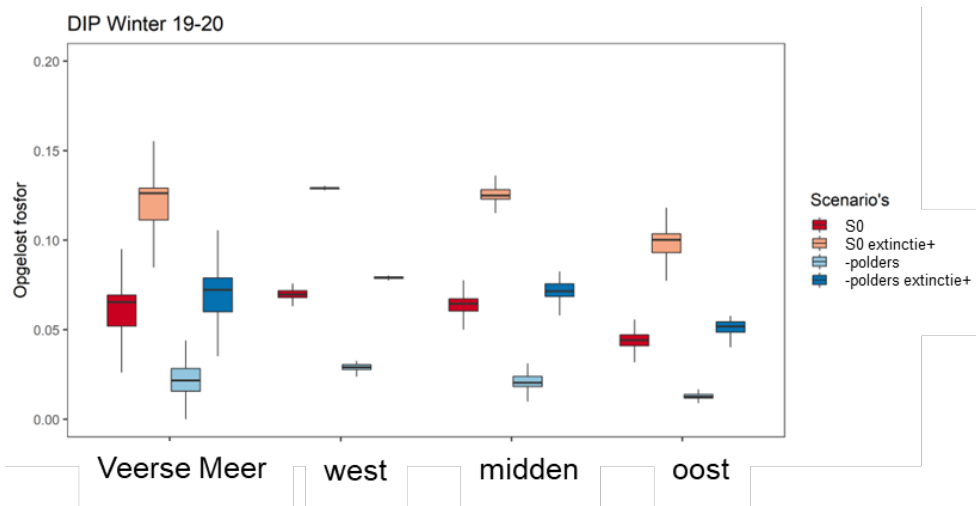
B Gevoeligheidsanalyse model

Voor twee scenario's ("S0" en "-polders") is aanvullend onderzoek gedaan naar de effecten van een verhoogde (achtergrond-)lichtextinctie in de winterperiode.

De effecten van een verhoogde lichtextinctie in de winterperiode zijn zichtbaar in de concentraties van opgeloste anorganische nutriënten (stikstof, fosfaat). Boxplots, die een overzicht geven van de ruimtelijke verdeling van wintergemiddelde concentraties, laten een verhoging zien bij zowel scenario "S0 extinctie+" als "-polders extinctie+". Voor beide nutriëntenconcentraties is de verdeling redelijk gelijk over het hele meer (Figuur bijlage B-1, Figuur bijlage B-2).



Figuur bijlage B-1 Wintergemiddelde (dec 2019 t/m feb 2020) opgelost anorganisch stikstof concentratie (in mg/l) aan het wateroppervlakte voor de 4 scenario's. De 4 scenario's representeren scenario "S0" en "-polders" zonder en met (extinctie+) verhoogde achtergrond lichtextinctie in de winter. Voor uitleg van de boxplots zie Figuur 5-2.

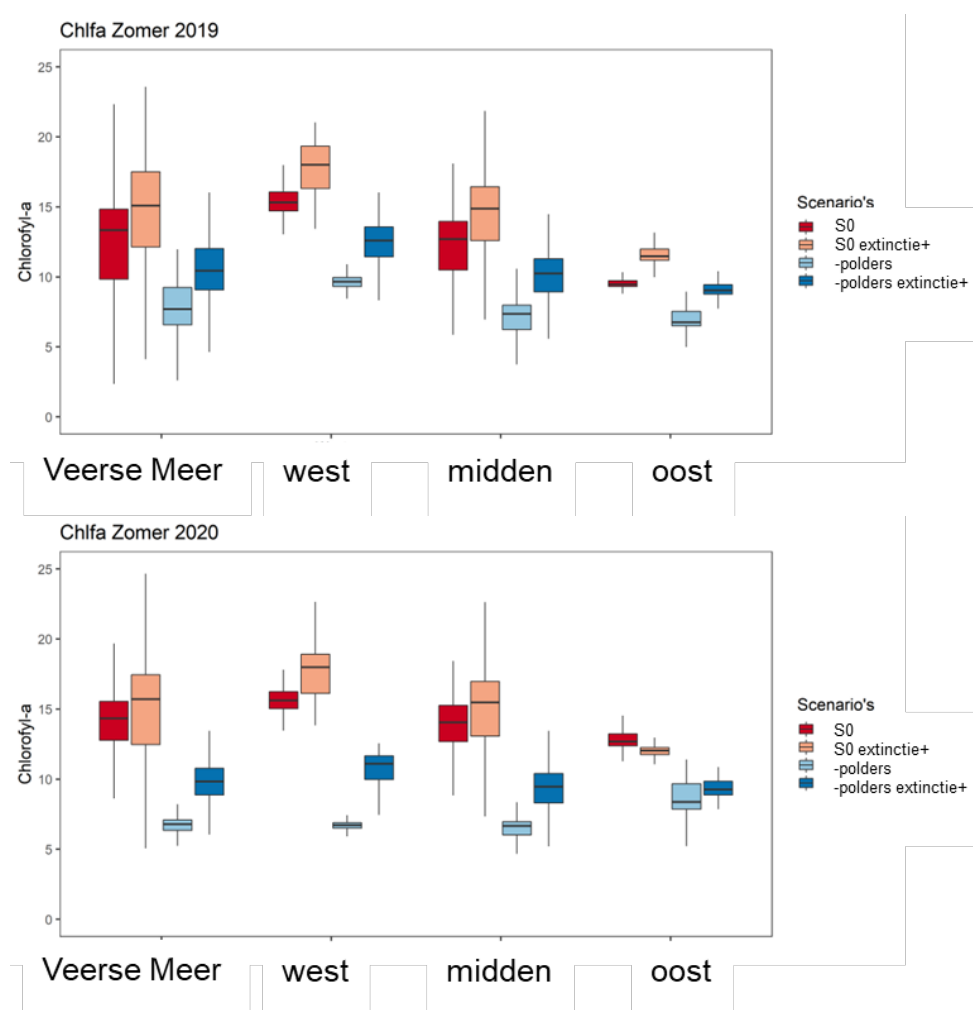


Figuur bijlage B-2 Wintergemiddelde (dec 2019 t/m feb 2020) opgelost anorganisch fosfor concentratie (in mg/l) aan het wateroppervlakte voor de 4 scenario's in het Veerse Meer. De 4 scenario's representeren scenario "S0" en "-polders" zonder en met (extinctie+) verhoogde achtergrond lichtextinctie in de winter. Voor uitleg van de boxplots zie Figuur 5-2.

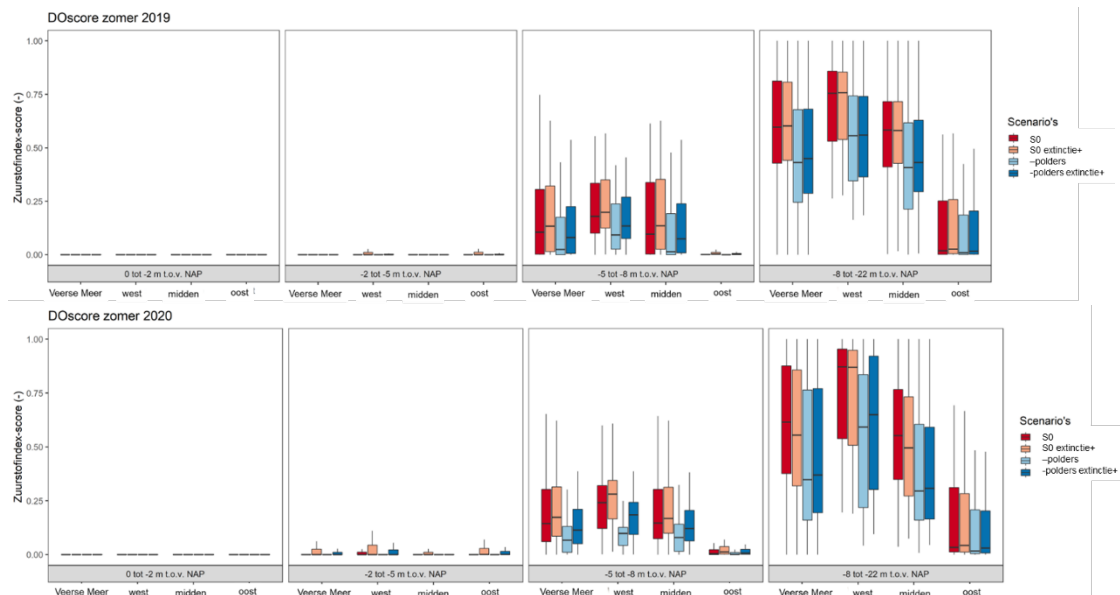
Verhoogde lichtextinctie in de winter resulteert in lagere chlorofyl-a concentraties in de winter periode (december t/m februari) als gevolg van licht-limitatie. Door de lagere opname van nutriënten door fytoplankton zijn de winterconcentraties van nutriënten dan hoger. De hogere extinctie leidt tot een latere en meer uitgesproken voorjaarspiek en hogere gemiddelde concentraties van chlorofyl-a in het groeiseizoen (Figuur bijlage B-3).

De zuurstofhuishouding van het Veerse Meer toont verwaarloosbare verschillen bij een verhoging van de lichtextinctie in de winter. Een zeer geringe verhoging van de zuurstofindex-score (dus verslechtering van zuurstofhuishouding) treedt op bij verhoging van de lichtextinctie in de winter (Figuur bijlage B-4) in het westelijk en middendeel van het Veerse Meer in de waterlaag dieper dan NAP-5 m.

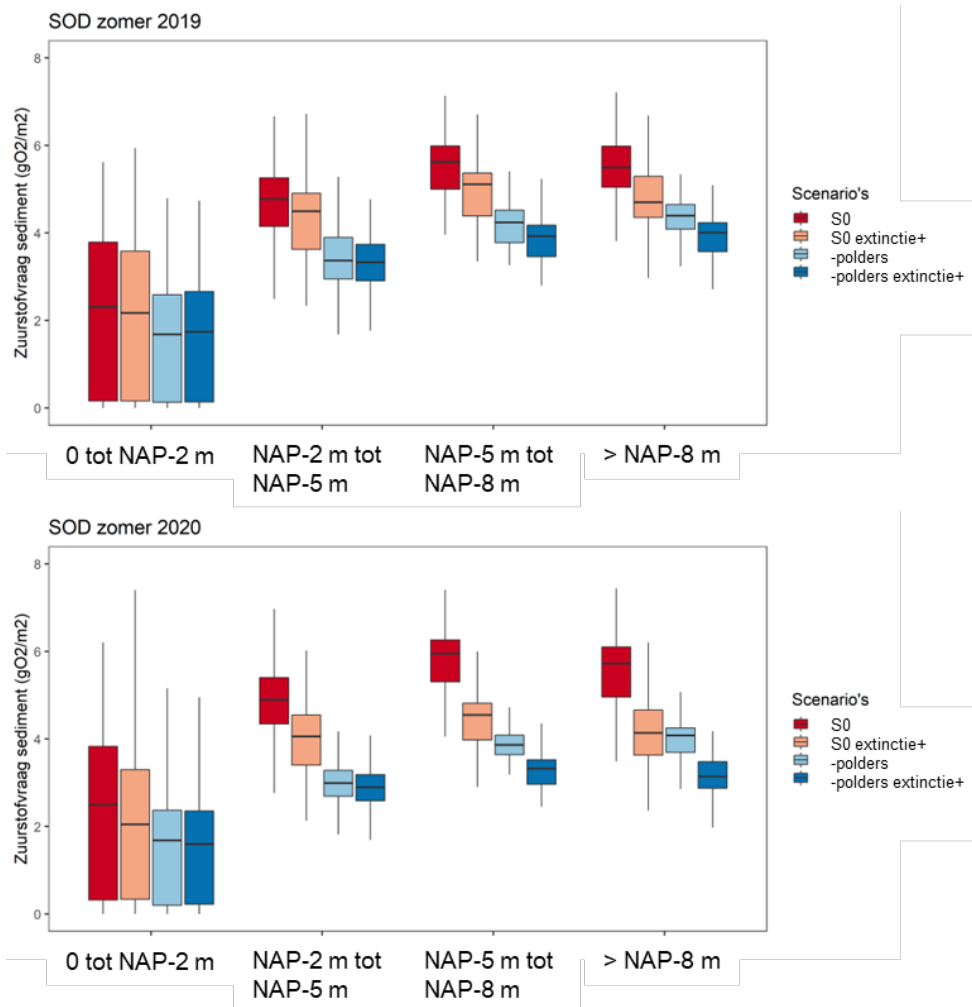
Een verhoogde lichtextinctie in de winter resulteert in een verlaging in de zuurstofvraag van het sediment (Figuur bijlage B-5), een trend die zichtbaar is voor het hele meer en de verschillende deelgebieden. Lagere primaire productie en fytoplanktonbiomassa (chlorofyl-a) bij hogere extinctie is de verklaring voor de lagere zuurstofvraag door de bodem.



Figuur bijlage B-3 Zomergemiddelde chlorofyl-a concentratie voor 2019 (boven) en 2020 (onder) aan het wateroppervlakte voor de 4 verschillende scenario's in het Veerse Meer. De 4 scenario's representeren scenario "S0" en "-polders" zonder en met (extinctie+) verhoogde achtergrond lichtextinctie in de winter. Voor uitleg van de boxplots zie Figuur 5-2.



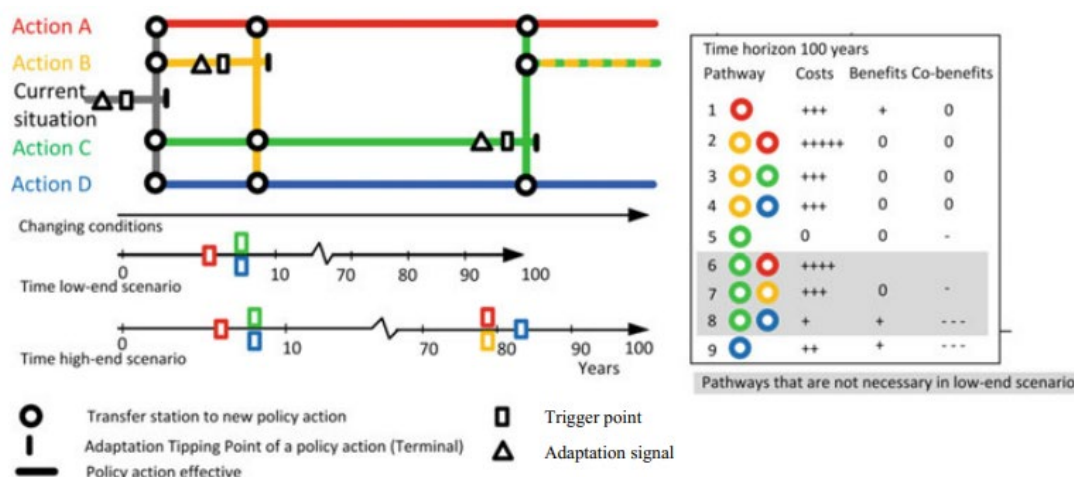
Figuur bijlage B-4. Zomergemiddelde zuurstofindex-score voor 2019 (boven) en 2020 (onder) aan het wateroppervlakte voor 4 verschillende scenario's, bodemdiepte-klassen en gebieds-klassen in het Veerse Meer. De 4 scenario's representeren scenario "S0" en "-polders" zonder en met (extinctie+) verhoogde achtergrond lichtextinctie in de winter. Voor uitleg van de boxplots zie Figuur 5-2.



Figuur bijlage B-5. Zomergemiddelde zuurstofvraag van de bodem in 2019 (boven) en 2020 (onder) voor 4 verschillende scenario's en bodemdiepte-klassen in het Veerse Meer. De 4 scenario's representeren scenario "S0" en "-polders" zonder en met (extinctie+) verhoogde achtergrond lichtextinctie in de winter. Voor uitleg van de boxplots zie Figuur 5-2.

C Achtergrondinformatie methode dynamische adaptatiepaden

Dynamische adaptatiepaden (DAP) is een besluitvormingsraamwerk onder diepe onzekerheid dat expliciet rekening houdt met tijdsdynamiek en onzekerheden. Het kernprincipe draait om proactieve en dynamische planning, die ervoor zorgt dat er kan worden ingespeeld op toekomstige omstandigheden. Door adaptatiepaden⁵ voor verschillende toekomstscenario's te onderzoeken, onthult DAP de intrinsieke padafhankelijkheid van alternatieve strategieën, waardoor beleidsverlamming onder grote onzekerheid wordt overwonnen. De aanpak erkent de onzekere levensduur van beleidsacties en hun potentiële effectiviteit die afneemt bij veranderende bedrijfsomstandigheden en vergemakkelijkt de identificatie van omslagpunten voor adaptatie (ATP's)⁶ en omslagpunten voor kansen (Haasnoot *et al.* 2019). Visualisatie van meerdere paden maakt vaak gebruik van metrokaarten of beslisbomen, met tijd of veranderende omstandigheden langs één as (Figuur bijlage C-1).



Figuur bijlage C-1 Een padenkaart en een scorekaart met de kosten en baten van de trajecten op de kaart

DAP helpt bij het ontwerpen van uitgebreide dynamische adaptatiestrategieën, waarbij initiële acties, langetermijnopties en adaptatiesignalen worden geïntegreerd, zodat geïnformeerde beslissingen kunnen worden genomen over wanneer langetermijnopties moeten worden geïmplementeerd of keuzes moeten worden heroverwogen op basis van de heersende omstandigheden.

Binnen de DAP-aanpak (Haasnoot *et al.* 2013) wordt een plan geconceptualiseerd als een reeks van acties in de tijd (paden), inclusief initiële acties en opties voor de lange termijn. De essentie is de proactieve planning voor flexibele aanpassing in de tijd, in reactie op hoe de toekomst zich daadwerkelijk ontvouwt. De aanpak gaat ervan uit dat beleid/besluiten een

⁵ Een reeks adaptatiekeuzes waarbij afwegingen worden gemaakt tussen doelstellingen en waarden op korte en lange termijn. Dit zijn processen om oplossingen te vinden die zinvol zijn voor mensen in de context van hun dagelijks leven en om potentiële maladaptatie te voorkomen. (IPCC, 2022, blz. 2917).

⁶ Een Adaptatie Tipping Point (ATP) is het moment waarop de omvang van de verandering zodanig is dat een huidige beheersstrategie haar doel niet langer kan bereiken. Hierdoor is adaptief beheer nodig om deze ATP te voorkomen of uit te stellen." (Nanda *et al.*, 2018).

ontwerplevensduur hebben en kunnen falen wanneer de bedrijfsomstandigheden veranderen (Kwadijk *et al.* 2010). Zodra acties mislukken, zijn aanvullende of andere acties nodig om ervoor te zorgen dat de oorspronkelijke doelstellingen alsnog worden bereikt, en ontstaan een reeks potentiële trajecten. Afhankelijk van hoe de toekomst zich ontvouwt, kan de koers worden gewijzigd wanneer vooraf bepaalde omstandigheden zich voordoen, om ervoor te zorgen dat de doelstellingen alsnog worden bereikt.

De voorkeur voor bepaalde trajecten boven andere is actorgebonden en zal afhangen van de afwegingen, zoals de kosten (inclusief negatieve externaliteiten) en baten van de verschillende trajecten. Op basis van een evaluatie van de verschillende mogelijke trajecten wordt een aanpassingsplan worden opgesteld dat initiële acties en langetermijnopties omvat. Het plan wordt gecontroleerd op signalen die aangeven wanneer de volgende stap van een traject moet worden moet worden uitgevoerd, of dat een algemene revaluatie van het plan nodig is.

In het kort omvat DAP de integratie van voorbijgaande scenario's die een breed scala aan relevante onzekerheden en hun evolutie in de tijd omvatten, maatregelen die kansen benutten en kwetsbaarheden beperken, geïmplementeerd in een efficiënte volgorde (route) en een systeem voor monitoring en onvoorziene gebeurtenissen om de doelstellingen op het juiste spoor te houden. De afzonderlijke stappen binnen deze aanpak worden weergegeven in Figuur bijlage C-2.



Figuur bijlage C-2 DAP aanpak (Haasnoot *et al.* 2013) .

De eerste stap bestaat uit het geven van een overzicht van het studiegebied, met daarin de kenmerken van het systeem, de doelstellingen, bestaande beperkingen en mogelijke toekomstige beperkingen. Dit leidt tot het definiëren van wat succes betekent, waarbij de gewenste resultaten worden gespecificeerd met behulp van indicatoren en doelen. Deze criteria worden vervolgens in de volgende fasen gebruikt om de effectiviteit van acties en trajecten te evalueren en om te bepalen binnen welk tijdsbestek deze acties moeten worden uitgevoerd. Bovendien omvat de beschrijving van het studiegebied het identificeren van belangrijke onzekerheden die het besluitvormingsproces beïnvloeden. Deze onzekerheden zijn niet alleen beperkt tot toekomst gerelateerde onzekerheden, maar kunnen ook betrekking hebben op de kwaliteit van gegevens of de nauwkeurigheid van modellen.

De tweede stap omvat de probleemanalyse, waarbij de huidige en potentiële toekomstige situaties worden beoordeeld in vergelijking met de gespecificeerde doelstellingen om eventuele discrepanties op te sporen. Dit zijn transiënte scenario's⁷. Elke discrepantie tussen de uitgangssituatie en de doelstellingen geeft aan dat er actie moet worden ondernomen. Deze analyse moet rekening houden met zowel kansen, die helpen bij het bereiken van de doelstellingen, als kwetsbaarheden, die het bereiken ervan kunnen belemmeren.

De derde stap gaat over het identificeren van potentiële acties (maatregelen) die aansluiten bij de succescriteria. Deze acties worden bepaald op basis van de eerder geïdentificeerde kansen en kwetsbaarheden. Het primaire doel van deze stap is om een gevarieerde en uitgebreide reeks van mogelijke acties samen te stellen, die vervolgens vergeleken en beoordeeld kunnen worden op basis van hun effectiviteit in het bereiken van de doelstellingen en hun prestaties in verschillende scenario's.

De vierde stap is de evaluatie van de acties. De impact van elke actie op de resultaatindicatoren wordt beoordeeld voor alle scenario's en gepresenteerd via scorekaarten. Deze resultaten helpen bij het bepalen van de optimale timing (omslagpunt) voor elke actie. Daarnaast wordt een herevaluatie van kwetsbaarheden en kansen uitgevoerd. Hierbij wordt beoordeeld of een actie een bepaalde kwetsbaarheid met succes heeft verminderd of geëlimineerd en of er gebruik is gemaakt van een aangewezen kans. Bovendien wordt er gekeken naar de mogelijke creatie van nieuwe kansen en/of kwetsbaarheden als gevolg van de actie. Ineffectieve acties worden eruit gefilterd, zodat alleen de veelbelovende acties overblijven voor volgende stappen, die als fundamentele componenten dienen voor de formulering van adaptatiepaden.

De vijfde stap bestaat uit het construeren van paden op basis van de informatie uit de voorgaande stappen. Een pad is opgebouwd uit een opeenvolging van maatregelen, waarbij elke nieuwe maatregel wordt geactiveerd zodra zijn voorganger niet meer aan de succescriteria kan voldoen. Er kunnen verschillende benaderingen worden gebruikt om paden samen te stellen. Eén benadering bestaat uit het verkennen van alle potentiële routes met alle beschikbare acties en vervolgens het evalueren van de prestaties van elke route. Sommige acties kunnen echter andere acties uitsluiten, en bepaalde opeenvolgingen van acties kunnen onlogisch blijken. Daarom worden gewoonlijk essentiële criteria, zoals de urgentie van de actie, de ernst van de impact, onzekerheid en de wens om flexibiliteit te behouden, gebruikt om een reeks veelbelovende routes te ontwikkelen. Het resultaat is een adaptatiekaart die alle samenhangende potentiële paden omvat die leiden tot het bereiken van 'succes' zoals gedefinieerd in stap 1. Het is belangrijk om te benadrukken dat acties niet beperkt hoeven te blijven tot individuele acties, maar ook actieportefeuilles kunnen vormen die na stap 3 tot en met 5 worden samengesteld.

De zesde stap vereist het selecteren van een beperkte reeks voorkeurspaden. Deze voorkeurspaden sluiten goed aan bij specifieke perspectieven en het is raadzaam om twee tot vier paden te schetsen die verschillende standpunten vertegenwoordigen. Deze aanpak identificeert niet alleen fysiek robuuste routes, maar creëert ook het fundamentele kader voor een dynamisch adaptief plan.

De zevende stap is het verbeteren van de robuustheid van voorkeurstrajecten door te plannen voor onvoorziene omstandigheden. Dit omvat het definiëren van maatregelen die het

⁷ Een scenario is een plausibele beschrijving van hoe de toekomst zich kan ontwikkelen op basis van een samenhangende en intern consistente reeks veronderstellingen over belangrijke drijvende krachten (bv. snelheid van technologische verandering, prijzen) en relaties. Scenario's zijn geen voorspellingen of prognoses, maar worden gebruikt om een beeld te geven van de gevolgen van ontwikkelingen en maatregelen. (IPCC, 2021). Bovendien, een transiënt scenario, representeert een verscheidenheid aan relevante onzekerheden en hun ontwikkeling in de tijd (Haasnoot et al., 2013, p. 489).

succes van elke pad ondersteunen en behouden, het voorbereiden op mogelijke variaties in de toekomst en het implementeren van corrigerende maatregelen indien nodig. Er worden drie soorten noodmaatregelen gebruikt: corrigerende, defensieve en kapitaliserende maatregelen, die worden gestuurd door een monitoringsysteem en triggerwaarden. De achtste stap houdt in dat de resultaten van alle voorgaande stappen worden gepresenteerd in een dynamisch adaptief plan. Dit plan gaat in op de vraag welke acties/beslissingen onmiddellijk genomen moeten worden, welke uitgesteld moeten worden en hoe de voorkeursroutes zo lang mogelijk open gehouden kunnen worden. Zodra de eerste acties geïmplementeerd zijn, wordt het monitoringsysteem opgestart en worden acties aangepast of geactiveerd op basis van triggerinformatie.

D Indicatoren

Tabel bijlage D-1 Signaalparameters voor het volgen van de ontwikkeling van water- en bodemkwaliteit in het Veerse Meer.

Id	Indicator	Beleidsfunctie	PAGW-indicator	Categorie	Thema	Waarom	Hoe	Waar en frequentie
I001	Ecotopen kwaliteit	Schoon en gezond	Leefgebieden	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Nader onderzoek	Nader onderzoek	Nader onderzoek
I002	Leefgebieden voor soorten	Schoon en gezond	Leefgebieden	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Nader onderzoek	Nader onderzoek	Nader onderzoek
I003	Vismigratie	Schoon en gezond	Verbindingen	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Nader onderzoek	Nader onderzoek	Nader onderzoek
I004	Zomer waterpeil NAP 0 m / NAP -0,1 m	Voldoende water	Natuurlijke fysische processen en dynamiek	(1) Zeespiegelstijging	(1) Waterveiligheid	Het peil dient binnen de afgesproken marges van het peilbesluit te blijven. Daarnaast zegt het opgetreden peil iets over het uitwisselingsrendement van de Katse Heule.	Jaarlijkse meetreeks meetlocatie VM04. Dit zijn daggemiddelde peilgemiddelden die in het waterbalansmodel opgenomen kunnen worden om de schutverliezen te berekenen.	Meetlocatie VM04 / Oranjeplaat
I005	Winter waterpeil NAP -0,3 m / NAP -0,4 m	Voldoende water	Natuurlijke fysische processen en dynamiek	(1) Zeespiegelstijging	(1) Waterveiligheid	Het peil dient binnen de afgesproken marges van het peilbesluit te blijven. Daarnaast zegt het opgetreden peil iets over het uitwisselingsrendement van de Katse Heule.	Jaarlijkse meetreeks meetlocatie VM04. Dit zijn daggemiddelde peilgemiddelden die in het waterbalansmodel opgenomen kunnen worden om de schutverliezen te berekenen.	Meetlocatie VM04 / Oranjeplaat

Id	Indicator	Beleidsfunctie	PAGW-indicator	Categorie	Thema	Waarom	Hoe	Waar en frequentie
I006	Waterbalansmodel	Voldoende water	Natuurlijke fysische processen en dynamiek	(1) Zeespiegelstijging	(1) Waterveiligheid	De jaarlijkse waterbalans is het cijfermatig inzicht in het functioneren van het watersysteem. Dit is de basis voor onderzoek, vroegtijdig signaleren van functioneren doorlaatmiddelen en functioneren van de asset watersysteem. De stap naar een stoffenbalans is dan relatief eenvoudig te zetten.	De afgelopen jaren is gestaag gewerkt aan een waterbalansmodel op jaarniveau. Dit model/format kan jaarlijks gevuld worden met debieten Katse Heule, KNMI-data, debieten poldergemalen en schutgegevens van de Zandkreeksluis en Sluis Veere.	Posten: Katse Heule, Schutsluis Veere, Zandkreeksluis, 11 gemalen, hemelwater, verdamping en afstroming oevers.
I007	Chloridegehalte ≥ 10 g/l	Schoon en gezond	Fysisch-chemische waterkwaliteit	(6) Landschap	(3) Niet Economische Functies	Voor een afgesloten zout watersysteem is een stabiel chloridegehalte van belang. Daartoe is het van belang om ten minste jaarlijks het chloridegehalte te volgen.	Jaarlijkse meetreeks meetlocatie VM04. Dit zijn daggemiddelde waarden.	Meetlocatie VM04 / Oranjeplaat
I008	Zuurstofverzadiging 60-120%	Schoon en gezond	Fysisch-chemische waterkwaliteit	(6) Landschap	(3) Niet Economische Functies	Een primaire factor in een kunstmatig/afgesloten systeem is de zuurstofhuishouding. Het gaat om de mogelijke duur, omvang en ernst van zuurstofloze omstandigheden en dan met name in de zomer. Het District is voornemens deze momenten vroegtijdig te signaleren, waardoor ingespeeld kan worden met protocollen en evt. Bijsturing waterbeheer.	Kwalitatief: - Opnames van de waterbodem om vroegtijdig het ontstaan van witte bacteriematten te signaleren. Kwantitatief: - Omvang: TSO: 17 locaties zuurstof, temperatuur en chloride - Aard/duur/(on)diep: drie meerboeien west, midden en oost	Kwalitatief: - Opnames waterbodem: 1x/3 jaar, locaties op basis van uitvoering Waardenburg 2021. Kwantitatief: - TSO: 1x/2weken/1x4 weken laagseizoen. - Meerboeien: 1x/10 minuten op nog drie vast te stellen locaties.
I009	Nutriënt (Stikstof concentratie)	Schoon en gezond	Fysisch-chemische waterkwaliteit	(6) Landschap	(3) Niet Economische Functies	De nutriëntenconcentraties in het watersysteem zeggen mogelijk iets over de ontwikkeling van eutrofiering / algenbloei.	Jaarlijks overzicht van de meetgegevens meetlocatie Soelekerkepolder Oost	1x/2 weken

Id	Indicator	Beleidsfunctie	PAGW-indicator	Categorie	Thema	Waarom	Hoe	Waar en frequentie
I010	Doorzicht Secchi diepte $\geq 0,9\text{m}$	Schoon en gezond	Fysisch-chemische waterkwaliteit	(6) Landschap	(3) Niet Economische Functies	Het doorzicht is een indicator voor het functioneren van het watersysteem en zegt daarmee iets over hoeveelheid zwevende deeltjes in de waterkolom, zoals algen en aanvoer van (sedimentrijk) water.	Jaarlijks overzicht van de meetgegevens meetlocatie Soelekerkepolder Oost.	1x/2 weken
I011	Bodemdieren kwantiteit	Schoon en gezond	Biodiversiteit	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Ontwikkeling dichtheid en biomassa bodemdieren als indicator voor ecologisch functioneren watersysteem.	Huidig MWTL-monitoringsprogramma	1x/jaar
I012	Fytoplankton kwantiteit	Schoon en gezond	Biodiversiteit	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Fytoplankton is een belangrijke voedselbron voor dieren en vormt de basis van de voedselketen voor al het leven in de wateren.	Jaarlijks overzicht/ontwikkeling op basis van de bestaande MWTL-monitoring.	Frequentie: 1x/2weken Meetlocatie Soelekerkepolder Oost
I013	Wieren kwantiteit	Schoon en gezond	Biodiversiteit	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Ontwikkeling soortensamenstelling en bedekkingsgraad wieren. Wieren zijn een indicator voor het functioneren watersysteem. Daarbij zijn de wieren een continu fenomeen in het dagelijks beheer en zijn de monitoringsresultaten feitelijke informatie voor gesprekken met stakeholders.	Volgens de methode Avesaath/Waardenburg, zodat de resultaten te vergelijken zijn met eerdere meetjaren.	1x/3jaar
I014	Vissen kwantiteit	Schoon en gezond	Biodiversiteit	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Ontwikkeling biomassa/dichtheid vis.	Huidig MWTL-monitoringsprogramma	1x/jaar volgens het MWTL-monitoringsprogramma
I015	Primaire productie in de zomer is hoog	Schoon en gezond	Functioneren voedselweb	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	NOVP verantwoordelijk	NOVP verantwoordelijk	NOVP verantwoordelijk

Id	Indicator	Beleidsfunctie	PAGW-indicator	Categorie	Thema	Waarom	Hoe	Waar en frequentie
I016	Exoten/kruiskwallen kwantiteit	Schoon en gezond	Functioneren voedselweb	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies	Afspraak met omgeving in het kader van de zwemveiligheid en volksgezondheid	Volgens de methode Avesaath/Waardenburg, zodat de resultaten consistent gerapporteerd worden en eventueel vergeleken kunnen worden	1x/jaar
I017	Mesotroof, zonder eutrofiëringskenmerken DIN 0.46 mg/l (=33 µM)	Schoon en gezond	Natuurlijke fysische processen en dynamiek	(6) Landschap	(3) Niet Economische Functies			
I018	Mesotroof, zonder eutrofiëringskenmerken Chlorofyl 90-percentiel <18 µg/l	Schoon en gezond	Fysisch-chemische waterkwaliteit	(6) Landschap	(3) Niet Economische Functies			
I019	Gezond, productieve algenbloei Algenbloei	Schoon en gezond	Biodiversiteit	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies			
I020	Toxische algen minimaal	Schoon en gezond	Biodiversiteit	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies			
I021	Biologische diversiteit Vissen	Schoon en gezond	Functioneren voedselweb	(5) Natuur	(3) Niet Economische Functies			
I022	Instandhoudingsdoelen vogel	Natura2000	Biodiversiteit	(6) Landschap	(3) Niet Economische Functies			

Tabel bijlage D-2 Selectie van kernindicatoren ten behoeve van het gebruik in de adaptatiepaden

Id	Wat	Indicator	Te selecteren indicator?
I001	Ecotopen	Ecotopen	Nuttige indicator voor veranderingen in habitats en effecten op leefgebieden, bijv. Aandeel ondiep areaal. Direct gekoppeld aan waterpeil en daarom weinig onderscheidend.
I002	Leefgebieden voor soorten	Leefgebieden voor soorten	Onduidelijke indicator; geen toegevoegde waarde tov 001, tenzij veel scherper gedefinieerd
I003	Vismigratie	Vismigratie	zonder kennis over beperkende factoren bij vismigratie, niet in te vullen
I004	Zomer waterpeil	Zomer waterpeil	Nuttige indicator voor peil-gerelateerde functies; wel specifiek zijn in toetswaardes
I005	Winter waterpeil	Winter waterpeil	Nuttige indicator voor peil-gerelateerde functies; wel specifiek zijn in toetswaardes
I006	Waterbalansmodel	Waterbalansmodel	Geen indicator
I007	Chloride	Chloridegehalte ≥ 10 g/l	Relevant bij relatief grote afname verversing. Waarschijnlijk niet als eerste knippunt.
I008	Zuurstof	Zuurstofverzadiging 60-120%	Belangrijke responsindicator voor effect maatregelen, maar moet meer specifiek gemaakt worden;
I009	Nutrienten	Stikstof	Responsindicator voor effect maatregelen, maar gaat uiteindelijk wel vooral om impact op algen/wieren
I010	Doorzicht	Secchi diepte $\geq 0,9$ m	Responsindicator voor effect maatregelen; maar doel is niet onderscheidend tenzij maatregelen tot sterke vertroebeling leiden
I011	Bodemdieren	Bodemdieren kwantiteit	Belangrijke responsindicator voor effect maatregelen, meer specifiek dan 'kwantiteit' ? Bijv. Geschiktheidsindex (kansenkaart) voor filtrerende/bodemdieretende bodemdieren

Id	Wat	Indicator	Te selecteren indicator?
I012	Fytoplankton	Fytoplankton kwantiteit	Niet, is dubbel met i018
I013	Wieren	Wieren kwantiteit	zonder kennis over bepalende factoren voor abundantie, niet in te vullen
I014	Vissen	Vissen kwantiteit	zonder kennis over bepalende factoren voor abundantie, niet in te vullen; zie ook i021
I015	Primaire productie in de zomer is hoog	Primaire productie in de zomer is hoog	Niet, is dubbel met i018
I016	Exoten/Kruiskwallen	Exoten/kruiskwallen kwantiteit	zonder kennis over bepalende factoren voor abundantie, niet in te vullen
I017	Mesotroof, zonder eutrofiëringskenmerken	DIN 0.46 mg/l (=33 μ M)	Responsindicator voor effect maatregelen, maar gaat dan vooral om impact op algen/wieren
I018	Het chlorofylgehalte in het voorjaar is laag	Chlorofyl 90-percentiel <18 μ g/l	Belangrijke responsindicator voor effect maatregelen
I019	Gezonde, productieve algenbloei	Algenbloei	Niet, is dubbel met i018
I020	Toxische algen minimaal	Toxische algen	zonder kennis over bepalende factoren, niet in te vullen
I021	Biologische diversiteit - vissen	Vissen	Vervangen door KRW maatlat? Zonder kennis over bepalende factoren, niet in te vullen
I022	Vogels	Instandhoudingsdoelen vogel	Belangrijke responsindicator voor effect maatregelen op N2000 doelen. Buiten scope in deze fase.

E Maatregelen

Verbeteren doorspoeling

Id	Maatregel	Periode	TRL	Complexiteit	Kosten	Paren	Paden	Aanvulling	Incompatibel
M001	Verbeteren doorspoeling (i) handhaven peilbesluit (huidig doorlaatmiddel) : (a) maximaal getij met zelfde (midden)peil.	2024-2033	9	3	1	5	21	23	3
M002	Verbeteren doorspoeling (i) handhaven peilbesluit (huidig doorlaatmiddel) : (b) schoonmaken doorlaat Katse Heule Verwijderen aangroei van mosselen en bed van dode mosselen voor de uitstroom.	2024-2033	9	2	2	5	21	23	3
M003	Verbeteren doorspoeling (i) handhaven peilbesluit (huidig doorlaatmiddel) : (c) + inzet Zandkreeksluis.	2024-2033	9	3	2	5	21	23	3
M004	Verbeteren doorspoeling (i) handhaven peilbesluit (huidig doorlaatmiddel) : (d) + Boosters (bijv. Propeller pompen)	2024-2033				5	21	23	3
M005	Verbeteren doorspoeling (i) handhaven peilbesluit (huidig doorlaatmiddel): (e) + Baggeren drempels	2024-2033				5	21	23	3
M006	Verbeteren doorspoeling (ii) Aanpassen peilbesluit (huidig doorlaatmiddel): (a) Maximaal getij : (1) verhogen winterpeil	2034-2037	9	5	3	20	6	3	23
M007	Verbeteren doorspoeling (ii) Aanpassen peilbesluit (huidig doorlaatmiddel) : (a) Maximaal getij : (2) verhogen zomerpeil	2034-2037	9	5	5	20	6	3	23
M008	Verbeteren doorspoeling (ii) Aanpassen peilbesluit (huidig doorlaatmiddel): (a) Maximaal getij : (3) verhogen zomer en winterpeil	2034-2037	9	5	5	20	6	3	23
M009	Verbeteren doorspoeling (ii) Aanpassen peilbesluit (huidig doorlaatmiddel) : (a) Maximaal getij : (4) adaptief peilbeheer	2034-2037	9	5	5	20	6	3	23
M010	Verbeteren doorspoeling (ii) Aanpassen peilbesluit (huidig doorlaatmiddel): (b) + inzet Zandkreeksluis	2034-2037	9	3	2	20	6	3	23

M011	Verbeteren doorspoeling (ii) Aanpassen peilbesluit (huidig doorlaatmiddel): (c) + Boosters (doorstroming in het Veerse Meer vergroten). Horizontale stroming. Verhogen debiet. <i>Horizontale stroming Verhogen debiet. Lokale oplossing</i>	2034-2037	9	4	5	20	6	3	23
M012	Verbeteren doorspoeling (ii) Aanpassen peilbesluit (huidig doorlaatmiddel) : (d) + Baggeren drempels, belemmeringen waterstroming <i>Win-win zoeken met Tennet of duurzaam baggeren (belemmering zit in oostelijk deel van het meer) Oude geul ten zuiden van "Middelplaten" verdiepen. Put dempen ten oosten van ingang Schengen. (hindert doorstroming)</i>	2034-2037	9	4	5	20	6	3	23
M013	Verbeteren doorspoeling (iii) Aanpassen peilbesluit (met nieuwe doorlaatmiddel): (a) Maximaal getij : (1) verhogen winterpeil	2034-2037	9	5	3	20	6	3	23
M014	Verbeteren doorspoeling (iii) Aanpassen peilbesluit (met nieuwe doorlaatmiddel) : (a) Maximaal getij : (2) verhogen zomerpeil	2034-2037	9	5	5	20	6	3	23
M015	Verbeteren doorspoeling (iii) Aanpassen peilbesluit (met nieuwe doorlaatmiddel): (a) Maximaal getij : (3) verhogen zomer en winterpeil	2034-2037	9	5	5	20	6	3	23
M016	Verbeteren doorspoeling (iii) Aanpassen peilbesluit (met nieuwe doorlaatmiddel) : (a) Maximaal getij : (4) adaptief peilbeheer	2034-2037	9	5	5	20	6	3	23
M017	Verbeteren doorspoeling (iii) Aanpassen peilbesluit (met nieuwe doorlaatmiddel): (b) + inzet Zandkreeksluis	2034-2037	9	3	2	20	6	3	23
M018	Verbeteren doorspoeling (iii) Aanpassen peilbesluit (met nieuwe doorlaatmiddel): (c) + Boosters (doorstroming in het Veerse Meer vergroten). Horizontale stroming. Verhogen debiet. <i>Horizontale stroming Verhogen debiet. Lokale oplossing</i>	2034-2037	9	4	5	20	6	3	23
M019	Verbeteren doorspoeling (iii) Aanpassen peilbesluit (met nieuwe doorlaatmiddel) : (d) + Baggeren drempels, belemmeringen waterstroming <i>Win-win zoeken met Tennet of duurzaam baggeren (belemmering zit in oostelijk deel van het meer) Oude geul ten zuiden van "Middelplaten" verdiepen. Put dempen ten oosten van ingang Schenge. (hindert doorstroming)</i>	2034-2037	9	4	5	20	6	3	23
M020	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen : (a) Via het Kanaal door Walcheren	2034-2037	9	3	4	20	6	3	23

<i>Doorspoelen via het kanaal. Het moet in ieder geval niet via het kanaal in het Veerse Meer stromen</i>									
M021	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen: (b) Opening in Zandkreekdam <i>Geheel of gedeeltelijk Veerse Meer getij Oosterschelde</i>	2034-2037	9	4	6	20	6	3	23
M022	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen: (c) Opening in Veerse Gat dam <i>Geheel of gedeeltelijk</i>	2024-2033	9	4	6	5	21	23	3
M023	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen: (d) Groter / nieuw doorlaatmiddel Zandkreekdam <i>Kokers of hevel</i>	2034-2037	9	4	5	20	6	3	23
M024	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen: (e) Nieuw doorlaatmiddel Veerse Gat dam <i>Kokers of hevel</i>	2034-2037	9	4	6	20	6	3	23
M025	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen: (f) Doorstroming via Noord-Beveland (kanaal Sofiahaven)	2034-2037	9	4	5	20	6	3	23
M026	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen: (g) Doorgang naar Vlissingen Oost <i>Schoon water kan pendelen naar de Westerschelde en terug</i>	2034-2037	9	4	5	20	6	3	23
M027	Verbeteren doorspoeling (iv) Grote systeem ingrepen: (h) Systeemwijziging Verzoeting	2034-2037				20	6	3	23

Nutriëntenbelasting verlagen

Id	Maatregel	Periode	TRL	Complexiteit	Kosten	Paren	Paden	Aanvulling	Incompatibel
M028	Nutriëntenbelasting verlagen (i) aanvoer verlagen Polderwater : (a) Polderwater bergen of bufferen (moerasfilters, bassins, ondergronds). <i>Moerasfilters: bufferen in bassins of ondergronds (= middellange termijn) Aansluiten op Deltaplan Agrarisch Waterbeheer</i>	2024-2033	9	3	2	14	0	14	24
M029	Nutriëntenbelasting verlagen (i) aanvoer verlagen Polderwater : (b) Getij gestuurd pompen (polderwater).	2024-2033	9	2	1	14	0	14	24
M030	Nutriëntenbelasting verlagen (i) aanvoer verlagen Polderwater : (c) Bron aanpak: verlagen mest en kunstmest gebruik <i>Aandacht houden voor mogelijke aansluiting op Nationaal Programma Landelijk Gebied (transitie-fonds) Anders inzetten drains, vasthouden water in plaats van wegpompen Aansluiten op Deltaplan Agrarisch Waterbeheer</i>	2024-2033	9	3	2	14	0	14	24
M031	Nutriëntenbelasting verlagen (i) aanvoer verlagen Polderwater : (d) Groenstroken aanleggen	2024-2033				14	0	14	24
M032	Nutriëntenbelasting verlagen (i) aanvoer verlagen Polderwater : (e) Afvoer stikstofrijk zoetwater Noord-Beveland <i>Bij afgaand tij via Oosterschelde i.p.v. het Veerse Meer. Aansluiten op Deltaplan Agrarisch Waterbeheer.</i>	2024-2033	9	4	4	14	0	14	24
M033	Nutriëntenbelasting verlagen (i) aanvoer verlagen Polderwater : (f) Omleiden polderwater Zuid-Beveland naar de Ooster- of Westerschelde. <i>Aansluiten op Deltaplan Agrarisch Waterbeheer</i>	2024-2033	9	4	4	14	0	14	24
M034	Nutriëntenbelasting verlagen (i) aanvoer verlagen Polderwater : (g) Aanleggen zoetwaterbassins Woonkernen <i>Mogelijke start met pilot gemeente Noord-Beveland</i>	2024-2033	9	4	5	14	0	14	24
M035	Nutriëntenbelasting verlagen (ii) aanvoer Veerse Meer : (a) Bagger onderhoud: Baggeren van organisch materiaal / slib	2024-2033	9	4	3	14	0	14	24

<i>Onderhoudsbagger buiten Veerse Meer starten Duurzaam baggeren / Innovatieve oplossing voor bagger zoeken</i>									
M036	Nutriëntenbelasting verlagen (ii) aanvoer Veerse Meer : (b) Baggeren sedimenten/of organisch materiaal (extra baggeren) <i>Extra baggeren t.b.v. bodemkwaliteit. Dieper maken zorgt ook voor lager temperatuur Duurzaam baggeren / Innovatieve oplossing voor bagger zoeken. Win-win situatie zoeken met Tennet</i>	2024-2033	9	4	5	14	0	14	24
M037	Nutriëntenbelasting verlagen (ii) aanvoer Veerse Meer : (c) Verwijderen wieren	2024-2033				14	0	14	24
M038	Nutriënt belasting verlagen (ii) aanvoer Veerse Meer : (d) Groenstroken aanleggen	2024-2033				14	0	14	24
M039	Nutriëntenbelasting verlagen (ii) aanvoer Veerse Meer : (e) Organisch materiaal binden (floculant)	2024-2033				14	0	14	24
M040	Nutriëntenbelasting verlagen (iii) organische belasting bodem verlagen : (a) Schelpdierkweek	2024-2033	9	3	1	14	0	14	24
M041	Nutriëntenbelasting verlagen (iii) organische belasting bodem verlagen : (b) Zeewierkweek	2024-2033	9	3	1	14	0	14	24
M042	Nutriëntenbelasting verlagen (iii) organische belasting bodem verlagen : (c) Afdekken bodem	2024-2033	9	5	5	14	0	14	24

Zuurstofhuishouding verbeteren

Id	Maatregel	Periode	TRL	Complexiteit	Kosten	Paren	Paden	Aanvulling	Incompatibel
M043	Zuurstofhuishouding verbeteren (i) verticale waterbeweging : (a) Solar Bees Doorbreken stratificatie	2024-2033	9	4		4	0	24	24
M044	Zuurstofhuishouding verbeteren (i) verticale waterbeweging : (b) Bellenscherm Doorbreken stratificatie	2024-2033	9	4		4	0	24	24

M045	Zuurstofhuishouding verbeteren (ii) zuurstof lokaal : (a) Fontein Lokaal	2024-2033	9	4		4	0	24	24
M046	Zuurstofhuishouding verbeteren (ii) zuurstof lokaal : (b) Riffen aanleggen Zie schelpdierkweek	2024-2033	9	1	2	4	0	24	24
M047	Zuurstofhuishouding verbeteren (ii) zuurstof lokaal : (c) Nanobubbles (WaterQI)	2024-2033				4	0	24	24

Natuurontwikkeling

Id	Maatregel	Periode	TRL	Complexiteit	Kosten	Paren	Paden	Aanvulling	Incompatibel
M048	Natuurbouw (i) Veerse Meer/ Polder : (a) Zeegras aanplanten <i>KRW project is aanbesteed. Zoeklocatie voor 5 ha. Zeegras in Veerse Meer (bijv. i.p.v. wier). Verwachting is dat zeegras zich hierna uitbreidt</i>	2024-2033	9	5		1	3	27	21
M049	Natuurbouw (i) Veerse Meer/ Polder : (b) Verzachten randen – herstel oevervegetatie <i>Natuurvriendelijkere oevers met vegetatie (werkt beste met natuurlijk peil).</i>	2024-2033	9	3	5	1	3	27	21
M050	Natuurbouw: (ii) Aanwijzen en heroverwegen zonering ten behoeve van rustzones voor watervogels	2034-2037				2	2	21	27
M051	Natuurbouw: (iii) Aanwijzen en vastleggen van habitattypes met hoge vervangbaarheidswaarde zoals vochtige duinvalleien	2034-2037				2	2	21	27
M052	Natuurbouw: (iv) Stappenplan tot verbetering status van de N2000 soorten	2034-2037				2	2	21	27
M053	Handhaving - Navelen spelregels lozingen recreatie	2024-2033				0	0	28	24

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