

Systeemanalyse en werkplan waterkwaliteitsmodel Veerse Meer



Systeemanalyse en werkplan waterkwaliteitsmodel Veerse Meer

Auteur(s)

Theo Prins

Lora Buckman

Arno Nolte

Systeemanalyse en werkplan waterkwaliteitsmodel Veerse Meer

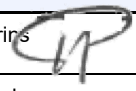
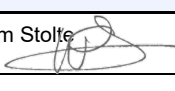

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Gerben Dekker, Nina Sandfort, Alexander Nefs
Referenties	KPP BOA ZW Delta
Trefwoorden	Veerse Meer, waterkwaliteit, zuurstof, 3D model

Documentgegevens

Versie	5
Datum	13-07-2021
Projectnummer	11206834-000
Document ID	11206834-000-ZKS-0011
Pagina's	34
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Theo Prins	
	Lora Buckman	
	Arno Nolte	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Theo Prins 	Willem Stolte 	Toon Segeren 	
	Lora Buckman			
	Arno Nolte			

Samenvatting

Dit rapport gaat allereerst in op de belangrijkste problemen op het gebied van waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer. Op basis van een conceptuele beschrijving van de belangrijkste elementen en processen zijn onderzoeksvragen en hypothesen opgesteld. Dit biedt de achtergrond voor de ontwikkeling van een gekoppeld hydrodynamisch- en waterkwaliteitsmodel, waarmee in ieder geval een deel van de vragen kan worden beantwoord.

Vervolgens wordt het werkplan voor 2021 voor de ontwikkeling van het 3D waterkwaliteitsmodel Veerse Meer beschreven. In 2021 is de ontwikkeling en het werkend krijgen van het model voorzien.

Het uiteindelijke doel is om met deze modeltoepassing meer inzicht in de werking van het watersysteem Veerse Meer te krijgen en daarmee bij te dragen aan het ontwikkelen van beheermaatregelen gericht op de problemen rond waterkwaliteit en ecologie.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Voorafgaande workshops	7
1.3	Doel van dit rapport	8
1.4	Leeswijzer	9
2	Het pelagisch systeem	10
2.1	Stratificatie en zuurstofloosheid	10
2.1.1	Onderzoeksvragen	10
2.1.2	Hypotheses	11
2.1.3	Welke vragen meenemen in modellering?	11
2.1.4	Overige analyses	11
2.2	Zoetwater- en nutriëntenbelasting	11
2.2.1	Onderzoeksvragen	12
2.2.2	Hypotheses	12
2.2.3	Welke vragen meenemen in modellering?	12
2.2.4	Overige analyses	12
2.3	Fytoplankton	13
2.3.1	Onderzoeksvragen	13
2.3.2	Hypotheses	13
2.3.3	Welke vragen meenemen in modellering?	13
2.3.4	Overige analyses	13
2.4	Zoöplankton	13
2.4.1	Onderzoeksvragen	14
2.4.2	Hypotheses	14
2.4.3	Welke vragen meenemen in modellering?	14
2.4.4	Overige analyses	14
3	Het benthische systeem	15
3.1	Zuurstofhuishouding waterbodem	15
3.1.1	Onderzoeksvragen	15
3.1.2	Hypotheses	15
3.1.3	Welke vragen meenemen in modellering?	16
3.1.4	Overige analyses	16
3.2	Sedimentsamenstelling waterbodem	16
3.2.1	Onderzoeksvragen	16
3.2.2	Hypotheses	16
3.2.3	Welke vragen meenemen in modellering?	16
3.2.4	Overige analyses	16
3.3	Bodemdieren	16
3.3.1	Onderzoeksvragen	17
3.3.2	Hypotheses	17

3.3.3	Welke vragen meenemen in modellering?	17
3.3.4	Overige analyses	17
3.4	Wieren	17
3.4.1	Onderzoeksvragen	17
3.4.2	Hypotheses	17
3.4.3	Welke vragen meenemen in modellering?	17
3.4.4	Overige analyses	17
4	Hogere trofische niveaus	18
4.1	Visstand	18
4.1.1	Onderzoeksvragen	18
4.1.2	Hypotheses	18
4.1.3	Welke vragen meenemen in modellering?	18
4.1.4	Overige analyses	18
4.2	Vogels	18
4.2.1	Onderzoeksvragen	19
4.2.2	Hypotheses	19
4.2.3	Welke vragen meenemen in modellering?	19
4.2.4	Overige analyses	19
5	Aanbevelingen	20
5.1	Prioritering	20
5.1.1	1 ^e prioriteit	20
5.1.2	2 ^e prioriteit	20
5.1.3	3 ^e prioriteit	20
5.2	Toe te passen indicatoren	21
5.3	Vooruitblik	21
6	Werkplan 3D waterkwaliteitsmodel	23
6.1	Achtergrond modelontwikkeling	23
6.2	Werkplan 2021	23
6.3	Doelen modellering	24
6.4	Modelaanpak	24
6.4.1	Conceptueel model	24
6.4.2	Numerieke modellen	27
6.4.2.1	Het huidige 3D hydrodynamische model	27
6.4.2.2	Berekeningen van transport en verblijftijden met behulp van het 3D hydrodynamisch model	27
6.4.2.3	3D waterkwaliteitsmodel	28
6.4.2.4	Benodigde data	30
6.5	Planning	30
6.5.1	Planning	30
7	Literatuur	31
A	Kaarten Veerse Meer	32

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2004 is de uitwisseling van water tussen Veerse Meer en Oosterschelde sterk verbeterd door de aanleg van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam (de 'Katse Heule'). In het laatste bekkenrapport met een beschrijving van de periode 2000-2014 is geconcludeerd dat het doorlaatmiddel heeft geresulteerd in wezenlijke veranderingen in de waterkwaliteit en de ecologie van het meer. De waterkwaliteit in het Veerse Meer is verbeterd door daling van de nutriëntenconcentraties en sterke afname van de fytoplankton- en zeesla-bloeien. 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 wieren, bodemdieren, vissen en vogels.

Door het doorlaatmiddel is er een betere menging, treedt er minder zoutstratificatie op en is het optreden van zuurstofloosheid in het oostelijke deel van het Veerse Meer sterk verminderd. In het westelijk deel komen door gebrek aan menging in de zomer nog steeds tijdelijk zuurstofarme condities in de diepere waterlaag voor.

Door de stapsgewijze verhoging van het winterpeil in 2008-2011 is het areaal ondiepe oeverzone dat in de winter droogvalt, ongeveer gehalveerd. De verhoging van het peil heeft geen meetbare effecten gehad op zoutgehalte, stratificatie of waterkwaliteit, wat ook niet te verwachten was. Het areaal dat niet meer droogvalt is een habitat voor algen, wieren en bodemdieren.

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 (Houtekamer & van Kleef 2021). Die problemen betreffen onder meer het optreden van zuurstofloosheid en vissterfte in de zomer, waarnemingen van bacteriematten op de bodem, afname van dichtheid en biomassa van bodemdieren en overlast door Japanse kruiskwallen, viltwier en Japans bessenwier.

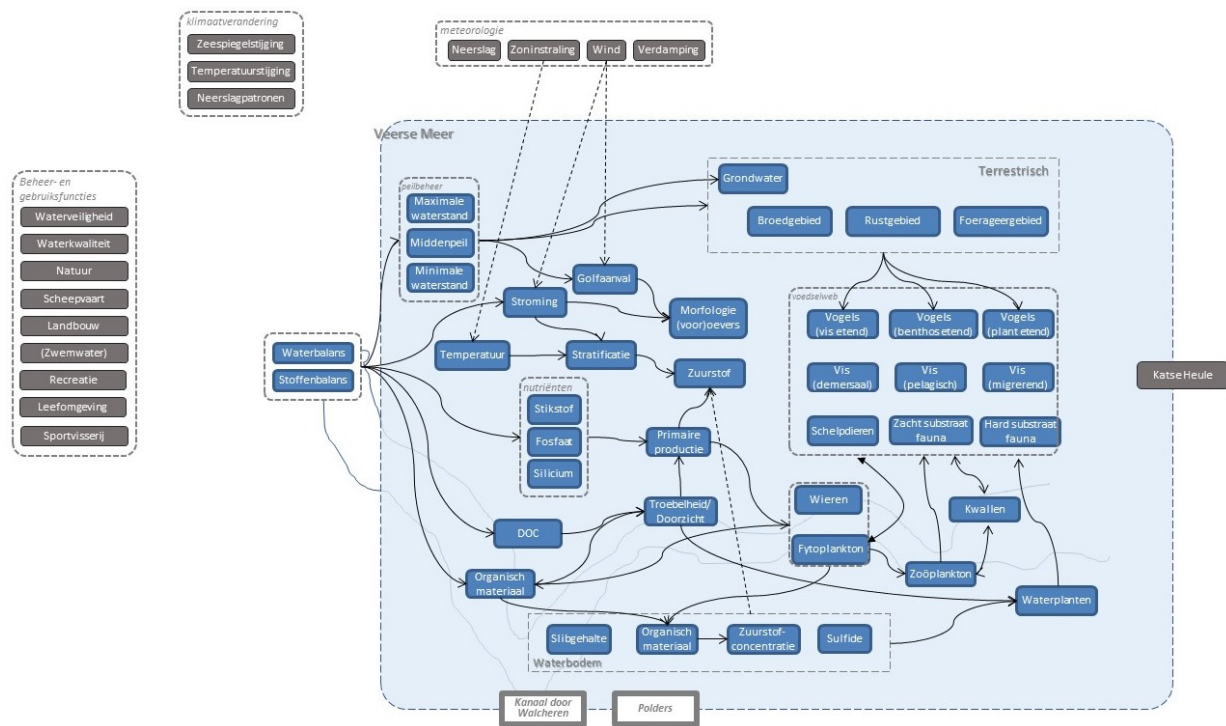
In dit rapport wordt een aanzet gegeven voor een systeemanalyse, waarbij op basis van een conceptueel model van het Veerse Meer de belangrijkste vragen en hypothesen worden geïdentificeerd. Op basis hiervan is een werkplan opgesteld voor de ontwikkeling van een gekoppeld 3D hydrodynamisch/waterkwaliteitsmodel. Het ontwikkelen van een numeriek model is nodig om tot een betere, kwantitatieve, analyse van de achterliggende processen in het Veerse Meer te komen. Via deze aanpak kan in ieder geval een deel van de vragen ten aanzien van waterkwaliteit en ecologie worden beantwoord. Tevens wordt beschreven welke vragen niet direct via een modeltoepassing beantwoord zullen kunnen worden.

1.2 Voorafgaande workshops

In oktober 2020 is een kennissessie gehouden waarin met deelnemers een inventarisatie is gemaakt van de optredende problemen rond waterkwaliteit en ecologie en van de meest waarschijnlijke achterliggende oorzaken (Houtekamer & van Kleef 2021).

In vervolg daarop is een kick-off georganiseerd in februari 2021. Daarin is verder gesproken over de problematiek, de stand van zaken in de modelontwikkeling en de mogelijkheden voor verdere ontwikkeling in 2021.

Op basis van de discussies tijdens de workshop van oktober 2020 en de kick-off in februari 2021 is een eerste versie van een diagram ontwikkeld dat de belangrijkste ecologische elementen en oorzaak-effect relaties van het Veerse Meer beschrijft (Figuur 1.1). Het diagram is bedoeld om een conceptuele beschrijving van het ecologisch functioneren van het Veerse Meer te geven en is een hulpmiddel voor de discussie over oorzaak-effect relaties en prioritering van de modelontwikkeling.



Figuur 1.1 Conceptueel diagram Veerse Meer

1.3 Doel van dit rapport

Dit rapport geeft een kwalitatieve beschrijving van de ontwikkelingen in waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer en de onderliggende oorzaak-effect relaties, die bedoeld is als eerste, kwalitatieve, systeemanalyse. Deze systeemanalyse is gebaseerd op bestaande kennis en de discussies in de voorafgaande workshops.

Voor de systeemanalyse wordt het conceptuele model beschreven met bijbehorende onderzoeksvragen en hypothesen. De onderzoeksvragen zijn geformuleerd om alle relevante kennisleemten te identificeren. Deze onderzoeksvragen zijn niet beperkt tot vragen die door middel van modelontwikkeling of door analyse van nu beschikbare gegevens beantwoord zouden kunnen worden. Een deel van de vragen zal een andere aanpak vereisen dan modellering, of wegens gebrek aan gegevens niet beantwoord kunnen worden zonder aanvullend onderzoek of monitoring.

In het slothoofdstuk wordt een aanbeveling gegeven voor de prioritering van onderwerpen.

Op grond van deze systeemanalyse is een werkplan opgesteld voor het opzetten van een hydrodynamisch en waterkwaliteitsmodel voor het Veerse Meer.

Dit rapport heeft niet het doel om een volledige systeembeschrijving en -analyse te geven, maar geeft een eerste inventarisatie van de problemen en mogelijke oorzaken. Het werkplan voor de modelontwikkeling is ook alleen gericht op het in 2021 werkend krijgen van het hydrodynamisch/waterkwaliteitsmodel. Het model is een belangrijk hulpmiddel bij het beter

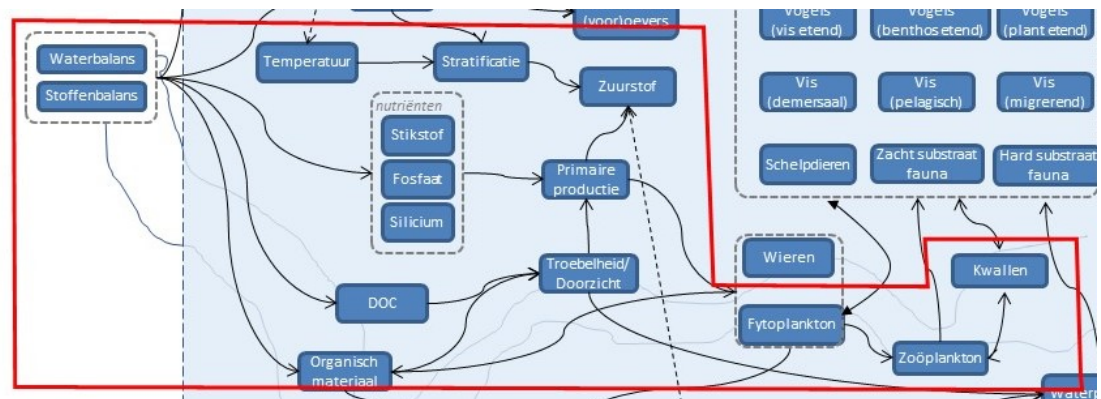
begrijpen van het systeem in combinatie met andere analyses, maar dat vraagt om vervolgstappen in een latere fase.

1.4 Leeswijzer

In de hoofdstukken 2, 3 en 4 wordt de systeemanalyse beschreven, voor respectievelijk het pelagisch systeem, het benthische systeem en de hogere trofische niveaus (vogels en vissen). De systeemanalyse is een beknopte beschrijving van de belangrijkste problemen die nu worden waargenomen in het Veerse Meer, met een opsomming van de belangrijkste onderzoeksvragen en hypothesen. In hoofdstuk 5 wordt op basis van deze systeemanalyse een prioritering gegeven voor de modelontwikkeling, waarbij ook wordt aangegeven voor welke vragen de voorziene 3D modellering niet de meest voor de hand liggende aanpak is. Hoofdstuk 6 beschrijft het werkplan voor de ontwikkeling en uitvoering van de modellering in 2021.

In Bijlage A is een aantal kaarten van het Veerse Meer opgenomen.

2 Het pelagisch systeem



2.1 Stratificatie en zuurstofloosheid

Uit metingen over verticale profielen van zoutgehalte, temperatuur en zuurstof blijkt dat er met name in het middendeel (Soelekerkepolder) en westelijk deel (Vrouwenpolder) lage zuurstofconcentraties in de diepere delen van de waterkolom kunnen voorkomen in de zomer. Er lijkt ook een geringe mate van temperatuurstratificatie op te treden maar de afname van zuurstofconcentraties op toenemende diepte is mogelijk meer een gevolg van geringe doorstroming van de diepere delen (Prins & Vergouwen 2015).

Het ontbreekt aan metingen van verticale profielen van temperatuur, zout- en zuurstofconcentraties over het gehele oost-west transect voor de periode 2013-2020. Sinds een jaar (2020) worden deze metingen weer uitgevoerd¹. Uit die TSO profielen komt een gemengd beeld, waarbij zoutstratificatie meer lijkt op te treden in winter en voorjaar, en temperatuurstratificatie in de zomer en het vroege najaar. Mogelijk leiden verschillen tussen jaren in het weer, met name in de zomer, ook tot jaar-tot-jaar verschillen in de mate waarin temperatuurstratificatie optreedt. De stratificatie heeft tot gevolg dat er geen toevoer meer is van zuurstofrijk water naar de waterlaag onder de spronglaag. In combinatie met zuurstofverbruik in de bodem en de waterkolom leidt dat tot zuurstofloosheid. In augustus 2020 is zuurstofloosheid opgetreden in diepere delen bij Oranjeplaat en de Schotsman, zonder dat er uit metingen duidelijke aanwijzingen zijn van temperatuur- of zoutstratificatie in die periode. Mogelijk is er wel een kortdurende hoge aanvoer van zoetwater vanuit de poldergemalen geweest. Meetgegevens van meetpalen wijzen op een kortdurende sterke verlaging van chloridegehaltenes. Ook in de zomer van 2019 waren er zuurstofproblemen.

Er zijn meldingen op basis van waarnemingen van duikers van het grootschalig optreden van effecten van zuurstofloosheid in of nabij de bodem (van der Mast & Eg 2021).

2.1.1 Onderzoeksvragen

- Zijn de optredende lage zuurstofconcentraties in de zomer (<6 mg/l) in de diepere delen (dieper dan 5-10 m) in het midden- en westelijk deel een jaarlijks terugkerend fenomeen?
- Zijn deze lage concentraties een gevolg van onvoldoende horizontaal transport naar de diepste delen veroorzaakt o.a. door drempels (ten westen van De Piet) of onvoldoende waterbeweging?
- Zijn deze lage concentraties een gevolg van onvoldoende verticale menging veroorzaakt door stratificatie?
- Is er een toename in duur van temperatuurstratificatie als gevolg van warmere zomers?

¹ <https://waterberichtgeving.rws.nl/monitoring/tso-metingen/veerse-meer>

- Is er een trendmatige toename van het optreden van deze lage zuurstofconcentraties, bijvoorbeeld als gevolg van verhoogd zuurstofgebruik van de bodem door stijgende watertemperatuur?
- Was de zuurstofloosheid in 2019 en augustus 2020 een extreem voorval of onderdeel van een jarenlange ontwikkeling?
- Werd de zuurstofloosheid in 2019/2020 veroorzaakt door
 - Temperatuurstratificatie
 - Zoutstratificatie als gevolg van verhoogde polderwaterafvoer
 - Verhoogd zuurstofgebruik van de bodem door de hoge temperatuur
 - Verhoogd zuurstofgebruik van de bodem door hoge aanvoer van organisch materiaal via de polderwaterafvoer

2.1.2 Hypotheses

- In de diepere delen van de waterkolom van het Veerse Meer zijn de zuurstofconcentratie verlaagd door onvoldoende verticale menging als gevolg van temperatuurstratificatie.
- Dit zuurstofprobleem is sterker in het westelijk deel van het Veerse Meer doordat drempels verversing van het water via advectief transport belemmeren.
- Het zuurstofprobleem neemt de laatste jaren toe doordat stijgende watertemperaturen leiden tot hoger zuurstofverbruik van de bodem.
- Door een geleidelijke accumulatie over de jaren van organisch materiaal in de bodem, in combinatie met hoge watertemperaturen in de zomer, is de zuurstofvraag van de bodem toegenomen.
- Kortstondige hoge afvoeren van zoetwater via poldergemalen leiden alleen lokaal en kortdurend tot 'zoetwaterbellen' en zoutstratificatie.

2.1.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Om bovenstaande hypothesen te kunnen toetsen is het van belang dat 1) het hydrodynamische model het horizontale en verticale transport en het al dan niet optreden van zout- of temperatuurstratificatie kan beschrijven.

Om de zuurstofdynamiek beter te kunnen begrijpen is 2) modellering nodig van de processen die de zuurstofconcentraties bepalen (transport en uitwisseling met de atmosfeer, primaire productie en zuurstofverbruik in bodem en waterkolom).

Stap 3) zou zich moeten richten op modellering van het effect van temperatuur op de zuurstofdynamiek, o.a. verhoogd zuurstofverbruik in de bodem en de waterkolom bij hogere watertemperaturen.

2.1.4 Overige analyses

Op basis van beschikbare monitoringdata kan geanalyseerd worden of er sprake is van een trend over jaren in watertemperatuur (met name in de zomer) en in zuurstofconcentratie. Dit zou aanwijzing kunnen geven in welke mate stijgende watertemperatuur een verklarende factor is.

2.2 Zoetwater- en nutriëntenbelasting

Op het Veerse Meer wordt zoetwater geloosd, direct via tien poldergemalen en indirect via de sluis met het Kanaal door Walcheren (zie figuur A.1). Deze zoetwaterlozingen hebben mogelijk effect op zoutstratificatie in de waterkolom.

Daarnaast zijn er indirecte effecten doordat met het zoete water nutriënten en organisch materiaal worden aangevoerd. De belasting met nutriënten van het Veerse Meer wordt waarschijnlijk voor het grootste deel bepaald door deze zoetwaterafvoer via de direct lozende gemalen en via de gemalen die op het Kanaal door Walcheren lozen. Daarnaast spelen ook andere puntbronnen en diffuse bronnen een rol. Sinds de ingebruikname van de Katse Heule zijn de nutriëntenconcentraties (N, P, Si) in het Veerse Meer gedaald als gevolg van de betere doorspoeling (Prins & Vergouwen 2015).

De nutriëntenbelasting heeft een direct effect op de ecologie doordat het primaire productie van fytoplankton en macro-algen stimuleert. Indirect kan dit, door de productie van organisch materiaal dat naar de diepere waterlagen bezinkt, effect hebben op de zuurstofconcentraties als gevolg van afbraak van het organisch materiaal in de diepere waterlagen en de bodem. Mogelijk zijn er ook effecten op het lichtklimaat, doordat algengroei of de aanvoer van opgelost organisch materiaal vanuit het zoete water tot grotere lichtuitdoving leiden (en daarmee minder primaire productie en zuurstofproductie).

Aanvoer van organisch materiaal via het zoete water kan eveneens leiden tot verhoogde aanvoer van organisch materiaal naar de diepere waterlagen met mogelijke effecten op zuurstofconcentraties in het sediment en de diepere waterlagen. Toename van zuurstofloosheid in de bodem kan ook weer effecten hebben op de uitwisseling tussen bodem en water van nutriënten als fosfaat: zuurstofloosheid kan de mobiliteit van fosfaat verhogen waardoor het versneld vanuit de bodem vrijkomt in het water en zou kunnen leiden tot een toename van de primaire productie.

Mogelijk heeft hoge zoetwaterafvoer in augustus 2020 geleid tot versterkte stratificatie met verlaagde zuurstofuitwisseling en uiteindelijk zuurstofloosheid in het diepe water als gevolg.

Als onderdeel van het project KPP ZW Delta wordt in 2021 een water- en stoffenbalans van het Veerse Meer opgesteld voor de jaren 2011-2020 (van der Heijden 2021). Dit biedt meer inzicht in het kwantitatieve belang van de verschillende bronnen van nutriënten.

2.2.1 Onderzoeksvragen

- Onder welke omstandigheden leidt zoetwaterafvoer tot het optreden van zoutstratificatie, hoe langdurig en op welke ruimtelijke schaal treedt dit op?
- Wat is het effect van nutriëntenbelasting via de poldergemalen en het Kanaal door Walcheren op de nutriëntenbalans van het Veerse Meer?
- Wat is de bijdrage van andere bronnen, zoals diffuse bronnen, op de nutriëntenbalans?
- Wat is het effect van organische belasting via de poldergemalen en het Kanaal door Walcheren?

2.2.2 Hypotheses

- Alleen in de wintermaanden is zoetwaterafvoer via de poldergemalen hoog genoeg om zoutstratificatie te veroorzaken.
- Kortstondige hoge afvoeren van zoetwater via poldergemalen leiden alleen lokaal en kortdurend tot 'zoetwaterbellen' en zoutstratificatie.
- Nutriëntenbelasting via polderwaterafvoer en Kanaal door Walcheren is bepalend voor de nutriëntenconcentratie in het Veerse Meer.
- Organische belasting via polderwaterafvoer en Kanaal door Walcheren heeft een verwaarloosbaar effect op de sedimentatie van organisch materiaal en de zuurstofvraag van de bodem.

2.2.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Het model dient de nutriëntenbalans te kunnen beschrijven, waarbij het niet alleen om de belasting met anorganische nutriënten gaat maar ook om de belasting met organisch materiaal. Voor een doorvertaling van de nutriëntenbalans naar primaire productie en de effecten op productie van organisch materiaal is het nodig dat minimaal de fytoplanktonproductie beschreven kan worden (zie volgende paragraaf).

2.2.4 Overige analyses

-

2.3 Fytoplankton

In de periode vanaf 2000 tot de ingebruikname van de Katse Heule in 2004 kwamen incidenteel hoge chlorofylconcentraties voor, met een hoge piek (>100 µg/l) in april 2003. Na de ingebruikname van de Katse Heule zijn de gemiddelde chlorofylconcentraties ongeveer gehalveerd (Prins & Vergouwen 2015), en was de maximale concentratie slechts incidenteel >20 µg/l.

Wat opvalt is dat 2018 de hoogste zomergemiddelde chlorofylconcentratie had in de periode 2005-2019. In 2019 zijn echter geen opmerkelijk hoge chlorofylconcentraties gemeten. Voor 2020 zijn nog geen meetgegevens gepubliceerd.

Voor zover nu bekend, zijn er na de ingebruikname van de Katse Heule geen duidelijke veranderingen in de soortensamenstelling van het fytoplankton opgetreden.

Het is onbekend of de graasdruk op het fytoplankton is toegenomen als gevolg van de toename van schelpdierbiomassa of andere grazers. Over de ontwikkeling van primaire productie door fytoplankton kunnen daarom geen uitspraken gedaan worden. Op basis van de gedaalde en sinds 2005 relatief constante nutriëntenconcentraties in het meer ligt het voor de hand dat er geen trendmatige verandering in de primaire productie is opgetreden sinds de ingebruikname van de Katse Heule.

De beschikbare meetgegevens laten geen verhoogde concentraties van fytoplankton zien als oorzaak van het optreden van zuurstofloosheid in 2019 en 2020, maar door de meetfrequentie (2-wekeljk) kunnen kortstondige bloeien gemist worden, de gegevens voor 2020 zijn nog niet beschikbaar en er is slechts op één locatie gemeten.

2.3.1 Onderzoeksvragen

- Zijn er verschillen in chlorofylconcentratie tussen jaren die verklaard kunnen worden uit verschillen in nutriëntenbelasting?
- Zijn er verschillen in chlorofylconcentratie tussen jaren die verklaard kunnen worden uit verschillen in meteorologische omstandigheden?
- Zijn er verschillen tussen jaren in soortensamenstelling van het fytoplankton die verklaard kunnen worden uit verschillen in omgevingsomstandigheden zoals nutriëntenbelasting of meteorologie?
- Is er een verband tussen fytoplanktonbiomassa of -productie en het optreden van zuurstofloosheid?

2.3.2 Hypotheses

- De fytoplanktonproductie in het Veerse Meer wordt gestuurd door het lichtklimaat en de beschikbaarheid van nutriënten.
- Begrazing door zoöplankton of bodemdieren heeft een verwaarloosbare invloed op de fytoplanktonbiomassa.
- Sedimentatie van fytoplankton draagt significant bij aan de organische belasting van de bodem.

2.3.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Modellering van fytoplankton primaire productie en sedimentatie.

2.3.4 Overige analyses

Statistische relaties tussen nutriëntenbelasting en chlorofylconcentraties.

2.4 Zoöplankton

Over micro- en mesozoöplankton zijn geen gegevens beschikbaar. Het meest opvallende zoöplankton in het Veerse Meer zijn de kwallen. Na de opening van de Katse Heule komt de oorkwal en de Amerikaanse ribkwal, een invasieve exoot, veelvuldig voor in het Veerse Meer. De laatste jaren komt ook de Japanse kruiskwal in hoge aantallen voor op bepaalde locaties,

vooral in het oostelijk deel van het Veerse Meer. Het voorkomen van de laatste soort lijkt samen te hangen met het voorkomen van Japans bessenwier en kan leiden tot klachten van zwemmers (Houtekamer & van Kleef 2021).

De kwallen zijn predatoren en kunnen van invloed zijn op ander zoöplankton, waaronder ook larven van bodemdieren. Daarmee kan er ook een negatief effect zijn op de aanwas van bodemdieren met een pelagisch larvenstadium, zoals schelpdieren. Een kwantitatieve inschatting van het effect van de kwallenpopulatie op andere componenten van het voedselweb is door gebrek aan gegevens op dit moment niet mogelijk.

2.4.1 Onderzoeksvragen

- Is er een trendmatige verandering in de dichtheid van kwallen sinds 2005?
- Is er een effect van de kwallenpopulatie op het voedselweb van het Veerse Meer?

2.4.2 Hypotheses

- Predatie door kwallen heeft een significant effect op de rekrutering van schelpdieren.

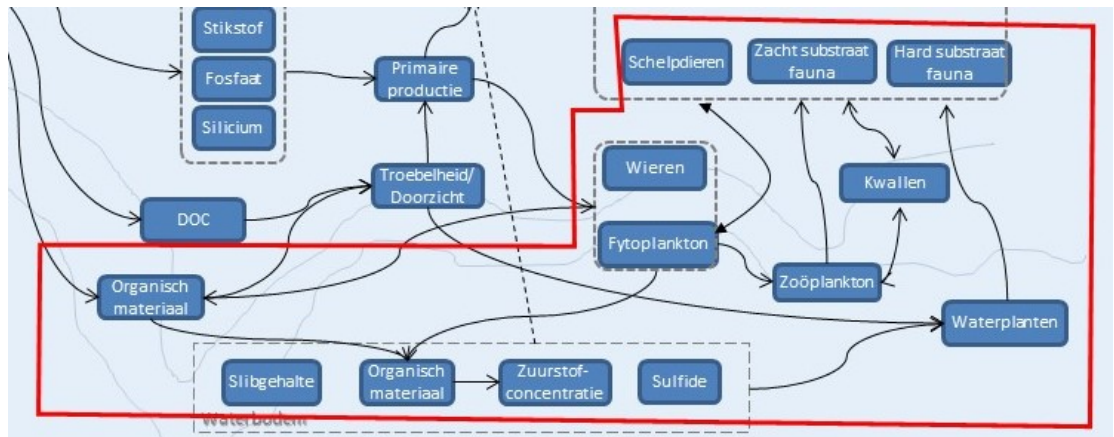
2.4.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Vanwege gebrek aan data en gebrek aan kennis over processen kan dit niet gemodelleerd worden.

2.4.4 Overige analyses

Dichtheden van zoöplankton, met name kwallen.

3 Het benthische systeem



3.1 Zuurstofhuishouding waterbodem

In delen van het Veerse Meer is de bodem zuurstofloos, als gevolg van lage concentraties in de diepere waterlaag en weinig dynamiek in de wateruitwisseling. De vraag is of factoren die de zuurstofvraag van het sediment beïnvloeden gedurende de laatste jaren veranderd zijn. Daarbij kan gedacht worden aan sedimentatie van organisch materiaal dat wordt aangevoerd vanuit polderwater, via de uitwisseling met de Oosterschelde of door uitzakken van algenbloeiën, maar ook factoren als watertemperatuur of duur van (temperatuur-)stratificatie. De zuurstofloosheid van de bodem lijkt vooral op te treden in de diepere delen. Volgens recente visuele waarnemingen van duikers beginnen verschijnselen die met zuurstofloosheid samenhangen al bij een diepte van 3-5 m en lijken deze ook op te treden in het oostelijk deel van het Veerse Meer waar de uitwisseling met de Oosterschelde voor meer verversing zorgt (van der Mast & Eg 2021).

In de ondiepe delen tegen de oevers van het Veerse Meer ontstaan soms zuurstofproblemen doordat afstervende wieren (viltwier, darmwier) zich daar ophopen. Dit was mogelijk de oorzaak van de zuurstofloosheid in 2019 bij Oranjeplaat (Houtekamer & van Kleef 2021).

3.1.1 Onderzoeksvragen

- Op welke schaal (tijdsduur, oppervlak) treedt er zuurstofloosheid op in de bodem van de diepere delen van het Veerse Meer?
 - Is er in recente jaren een toename in het optreden (tijdsduur, omvang) van deze zuurstofloosheid?
- Op welke schaal (tijdsduur, oppervlak) treedt er zuurstofloosheid op in de ondiepe delen van het Veerse Meer?
 - Is er in recente jaren een toename in het optreden (tijdsduur, omvang) van deze zuurstofloosheid?

3.1.2 Hypotheses

- Zuurstofloosheid in het sediment of de waterlaag nabij de bodem in de diepere delen van het Veerse Meer vertoont een toename in duur (periode zuurstofloosheid gedurende een jaar) en in oppervlak, als gevolg van stijgende watertemperatuur.
- Zuurstofloosheid in ondiepere (oever)zones wordt veroorzaakt door ophoping van afstervende biomassa van wieren.

3.1.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Modellering gericht op hydrodynamica en effect van watertemperatuur op bodem-zuurstofverbruik zal meer inzicht verschaffen in de achterliggende processen, in ieder geval in de diepere delen van het Veerse Meer. Voor de ondiepere delen van het Veerse Meer, waar vooral ophoping van wierenbiomassa een rol lijkt te spelen, is de modellering minder geschikt als instrument voor analyses.

3.1.4 Overige analyses

-

3.2 Sedimentsamenstelling waterbodem

In het bekkenrapport is geconcludeerd dat door het beperkte aantal meetgegevens, er geen trends in de samenstelling van het sediment (organisch stof fractie, korrelgrootteverdeling) waarneembaar waren. Uitzondering was een meetpunt in het oostelijk deel van het Veerse Meer nabij de Zandkreekdijk, waar verslibbing plaats vond die mogelijk samenhangt met storten van baggerspecie uit de havens. De verslibbing van de havens, en daarmee het storten van baggerspecie, neemt toe. Mogelijk speelt hier verhoogde slibaanvoer vanuit de Oosterschelde een rol (Houtekamer & van Kleef 2021).

3.2.1 Onderzoeksvragen

- Verandert de sedimentsamenstelling (slibgehalte, korrelgrootte) in het Veerse Meer, en zo ja, op welke locaties?
- Wat is de omvang van slibimport vanuit de Oosterschelde?
- Is deze slibimport direct of indirect van invloed op de sedimentsamenstelling?

3.2.2 Hypotheses

- Verslibbing van het meest oostelijk deel van het Veerse Meer wordt veroorzaakt door aanvoer van slib vanuit de Oosterschelde.

3.2.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Slibtransport vanuit de Oosterschelde en verspreiding in het Veerse Meer.

3.2.4 Overige analyses

De analyse uit het Bekkenrapport actualiseren met recentere metingen (onder meer data uit 2020 die binnenkort beschikbaar komen).

3.3 Bodemdieren

Na de ingebruikname van het doorlaatmiddel trad er een herstel op van de bodemdierengemeenschap, die eerder sterk te lijden had onder de effecten van zuurstofloosheid in de diepere delen. Direct na ingebruikname van de Katse Heule nam het aantal mariene soorten toe en was er een toename van biomassa, van vooral schelpdieren als Japanse oester (*Crassostrea gigas*), mossel (*Mytilus edulis*), tapijtschelpen (*Ruditapes philippinarum*). Er was een afname in dichtheid, die afvlakte in de periode vanaf 2005 (Prins & Vergouwen 2015, Houtekamer & van Kleef 2021). Er zijn slechts beperkt gegevens beschikbaar na 2010, zodat het niet mogelijk is betrouwbare uitspraken te doen over trends in de laatste tien jaar. Incidentele visuele waarnemingen door duikers lijken te wijzen op ongunstige omstandigheden voor bodemdieren in delen dieper dan 3-5 m (van der Mast & Eg 2021), al geldt daarbij wel dat die waarnemingen beperkt zijn tot bepaalde momenten van het jaar en een beperkt aantal locaties.

Een belangrijke beperkende factor voor de aanwezigheid van bodemdieren lijkt het optreden van zuurstofloosheid in de bodem in de diepere delen van het Veerse Meer. Het is onbekend

welke andere factoren een rol spelen bij de veranderingen in soortensamenstelling en biomassa van de bodemdierengemeenschap. Mogelijke factoren, naast zuurstof, zijn verandering in watertemperatuur, variatie in zoutgehalte, verandering in aanwas door predatie (o.a. kwallen) of verminderde broedval, of verslechterde voedselomstandigheden.

3.3.1 Onderzoeksvragen

- Wat is de trend in de bodemdierengemeenschap (met onderscheid tussen het zachte substraat en het harde substraat) sinds de ingebruikname van de Katse Heule?
 - Is er een verband met het optreden van zuurstofuitputting?
- Zijn er aanwijzingen voor slechtere groeiomstandigheden, zoals een slechtere conditie-index van schelpdieren?
- Zijn er aanwijzingen voor slechtere aanwas, bijvoorbeeld door een dalende trend in het aandeel jonge schelpdieren?

3.3.2 Hypotheses

- De bodemdierengemeenschap verandert van samenstelling als gevolg van negatieve effecten van zuurstofloosheid
- Bodemdiersoorten met een pelagische larvenfase hebben een slechtere aanwas dan andere soorten als gevolg van kwallenpredatie

3.3.3 Welke vragen meenemen in modellering?

In de huidige modelopzet kunnen deze processen niet meegenomen worden

3.3.4 Overige analyses

Analyse van de trends in dichtheden en soortensamenstelling.

3.4 Wieren

Diverse soorten wieren groeien in de ondiepere delen van het Veerse Meer, waaronder Japans bessenwier, darmwier, zeesla en viltwier. Het is niet duidelijk of het areaal met wieren of de totale biomassa toeneemt. Ook is onduidelijk of er een relatie is met nutriëntenbelasting, uitbreiding van het areaal ondiep water na aanpassing van het peilbesluit, of andere groeibepalende factoren zoals bijvoorbeeld temperatuur. De wieren kunnen leiden tot hinder voor recreanten, en na afsterven kan er ophoping van biomassa op bepaalde plaatsen ontstaan wat kan leiden tot zuurstofloosheid op die locaties en geurhinder.

3.4.1 Onderzoeksvragen

- Wat is de trend in biomassa van wieren?
- Is er een verband met nutriëntenbelasting?
- Is er een verband met het areaal ondiep water?

3.4.2 Hypotheses

- De biomassa van wieren is toegenomen als gevolg van een toename van het areaal met gunstige groeiomstandigheden (beschikbaarheid licht en nutriënten).

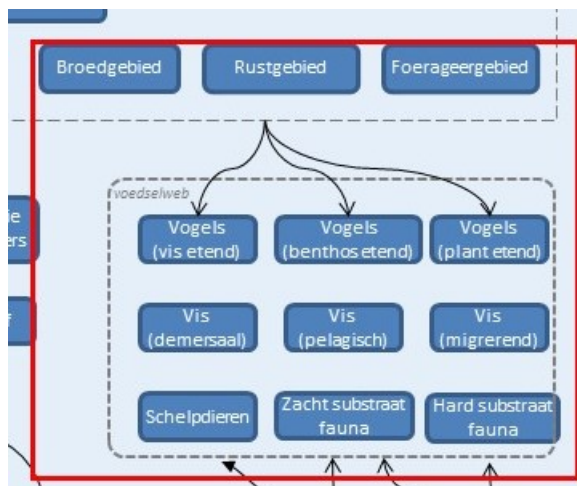
3.4.3 Welke vragen meenemen in modellering?

In de huidige modelopzet zijn wieren geen onderdeel van het model en kunnen de processen die hierboven beschreven zijn, niet meegenomen worden.

3.4.4 Overige analyses

Analyse van de trends in biomassa en soortensamenstelling.

4 Hogere trofische niveaus



4.1 Visstand

Vissterfte was één van de meest opvallende fenomenen in de zomers van 2019 en 2020 die wezen op zuurstofproblemen in delen van het Veerse Meer. Er zijn echter zeer beperkt monitoringgegevens beschikbaar, zodat het niet goed mogelijk lijkt uitspraken te doen over veranderingen in de visstand. In het bekkenrapport is opgemerkt dat er mogelijk sprake is van achteruitgang van de haring, wat afwijkt van trends in de Oosterschelde. Door gebrek aan gegevens is onduidelijk wat de oorzaak zou kunnen zijn.

In 2021 heeft een trainee (Laurie van Gijzen) onderzoek gedaan naar mogelijke hypothesen voor de oorzaken van de vissterfte (van Gijzen 2021).

4.1.1 Onderzoeksvragen

- Wat is de trend in de visstand sinds de ingebruikname van de Katse Heule
- Wijkt deze trend af van de trends in de Oosterschelde
- Kan deze trend verklaard worden uit trends in de waterkwaliteit van het Veerse Meer

4.1.2 Hypothesen

- De ontwikkeling in de visstand in het Veerse Meer volgt de trends van de Oosterschelde
- *Voor overige hypothesen: zie rapport van Gijzen (2021)*

4.1.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Hogere trofische niveaus als vis zijn op dit moment geen onderdeel van het model.

4.1.4 Overige analyses

Visstandsontwikkeling in het Veerse Meer en de Oosterschelde.

4.2 Vogels

Het Veerse Meer is aangewezen als Vogelrichtlijngebied. Voor een aantal soorten voldoet het Veerse Meer momenteel niet aan de Natura2000 instandhoudingsdoelen. Dit betreft steltlopers (goudplevier, kluut), viseters (aalscholver, dodaars), en verschillende soorten eenden (meerkoet, pijlstaart, slobbeend, brilduiker, kuifeend). Voor al deze soorten geldt dat

de oorzaak onbekend is, al wordt in het Natura2000 beheerplan gewezen op veranderingen in voedselaanbod als mogelijke verklaring (IenW 2016).

4.2.1 Onderzoeksvragen

- Wat zijn de trends in de vogelstand sinds de ingebruikname van de Katse Heule
- Kunnen deze trends verklaard worden uit trends in de waterkwaliteit van het Veerse Meer

4.2.2 Hypotheses

- De ontwikkelingen in de vogelpopulaties in het Veerse Meer houden geen verband met de waterkwaliteit van het Veerse Meer

4.2.3 Welke vragen meenemen in modellering?

Hogere trofische niveaus als vis zijn op dit moment geen onderdeel van het model.

4.2.4 Overige analyses

Trends in aantallen van de beschermde soorten in vergelijking met de trends in de andere grote wateren in de ZW Delta. Een deel van dit soort analyses wordt al uitgevoerd door SOVON.

5 Aanbevelingen

5.1 Prioritering

In de voorgaande hoofdstukken zijn de problemen rond waterkwaliteit en ecologie in het Veerse Meer en de onderzoeksvragen die daarbij spelen, op een rij gezet. Op grond daarvan wordt een prioriteit voorgesteld voor het werk dat in het kader van het huidige projectbudget van KPP BOA ZW Delta kan worden uitgevoerd. De effecten van de zuurstofloosheid op de rest van het watersysteem beschouwen we als het belangrijkste knelpunt waarvan de oorzaken beter begrepen moeten worden, wat vraagt om een kwantitatieve analyse van de belangrijkste processen.

5.1.1 1^e prioriteit

Het meest dominante probleem in het Veerse Meer in de laatste jaren was het optreden van zuurstofloosheid met sterfte van bodemdieren en vis. Om de vragen over mogelijke oorzaken van dit probleem te kunnen beantwoorden, is het allereerst van belang dat een goed werkend hydrodynamisch model beschikbaar is. De eerste prioriteit ligt daarom bij het opstellen van een hydrodynamisch model dat in staat is het watertransport, in combinatie met uitwisseling met de Oosterschelde en toevoer van zoetwater via poldergemalen en sluizen, te beschrijven. Hierbij hoort ook het goed kunnen reproduceren van het optreden van stratificatie als gevolg van verticale verschillen over de waterkolom in zoutgehalte en/of temperatuur.

Er is inmiddels een modelversie gereed, die grotendeels voldoet aan deze eisen (3D D-HYDRO Veerse Meer; van der Kaay & Kerkhoven 2021).

5.1.2 2^e prioriteit

Om de zuurstofdynamiek in het Veerse Meer beter te begrijpen, moet het hydrodynamische model dat de fysische karakteristieken beschrijft uitgebreid worden met een waterkwaliteitsmodel dat de processen beschrijft die van invloed zijn op de zuurstofconcentraties in de waterkolom. Dit model omvat zuurstofproductie (primaire productie fytoplankton) en zuurstofverbruik als gevolg van afbraak van organisch materiaal in waterkolom en bodem naast transport en uitwisseling met de atmosfeer.

Voor de modellering van de primaire productie is het noodzakelijk een goede inschatting te hebben van de nutriëntenbelasting en nutriëntenbalans (import, export) van het Veerse Meer via sluizen, gemalen en Katse Heule. De nutriëntenbalans is in concept gereed (van der Heijden 2021).

Naar verwachting kan met toepassing van het hydrodynamische model in combinatie met het waterkwaliteitsmodel een belangrijk deel van de zuurstofdynamiek verklaard worden. Voor het waterkwaliteitsmodel kan gebruik worden gemaakt van de processen in de bestaande waterkwaliteitsmodellen bij Deltares (zie hoofdstuk 6).

5.1.3 3^e prioriteit

Een deel van de problemen beschreven in hoofdstukken 2 t/m 4 kunnen niet direct met de bestaande modellen benaderd worden. Daarbij gaat het om diverse vragen, zoals de ontwikkeling van wieren in de ondiepe delen van het Veerse Meer, de waargenomen veranderingen in de bodendierengemeenschap, de langetermijn-ontwikkeling in sedimentkwaliteit, de ontwikkelingen in kwallenpopulaties en mogelijke veranderingen in visstand en vogels.

Sommige van die vragen kunnen in eerste instantie beter beantwoord worden door gebruik te maken van de huidige monitoring, de voor 2021 geplande aanvullende monitoring en gerichte analyses van die monitoringresultaten.

5.2 Toe te passen indicatoren

Om de modelresultaten uiteindelijk te kunnen gebruiken in een evaluatie van de effecten van beheermaatregelen is het aan te bevelen deze resultaten te vertalen in een aantal indicatoren. Goede indicatoren zijn 1) begrijpelijk, ook voor een niet-wetenschappelijk publiek 2) gevoelig en reageren snel 3) specifiek voor een bepaald type verstoring 4) accuraat 5) eenvoudig toepasbaar en 6) ecologisch relevant.

Via toepassing van het 3D waterkwaliteitsmodel komen gegevens beschikbaar van een groot aantal parameters uit het model (zie hoofdstuk 6), die via verdere opwerking gebruikt kunnen worden voor indicatoren die een beeld geven van de toestand van het Veerse Meer en van de effecten van maatregelen.

Zoals hierboven aangegeven zijn zuurstofloosheid en de effecten daarvan op het ecosysteem het meest urgente probleem en daarom zijn er vooral indicatoren nodig die op dat probleem betrekking hebben.

In de modeltoepassingen voor de Grevelingen is de indicator “langdurig zuurstofarm areaal” gebruikt. In de evaluatie is geconcludeerd dat deze indicator niet optimaal is. Gebleken is dat het langdurig zuurstofarm areaal zoals dat uit de modelresultaten berekend wordt, erg gevoelig is voor kleine veranderingen in de modelinstellingen en daarmee heeft deze indicator een relatief grote maat van onzekerheid. Bovendien is één van de problemen in de Grevelingen de achteruitgang in de bodemdierengemeenschap in de minder diepe delen van de Grevelingen. Het is onzeker of vermindering van het langdurig zuurstofarm areaal in de diepere delen van de Grevelingen ook gepaard gaat met verbetering van de zuurstofcondities in de ondiepere delen en daarmee met de leefomstandigheden voor bodemdieren. Het is daarom ook onzeker of de indicator voldoende ecologisch relevant is voor de toestand van de bodemdierengemeenschap.

Voor het Veerse Meer is eveneens de vraag wat de meest geschikte indicatoren zijn. De problematiek van zuurstofuitputting in de diepere delen van het Veerse Meer zou uitgedrukt kunnen worden met een, met de Grevelingen vergelijkbare, indicator voor het zuurstofloze areaal. Maar mogelijk is een eenvoudiger indicator robuuster.

In vervolgttoepassingen, als ook bodemdieren in de modellering worden meegenomen, zou mogelijk ook gebruik gemaakt kunnen worden van de berekeningen in het model van het energiebudget van mosselen (DEB) als indicatie voor de groeiomstandigheden.

Bij het project van de Grevelingen word er nu gefocust op twee indicatoren, a) zuurstofconcentratie bodem en b) biomassa benthos. Over de te gebruiken indicator voor het Veerse Meer hoeven op dit moment nog geen keuzes gemaakt te worden, dit kan in een latere fase. Voor nu is het voorstel zoveel mogelijk gebruik te maken van de ervaringen uit het project voor de Grevelingen.

Aanvullend is er een aantal indicatoren die meer inzicht kunnen geven in de achterliggende causale factoren en die opgewerkt kunnen worden uit modelvariabelen. Hierbij valt te denken aan indicatoren over de fysisch-chemische toestand (bijv. wintergemiddelde concentraties van opgelost anorganisch N en P), het fytoplankton (zomergemiddelde concentratie chlorofyl, primaire productie) en de organische belasting (BOD, concentraties POC/DOC).

5.3 Vooruitblik

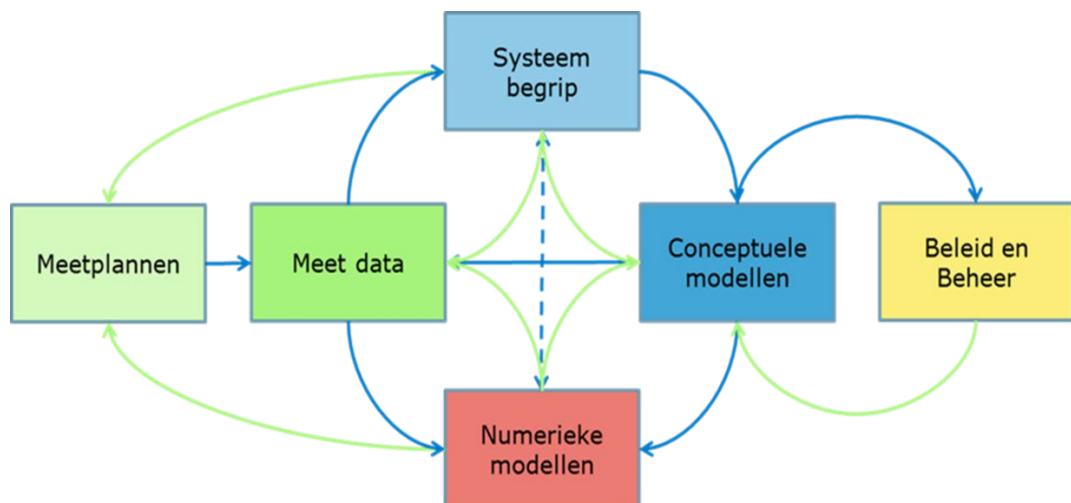
In het volgende hoofdstuk wordt de werkplanning beschreven voor de ontwikkeling van het waterkwaliteitsmodel in 2021, passend binnen het huidige project KPP BOA ZW Delta. Met dat waterkwaliteitsmodel wordt het instrument ontwikkeld waarmee basale kwantitatieve analyses van hydrodynamica en stofstromen gedaan kunnen worden, passend bij de hierboven genoemde 1^e en 2^e prioriteit.

In eerste instantie is de toepassing van het waterkwaliteitsmodel gericht op de jaren 2011/2012 waarvoor alle benodigde data inclusief het hydrodynamisch model beschikbaar zijn.

Voor een verklarende analyse van de gesignaleerde problemen als gevolg van zuurstofloosheid in het Veerse Meer die in de laatste jaren zijn opgetreden, is het noodzakelijk dat het model ook toegepast kan worden op (een selectie van) recentere jaren, waarbij we voorstellen vooral aandacht te besteden aan de jaren vanaf 2019 waarvoor de volledige raai TSO metingen beschikbaar is.

Daarnaast zijn er verschillende vragen geïdentificeerd in hoofdstukken 2-4 die hierboven tot 3^e prioriteit zijn gerekend. Dit betreft verschillende vragen rond ecologie en waterkwaliteit die aandacht behoeven. Een deel van die vragen heeft een relatie met de zuurstofproblematiek in het Veerse Meer, maar een deel van die vragen betreft ook zaken waar andere processen een rol kunnen spelen (zie ook Figuur 1.1).

Voor de systeemanalyse van het Veerse Meer is de ontwikkeling van het waterkwaliteitsmodel een belangrijke bouwsteen, maar zijn daarnaast ook analyses van meetdata nodig om in wisselwerking te kunnen komen tot een beter systeembegrip (Figuur 5.1). Daarbij is van belang dat er naast de reguliere monitoring verschillende aanvullende meetprogramma's zijn gestart. Als de eerste resultaten van het waterkwaliteitsmodel en van de aanvullende monitoring in het Veerse Meer beschikbaar zijn, is het daarom aan te bevelen opnieuw een afweging te maken van de prioriteiten en op basis daarvan keuzes te maken over het vervolg.



Figuur 5.1. Schema van de wisselwerking tussen meetdata, modellen en het ontwikkelen van systeemkennis ten behoeve van beleid en beheer.

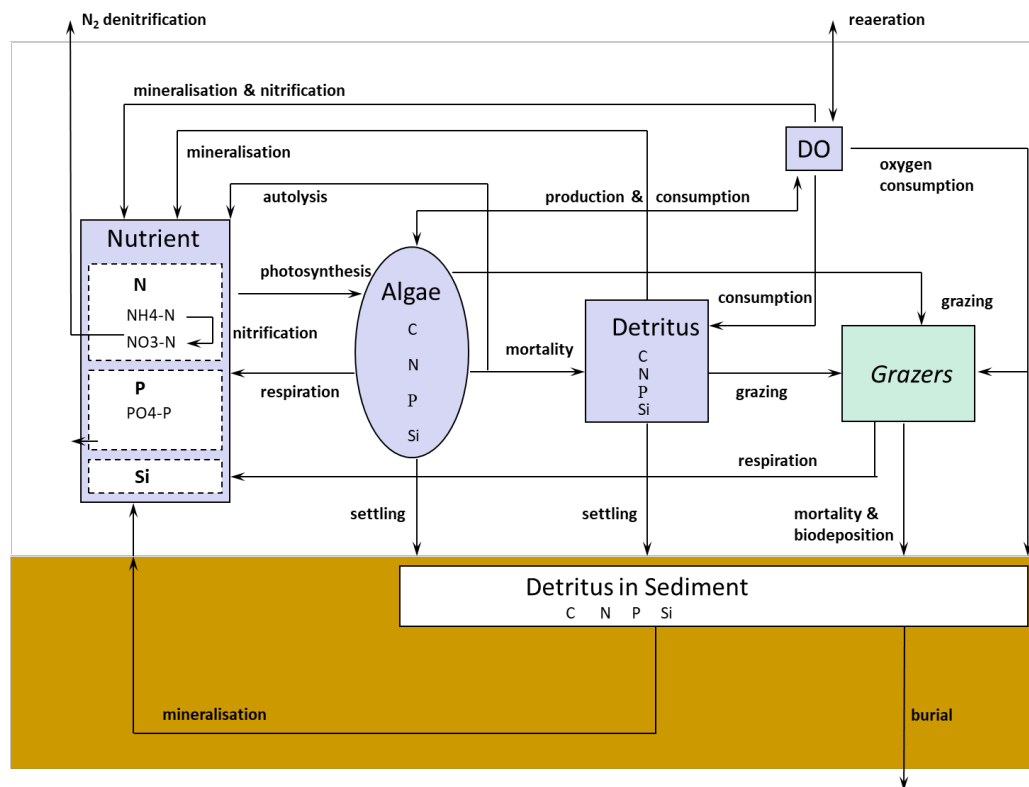
6 Werkplan 3D waterkwaliteitsmodel

6.1 Achtergrond modelontwikkeling

Al bijna twee decennia worden hydrodynamische- en waterkwaliteitsmodellen gebruikt voor studies ten behoeve van het beheer van Veerse Meer. De eerder opgezette modellen komen voort uit studies en analyses in aanloop naar het ontwerp en realisatie van het doorlaatmiddel Katse Heule (Kernkamp *et al.* 2002). In 2004 en 2006 is een onderzoek uitgevoerd met Delft3D modellen voor waterbeweging, waterkwaliteit en primaire productie om de waterkwaliteit en ecologie van het meer te verbeteren (Nolte *et al.* 2006). Dit was uitgevoerd met gebiedsmodellen die in de periode 2000-2003 zijn ontwikkeld en intussen sterk verouderd zijn en niet in beheer en onderhoud opgenomen.

In het kader van het opzetten van de nieuwe zesde-generatie modellen voor Rijkswaterstaat is nu een hydrodynamisch model (3D D-HYDRO-model) van het Veerse Meer ontwikkeld (van der Kaay & Kerkhoven 2021).

Voor het waterkwaliteitsmodel wordt gebruik gemaakt van de algemene opzet van de waterkwaliteitsmodellen van Deltares, zoals onder meer gebruikt in verschillende modelstudies voor de Noordzee (Figuur 6.1).



Figuur 6.1 Schema van de variabelen en processen die in het waterkwaliteitsmodel zijn opgenomen.

6.2 Werkplan 2021

In dit hoofdstuk wordt invulling gegeven aan de planning van de modelactiviteiten die worden voorzien in 2021 in het kader van KPP BOA ZW Delta. Deze invulling is gebaseerd op de prioritering in hoofdstuk 5 waarbij, rekening houdend met het beschikbare budget, niet alle vragen uit de voorgaande hoofdstukken meegenomen kunnen worden. De aanpak die in de

volgende paragrafen wordt beschreven richt zich op de prioriteiten 1 en 2 uit hoofdstuk 5, met een schatting van het benodigde budget en de tijdsplanning.

Dat betekent dat er voor nu gewerkt wordt aan het werkend krijgen van het gekoppelde hydrodynamisch/waterkwaliteitsmodel met de processen die minimaal nodig zijn om de zuurstofdynamiek goed te kunnen beschrijven.

6.3 Doelen modellering

Binnen het tijdsbestek en het budget van het huidige project voor KPP BOA ZW Delta is het niet mogelijk een volledig gekalibreerd waterkwaliteitsmodel voor het Veerse Meer op te leveren. Het project richt zich daarom op het opzetten van een eerste modelversie die gebaseerd is op de standaard generieke opzet voor waterkwaliteitsmodellen in zoute wateren (Figuur 6.1), met enige aanpassingen voor locatie-specifieke parameters indien voldoende data beschikbaar zijn om dat te doen. Het doel is om een waterkwaliteitsmodel op te zetten dat de basis biedt voor een analyse en waarmee verdere kalibratie en validatie uitgevoerd kan worden in latere vervolgstappen.

In §5.1 zijn de prioriteiten gegeven voor de stappen die nodig zijn om te komen tot een beter systeembegrip. Dit jaar zal in het kader van het huidige project (inclusief andere deelprojecten) gewerkt worden aan prioriteiten 1 en 2, die we als cruciaal beschouwen voor het komen tot een beter begrip van de problemen rond zuurstofloosheid:

- 1^e prioriteit
 - Modellering hydrodynamica
 - Kwantificeren van zoetwater en nutriëntenvrachten
 - Kwantificeren van transportprocessen in relatie tot zuurstof
- 2^e prioriteit
 - Modelering van zuurstofconcentraties
 - Modelering van het effect van watertemperatuur en zuurstofverbruik in de bodem
 - Modelering van primaire productie en fytoplankton biomassa
 - Modelering van concentraties van organisch materiaal in de waterkolom en bezinking van organisch materiaal naar de bodem
 - Eerste validatie van modelresultaten

Voor wat betreft de 1^e prioriteit: het hydrodynamisch model is gereed (van der Kaay & Kerkhoven 2021) en het opstellen van water- en stoffenbalans is in concept gereed (van der Heijden 2021).

6.4 Modelaanpak

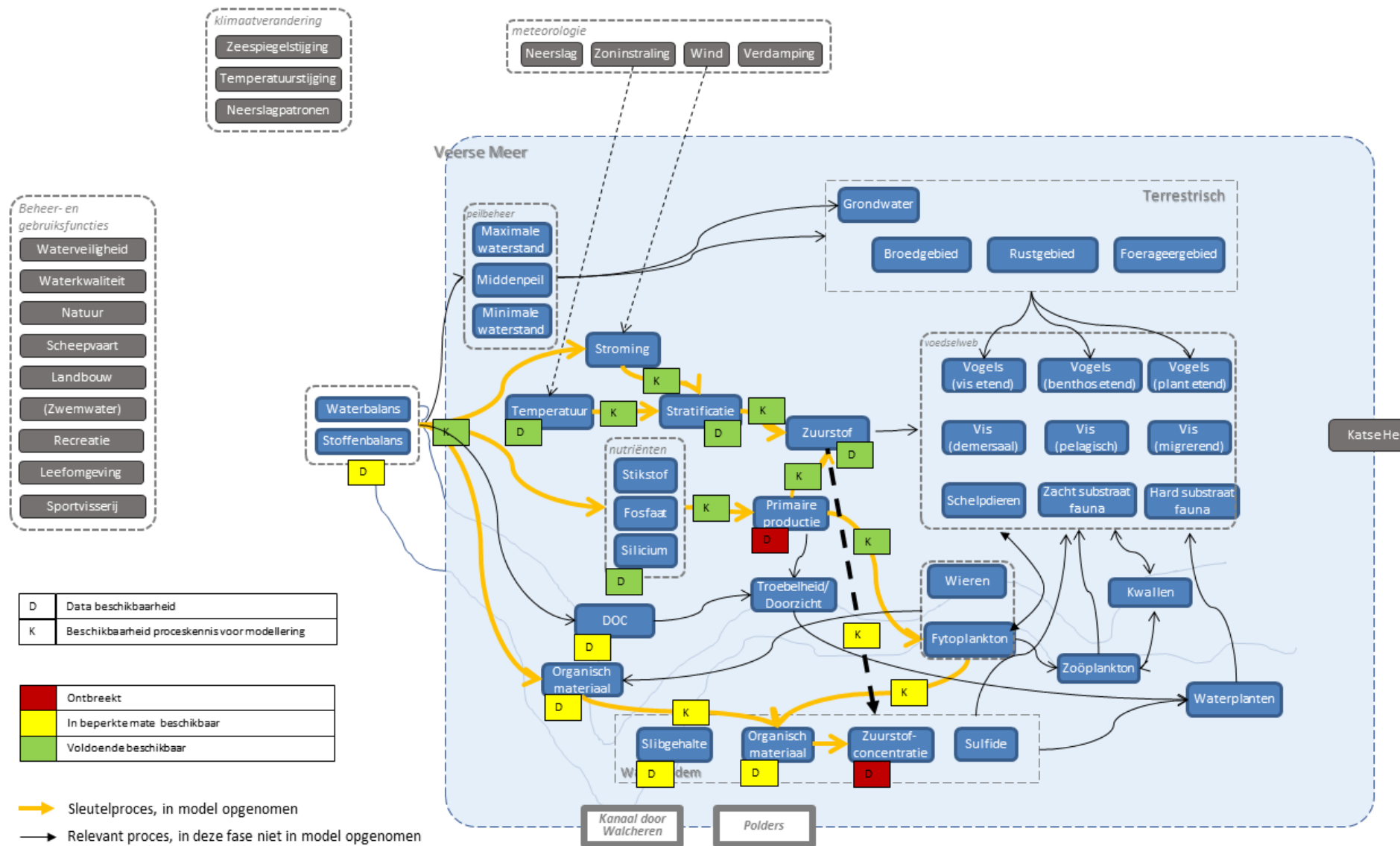
Hieronder wordt de modelaanpak beschreven. In lijn met het principe van “good modelling practice” wordt eerst het conceptuele model beschreven en vervolgens de werkwijze om te komen tot een numeriek 3D waterkwaliteitsmodel.

6.4.1 Conceptueel model

De eerste stap is het opzetten van een conceptueel model voor de processen die van belang zijn voor de waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer en de huidige problemen in het meer. Een eerste concept van het conceptuele model is besproken tijdens de kick-off op 16 februari 2021 met deelnemers van RWS WV, RWS ZD en Deltares. In hoofdstukken 2 t/m 4 worden de kennisvragen die op basis van die discussie zijn geïdentificeerd in meer detail besproken. Op basis daarvan zijn hypotheses geformuleerd en is het conceptueel model aangepast.

Het conceptueel model bevat de processen en onderdelen van het ecosysteem die het meest relevant worden geacht om te komen tot een beter systeembegrip en uiteindelijk zicht op mogelijke oplossingen. In het conceptueel model is aangegeven welke processen in het waterkwaliteitsmodel worden meegenomen (oranje pijlen). Ook is een inschatting gegeven van de mate waarin gegevens beschikbaar zijn en in welke mate we over voldoende kennis over de processen beschikken (Figuur 6.2).

In het conceptueel model zijn ook processen opgenomen die niet in het waterkwaliteitsmodel zijn opgenomen; zoals aangegeven in §5.1 betreft dit vragen die als 3^e prioriteit zijn genoemd waarvan beantwoording in eerste instantie beter via analyse van monitoringgegevens gedaan kan worden.



Figuur 6.2 Conceptueel model van het Veerse Meer.

6.4.2 Numerieke modellen

Het doel van het ontwikkelen van het waterkwaliteitsmodel is om tot een beter begrip te komen van de processen die leiden tot periodes met zuurstofloosheid en bijbehorende effecten zoals vissterfte. Bij het ontstaan van zuurstofloosheid spelen twee processen een rol: 1) onvoldoende bijmenging in de diepere waterlagen van zuurstofrijk water uit de hogere delen van de waterkolom en 2) toegenomen zuurstofvraag, die het gevolg kan zijn van hoge concentraties van organisch materiaal in de waterkolom of in de bodem en/of extra aanvoer van organisch materiaal door algenbloeien. Het waterkwaliteitsmodel moet daarom zo opgezet zijn dat het inzicht geeft in 1) de fysische transportprocessen zoals horizontale en verticale menging en stratificatie en 2) de dynamische processen van zuurstofproductie door algen, zuurstofconsumptie door afbraakprocessen in waterkolom en bodem en zuurstofuitwisseling met de atmosfeer.

6.4.2.1 Het huidige 3D hydrodynamische model

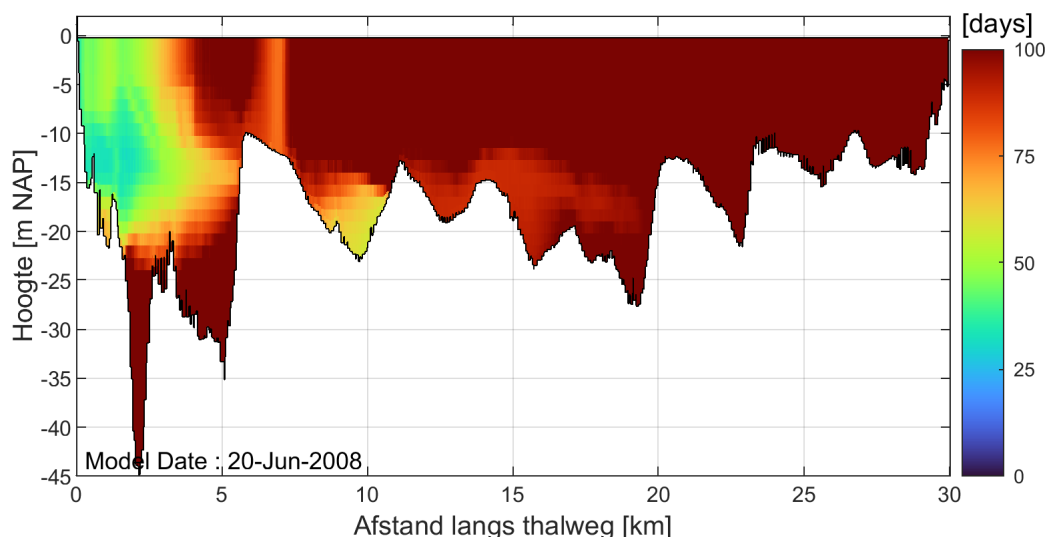
In een eerdere fase is het huidige hydrodynamisch model voor het Veerse Meer ontwikkeld. Dit model geeft nauwkeurige berekeningen van de waterstanden en het 3-dimensionaal transport in het Veerse Meer (3D D-HYDRO Veerse Meer; van der Kaay & Kerkhoven 2021). De analyse in het rapport over het hydrodynamisch model liet zien dat een gedetailleerd 3D model met verticale waterlagen van 0,5 m dikte nodig is, om accuraat de verticale profielen van temperatuur en saliniteit te beschrijven. Dit is een gedetailleerdere verticale resolutie dan in eerdere modellen is gebruikt, zoals in de toepassing voor de Grevelingen. Dit betekent ook dat de rekentijd van het model langer is.

Het ontwikkelde hydrodynamische model zoals het nu is, zal gebruikt worden om het 3D waterkwaliteitsmodel op te zetten. Indien uit de kalibratie van het waterkwaliteitsmodel blijkt dat het toch nodig is om aanpassingen in de hydrodynamische modellering te doen, dan is daar binnen het huidige budget zeer beperkt ruimte voor.

6.4.2.2 Berekeningen van transport en verblijftijden met behulp van het 3D hydrodynamisch model

Door tracers van de verschillende bronnen toe te voegen aan het hydrodynamische model kunnen de belangrijkste transportpatronen zichtbaar gemaakt worden. Daarmee kan ook de relatieve bijdrage van de toevoer van Oosterschelde-water via de Katse Heule en de bijdrage van de verschillende gemalen berekend worden.

Met een relatief simpel model kan informatie over verblijftijden en verversing van het water berekend worden. Dit kan ook helpen om de gebieden te identificeren waar de kans het grootste is op uitputting van zuurstofconcentraties als gevolg van onvoldoende fysische menging van het water. Deze methode is al toegepast in de Grevelingen (zie figuur 6.3 voor een voorbeeld).



Figuur 6.3 Dwarsdoorsnede van het Grevelingenmeer met de "leeftijd" van het water op ieder punt van het model. De Brouwersdam sluis is links, de Grevelingendam is rechts.

6.4.2.3 3D waterkwaliteitsmodel

De zuurstofbalans in het Veerse Meer wordt niet alleen bepaald door de hydrodynamica, maar ook door de combinatie van biologische/chemische processen die samenhangen met zuurstofproductie door algen, afbraak van organisch materiaal en respiratie door bacteriën, flora en fauna.

Om die processen goed in beeld te hebben, stellen we daarom voor het waterkwaliteitsmodel te baseren op de generieke opzet die door Deltares wordt gebruikt (Figuur 6.1), met de standaard variabelen en processen die gebruikt worden om de dynamiek in zuurstofconcentraties te beschrijven, zowel als gevolg van seizoensveranderingen als de dynamiek onder invloed van 'events' die meer op korte termijn optreden. Het model omvat de processen die de nutriëntenkringloop beschrijven, de groei en sterfte van fytoplankton en de uitwisseling van nutriënten en zuurstof tussen de waterkolom en de bodem.

Stoffen en processen

In dit project sluiten we aan op de opzet die gebruikt is in Noordzee-projecten waarbij het waterkwaliteitsmodel is ingezet voor MER Zandwinning en Wind op Zee (Wozep). De stoffen en processen die gemodelleerd zullen worden behoren tot de standaard set die gebruikt worden in de modellen voor zoute wateren. De standaardlijst van variabelen die gebruikt worden, is beschreven in Tabel 6.1.

Mogelijk wordt in latere versies voor het Veerse Meer gekozen voor aanpassing van de te modelleren variabelen en processen, als dat nodig blijkt voor het doel van de modeltoepassing. Die keus wordt gemaakt indien 1) een proces ontbreekt dat van groot belang is in het Veerse Meer, 2) een proces geen rol speelt in het Veerse Meer en rekentijd bespaard kan worden door dit proces niet mee te nemen, 3) een proces minder belangrijk is in het Veerse Meer en data en kennis ontbreken om het proces goed te kunnen beschrijven. Een voorbeeld is de filtratie van fytoplankton door schelpdieren als oesters en mosselen. In deze fase van het project wordt deze niet gemodelleerd, ook omdat het ontbreekt aan betrouwbare schattingen van de biomassa van deze soorten in het Veerse Meer.

Tabel 6.1 Variabelen in het waterkwaliteitsmodel voor het Veerse Meer

Variabele	Naam
OXY	Dissolved oxygen [mg/l]
NH4, NO3, PO4, Si, Opal	Ammonium, nitrate, ortho-phosphate, dissolved silica, and opal silica [mg/l]
POC1, PON1, POP1	Particulate organic carbon, nitrogen, and phosphorus in the substrate [mg/l]
DINOFLAG_N, DINOFLAG_E, DINOFLAG_P	Dinoflagellates of the nitrogen, energy, and phosphorus limited types [mg/l]
MDIATOMS_N, MDIATOMS_E, MDIATOMS_P	Marine diatoms of the nitrogen, energy, and phosphorus limited types [mg/l]
MFLAGELA_N, MFLAGELA_E, MFLAGELA_P	Marine flagellates of the nitrogen, energy, and phosphorus limited types [mg/l]
PHAEOCYS_N, PHAEOCYS_E, PHAEOCYS_P	Phaeocystis of the nitrogen, energy, and phosphorus limited types [mg/l]
DetCS1, DetNS1, DetPS1, DetSIS1	Detritus carbon, nitrogen, phosphorus and silica in the substrate [g/m ²]

Bronnen van nutriënten en organisch materiaal

Er zijn verschillende bronnen die van invloed zijn op de aanvoer van nutriënten en organisch materiaal naar het Veerse Meer. Voor het model, en voor het begrip van het watersysteem, is het noodzakelijk dat die bronnen gekwantificeerd worden. De volgende bronnen worden onderzocht en zoveel mogelijk gekwantificeerd, gebaseerd op beschikbare meetgegevens:

- Vrachten van zoetwater via poldergemalen en vrachten van nutriënten en organisch materiaal via deze poldergemalen en de sluis bij Veere.
- Toevoer vanuit de Oosterschelde, via de Katse Heule van zout water, slib, nutriënten en organisch materiaal
- Atmosferische depositie van stikstof

In een apart deelproject is gewerkt aan het verzamelen van gegevens en opstellen van een water- en nutriëntenbalans voor het Veerse Meer. In dit deelproject zijn de vrachten die hierboven genoemd worden, zoveel mogelijk gekwantificeerd voor de jaren 2011-2020 (van der Heijden 2021). Die gegevens zullen gebruikt worden als invoergegevens voor het waterkwaliteitsmodel.

Welke Jaren in de eerste modelsimulaties

Het model heeft een relatief lange rekentijd, zodat het niet mogelijk is om een lange reeks van jaren door te rekenen in het tijdsbestek van het huidige project. Daarom wordt een keuze gemaakt voor een selectie van jaren, die het in ieder geval mogelijk maken om het model, de software en de instellingen van de modelparameters te testen en de resultaten te analyseren. Omdat het 3D hydrodynamische model is toegepast op de jaren 2011 en 2012, is het de meest logische keuze om ook het waterkwaliteitsmodel voor die jaren te draaien. Met die keuze zijn we er zeker van dat er een gevalideerd hydrodynamisch model wordt toegepast, en kunnen de resultaten van het waterkwaliteitsmodel worden vergeleken met de beschikbare meetgegevens over die jaren.

In een latere fase kan het model dan toegepast worden op de meer recente jaren (2018-2020) waarin de zuurstofuitputting tot problemen als vissterfte hebben geleid. Voor die toepassing zal ook het hydrodynamisch model gevalideerd moeten worden voor die jaren. Deze toepassing voor 2018-2020 past niet binnen het nu beschikbare budget.

6.4.2.4 Benodigde data

Het overzicht van de data die nodig zijn voor de modeltoepassing wordt hieronder gegeven:

Onderwerp	Opleverdatum		Huidige status
Afvoeren en nutriëntenconcentraties van poldergemalen	30-06-2021	RWS (Alexander Nefs)	Ontvangen voor periode 2011-2020; verwerking door Luuk van der Heijden
Waterbalans berekeningen voor Zandkreek-sluis en Katse Heule	30-06-2021	RWS (Alexander Nefs)	Ontvangen voor periode 2011-2020; verwerking door Luuk van der Heijden
Meetgegevens waterkwaliteit Oosterschelde 2010-2020	30-06-2021	Deltares	Beschikbaar vanuit MWTL
Meetgegevens waterkwaliteit Veerse Meer 2010-2020	30-06-2021	Deltares	Beschikbaar vanuit MWTL en aanvullende meetprogramma's Veerse Meer

6.5 Planning

Voor de modelontwikkeling worden de volgende activiteiten voorzien:

- Verdere verfijning van het conceptueel model waar nodig
- Tracer berekeningen en bepaling van verblijftijden van het water met het hydrodynamisch model
- Opzetten en testen van het waterkwaliteitsmodel, inclusief verzamelen van benodigde data
- Vergelijken van modelresultaten met data en eerste kalibratie
- Rapportage over modelresultaten en aanbevelingen voor vervolgstappen

Het conceptuele model zoals in dit rapport beschreven, wordt voorlopig als uitgangspunt gebruikt. Het model wordt aangepast op het moment dat modelresultaten of gegevens uit monitoring aanleiding geven tot verdere aanscherping.

Het opzetten van het waterkwaliteitsmodel is gestart, eerste modelresultaten komen medio juli beschikbaar. Rapportage is gepland voor medio september.

6.5.1 Planning

Datum	Resultaat	Verantwoordelijke
30-06-2021	Gegevens water- en stoffenbalans beschikbaar	Deltares (Luuk van der Heijden)
27-08-2021	Eerste conceptrapport resultaten waterkwaliteitsmodel	Deltares (Lora Buckman/Theo Prins)
15-09-2021	Eindconcept waterkwaliteitsmodel	Deltares (Lora Buckman/Theo Prins)

7 Literatuur

- Houtekamer, N. and O. van Kleef (2021). Verslag kennissessie ontwikkeling waterkwaliteit en ecologie Veerse Meer Houtekamer & Van Kleef, 13 oktober 2020.
- lenW (2016). Natura 2000 Beheerplan 2016-2022 Veerse Meer Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, juni 2016.
- Kernkamp, H.W.J., G. Boot and A.J. Nolte (2002). Onderzoek naar de toekomstige waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer; Studie naar het effect van het Doorlaatmiddel en aanvullende maatregelen; Deel 1: Opzet en kalibratie hydrodynamisch en waterkwaliteitsmodel. Delft, WL | Delft Hydraulics.
- Nolte, A.J., L. Arentz and M. Haasnoot (2006). Studie naar het effect van verschillende peilalternatieven op de waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer. Delft, WL|Delft Hydraulics.
- Prins, T.C. and S.A. Vergouwen, Eds. (2015). *Bekkenrapport Veerse Meer 2000-2014*. Delft, Deltares.
- van der Heijden, L. (2021). Water- en stoffenbalans Veerse Meer 2011-2020 - concept. Delft, Deltares.
- van der Kaay, T. and D. Kerkhoven (2021). Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie 3D D-HYDRO Veerse Meer (concept). Delft, Deltares, Rapport nr 11206814-000-ZKS-0001.
- van der Mast, R. and G. Eg (2021). Stille dood van het Veerse meer. Veenendaal, Nederlandse Onderwatersport Bond, 22 maart 2021.
- van Gijzen, L. (2021). Hypothesen voor de visserij in het Veerse Meer. concept rapport.

A Kaarten Veerse Meer



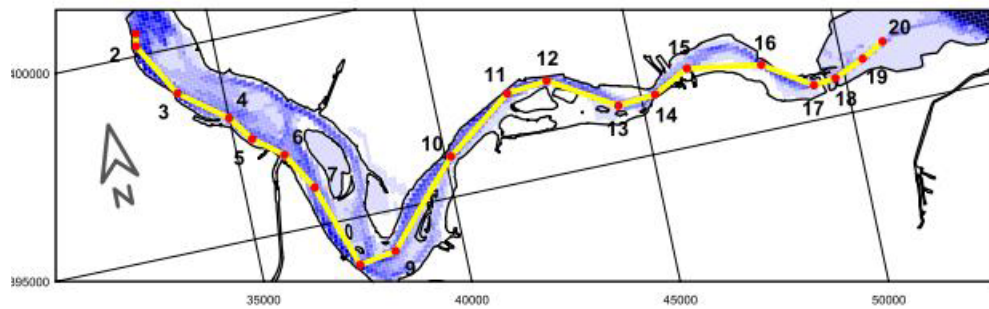
Figuur A.1. Veerse Meer met ligging van poldergemalen, sluisen en doorlaatmiddel.



Figuur A.2. Platen en oevergebieden Veerse Meer



Figuur A.3. Locatie van MWTL meetlocatie Soelekerkepolder Oost en meetpalen




Figuur A.4. Meetlocaties TSO metingen

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

Signature: 

Email: toon.segeren@deltares.nl