



NOTITIE

Rijkswaterstaat Zee & Delta
P. Paulus
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

DATUM: 2 sept 2019
ONS KENMERK: 19.03894
UW KENMERK: 4300028242
AUTEUR: Helga van der Jagt
PROJECTLEIDER: dr. Edwin Kardinaal
STATUS: eindrapportage

Update statusbeschrijving Grevelingenmeer

Het Grevelingenmeer is een groot zoutwatermeer dat door de afsluiting van de verbinding met de Noordzee geen getij meer heeft. Door het wegvallen van dynamiek is het ecosysteem sinds de afsluiting in 1971 sterk veranderd. Sindsdien is onder andere de stikstofconcentratie sterk verminderd, waardoor algenconcentraties laag blijven. Echter treedt in de diepere delen van het stilstaande meer zuurstofloosheid op door stratificatie van de waterkolom. Dit is schadelijk voor macrofauna en vissen, waardoor de biodiversiteit onder druk staat. Daarom wordt momenteel gewerkt aan het project Getij Grevelingen, waarbij via een doorlaat in de Brouwersdam de mogelijkheid wordt gecreëerd om beperkt getij terug te brengen in het Grevelingenmeer. De verwachting is dat hierdoor zuurstofloosheid zal verminderen, wat ten goede komt aan de ecologische waterkwaliteit.

In Nederland wordt de waterkwaliteit van oppervlaktewateren getoetst en beoordeeld aan de hand van de Kaderrichtlijn Water (KRW). Binnen de KRW zijn maatlatten uitgewerkt voor verschillende watertypen. Het Grevelingenmeer is een M32-watertype, wat diepe wateren zonder getij met zout of sterk brak water zijn. Behalve het Grevelingenmeer vallen ook het Veerse Meer en het Noordzeekanaal hieronder. M32-watertypen worden beoordeeld op fysisch-chemische parameters, fytoplankton, macrofauna, vis en overige waterflora. Fysisch-chemische parameters zijn temperatuur, zuurstofhuishouding, zoutgehalte, zuurgraad, nutriënten en doorzicht. Per parameter zijn grenswaarden bepaald voor de categorieën "zeer goed", "goed", "matig", "ontoereikend" en "slecht". Biologische maatlatten zijn opgebouwd uit meerdere parameters en worden berekend aan de hand van ratio's, de Ecologische Kwaliteit Ratio (EKR), die een waarde aan kan nemen tussen 0 en 1. Zo bestaat de maatlat voor fytoplankton uit chlorofyl-a en bloeifrequentie van *Phaeocystis*, de maatlat voor macrofauna uit soortenrijkdom, diversiteit en vervuilingsindicatoren, en de maatlat voor vis uit de soortenrijkdom en biomassa van zes visgildes. De maatlat voor overige waterflora bestaat uit zeegras.

In deze notitie is een overzicht gemaakt van de huidige status van het Grevelingenmeer aan de hand van de KRW maatlatten, waarbij de meest recente meetgegevens en analyseresultaten van Deltares en Wageningen Marine Research zijn gebruikt. Tevens wordt een doorkijk gegeven naar de autonome ontwikkeling en ontwikkeling bij introductie van beperkt getij.

Methode

Fysisch-chemische parameters, chlorofyl-a concentraties en bloeifrequentie van *Phaeocystis* zijn aangeleverd door Deltares (verkregen via waterinfo.rws.nl). Voor trendbeschrijvingen is gebruikt gemaakt van de grafieken in de conceptrapportage Grevelingen Systeemrapportage (08-04-2019). Voor het beoordelen van de KRW maatlatten is gebruik gemaakt van de gegevens van de drie meetpalen bij Dreischor, Herkingen, en Scharendijke. Deze dataset liep tot juli 2018, dus waar mogelijk zijn de data voor 2018 gebruikt. De score voor macrofauna is overgenomen uit de MWTL rapportage (Verduin *et al.* 2018) en is bediscussieerd mede gebruikmakend van aangeleverde resultaten van Wageningen Marine Research. Voor trendbeschrijvingen van macrobenthos is gebruik gemaakt van het rapport Mulder *et al.* 2019. Vis is beoordeeld op basis van de al berekende EKR-waardes uit het rapport van Hop & Vriese (2017) en middels data beschikbaar gesteld vanuit RWS.

Resultaten

Fysisch-chemische status

De fysisch-chemische status wordt volgens de KRW beoordeeld als “goed”.

In 2018 was de watertemperatuur gemiddeld 15°C. De hoogst gemeten watertemperatuur was 22°C, wat binnen KRW als “goed” wordt beoordeeld. Sinds de jaren tachtig is er een lichte stijging van de maximale temperatuur waarneembaar, wat zou kunnen leiden tot sterkere stratificatie en lagere zuurstofconcentraties. De zuurgraad van het oppervlaktewater varieerde in 2018 tussen de 8,0 en 8,5. Ook dit valt binnen de waarden voor een goede toestand (6,5-9,0). Sinds de jaren tachtig lijkt er geen ontwikkeling te zijn in de pH. De zoutconcentratie in het Grevelingenmeer in 2018 was tussen de 14,6 en 19,0 g Cl/L, wat wordt beoordeeld als “zeer goed” volgens de KRW-maatlat. Sinds de jaren tachtig is geen duidelijke ontwikkeling zichtbaar in zoutconcentraties.

Opgelost anorganisch stikstofconcentraties (DIN) zijn sinds de jaren tachtig gehalveerd van jaargemiddeldes van 0,30 mg/L naar 0,15 mg/L in 2017. In de winter zijn deze concentraties hoog door afbraakprocessen en het mixen van de waterkolom, in de zomer zijn de concentraties laag omdat fytoplankton DIN opneemt voor groei. Binnen de M32-maatlat wordt enkel de winterconcentratie beoordeeld. In 2017 was de gemiddelde winterconcentratie 0,31 mg/L, wat binnen de KRW wordt beoordeeld als goede ecologische toestand. Opgelost anorganisch fosfor (DIP) wordt niet beoordeeld binnen de KRW, maar is een belangrijke parameter voor fytoplankton en planten. Jaargemiddelde fosfaatconcentraties (PO_4^{3-}) zijn sinds de jaren tachtig afgenomen van 0,5 mg/L naar 0,05 mg/L in 2017. In de afgelopen tien jaar lijkt de concentratie weer wat te stijgen. De stijging

kan worden veroorzaakt door het vrijkomen van fosfaat uit de bodem. In het geval van zuurstofloze omstandigheden kan fosfaat uit de bodem nageleverd worden. Na het opheffen van de stratificatie kan het fosfor vervolgens door het mixen van de waterkolom over de hele waterkolom verspreid raken.

De verhouding tussen DIN en DIP is een indicator voor nutriëntenlimitatie bij fytoplankton. Optimale fytoplanktongroei vindt plaats bij een molaire DIN:DIP verhouding van 16:1, bekend als de Redfield ratio. Bij een ratio lager dan Redfield is er sprake van stikstoflimitatie, bij een ratio hoger dan Redfield is er sprake van fosfaatlimitatie. In 2017 was de DIN:DIP ratio tussen de 3,9 en 15. Dit betekent dat er sprake was van stikstoflimitatie in het Grevelingenmeer. Dit is een gevolg van de sterke afname van stikstofconcentraties sinds de jaren tachtig, terwijl fosfaatconcentraties in mindere mate zijn afgenomen.

De zuurstofhuishouding wordt binnen de KRW beoordeeld aan de hand van de zuurstofverzadiging gemeten aan het wateroppervlak. Zuurstofconcentraties in het oppervlaktewater bleven in 2018 tussen de 80-120%, en worden dus beoordeeld als goed. De laagste gemeten zuurstofverzadiging was 81% op 1 juli 2018 bij Herkingen. Zuurstofconcentraties aan de oppervlakte zijn meestal niet limiterend voor het ecosysteem. Problematisch voor macrofauna en vissen zijn zuurstofloze periodes bij de bodem. Dit wordt echter niet meegenomen in de KRW beoordeling. Bij concentraties lager dan 3 mg/L sterven vissen, en overleven schelpdieren als oesters en mosselen maximaal een paar dagen. In 2018 leken lage bodemzuurstofconcentraties vooral een rol te spelen in het oostelijk gedeelte van de Grevelingen, waar in juli de grens van 3 mg/L tot op 10 m diepte kwam (Grevelingen Systeemrapportage 2019). Er lijkt echter geen trend te zijn in het zuurstofloos areaal in de afgelopen tien jaar (Grevelingen Systeemrapportage 2019; Willem Stolte, pers. comm). Wel is er jaarlijks sprake van optredende zuurstofloosheid in de zomermaanden die per jaar en per maand kan verschillen. In juni 2016 was het zuurstofloos areaal het grootst in de afgelopen tien jaar (~2000 ha, ~18% van het totaal areaal), in 2017 en 2018 was het maximum zuurstofloos areaal kleiner (respectievelijk ~1000 ha en ~500 ha). Met name dit grote zuurstofloze areaal in 2016 kan mogelijk een sterk effect gehad hebben op de macrofaunagemeenschappen in het Grevelingenmeer.

Het doorzicht, bepaald aan de hand van de Secchi schijf, was in 2018 tussen de 1,4 en 3,2 m. Ook dit valt binnen de KRW richtlijnen onder de categorie "goed". Wel is het doorzicht sinds 1990 afgenomen van 5,0 meter naar 1,4-3,2 m in 2018. Het is onduidelijk hoe dit komt, er lijkt geen link te zijn met veranderend spui-beheer, fytoplankton of zwevend stof.

Fytoplankton

De kwaliteit van fytoplankton wordt bepaald aan de hand van de concentratie chlorofyl-a en de bloeifrequentie van *Phaeocystis*. *Phaeocystis* is een eencellige alg die kolonies kan vormen, en komt voor in voedingsrijke zoute wateren. Door hoge nutriëntenconcentraties komt *Phaeocystis* in grote hoeveelheden voor op de Noordzee, en kan via de spuuisluizen van de Brouwersdam het Grevelingenmeer binnenkomen. In deze min of meer stagnante waterkolom kunnen de kolonies zich niet handhaven, waardoor ze naar de bodem zinken

en een mat van organisch materiaal op de bodem creëren. Wanneer de kolonies worden afgebroken, zorgt dit voor een verhoogd zuurstofgebruik op de bodem. Als er tegelijkertijd sprake is van stratificatie, kan zuurstofloosheid eerder of in grotere mate optreden.

Het 90-percentiel voor de chlorofyl-a concentratie lag in 2018 op 7,6 µg/L. De beschikbare meetreeks van 2018 loopt echter tot eind juli in plaats van eind september, waardoor het uiteindelijke 90-percentiel mogelijk hoger heeft gelegen. In 2017 was de waarde voor chlorofyl-a 9,7 µg/L. Voor beide jaren geldt dat dit binnen de klassengrens van ≤ 12 µg/L voor zeer goede ecologische toestand ligt. De berekende EKR score is 0,91. Sinds 2010 is er na een initiële daling weer een lichte stijging waarneembaar in de chlorofylconcentratie.

De *Phaeocystis* concentratie is in 2005 flink toegenomen naar 10 µg C/L, maar is sindsdien weer gedaald naar ~1 µg C/L. Deze fytoplankton groep nam tussen 1990 en 1995 sterk toe, en is sindsdien weer afgenomen. In 2017 was de enige geobserveerde *Phaeocystis* dichtheid $3,0 \cdot 10^3$ cellen/L. Dit is lager dan de concentratie waarbij er sprake is van een bloei, namelijk $>10^6$ cellen/L. In 2017 heeft dus geen *Phaeocystis* bloei plaatsgevonden, en komt de EKR score uit op 1,0. Omdat de EKR score voor chlorofyl-a lager is dan die van *Phaeocystis*, is de eindscore van fytoplankton 0,91.

Overige waterflora

De kwaliteit van overige waterflora wordt bepaald aan de hand van het areaal zeegras. Zeegrasvelden vormen een belangrijke bron van voedsel, substraat en beschutting voor allerlei organismen. Zeegras heeft enige mate van zoet water nodig, omdat hoge zoutconcentraties de zaadproductie, kieming en vestiging remmen. Voor de afsluiting van de Brouwersdam was het areaal zeegras ongeveer 1200 ha, en kwam zowel groot als klein zeegras voor. Na de afsluiting groeide het areaal uit tot 4400 ha in 1978, waarbij het klein zeegras verdween door gebrek aan getij en groot zeegras overbleef. In de jaren tachtig was er een terugval en vervolgens herstel in het areaal zeegras, maar in de jaren negentig nam het areaal drastisch af, tot in 2000 werd geconcludeerd dat er geen zeegras meer was in het Grevelingenmeer. Deze situatie is tot op heden voor zover bekend onveranderd, waardoor de kwaliteit van overige flora in het Grevelingenmeer wordt beoordeeld als “slecht”.

Macrofauna

De toestand van macrofauna in het Grevelingenmeer is tot 2013 beoordeeld als “matig”. Dit kwam met name door de afname in biodiversiteit en biomassa. Tussen 1992 en 2008 is er een afname in biomassa geweest, in 2013 was er weer een lichte toename waarneembaar. In 2016 was de EKR score voor macrofauna 0,60 (Verduin *et al.* 2018), wat wordt beoordeeld als “goed”. Dit is de hoogste EKR score voor macrofauna tot nu toe, en komt met name door een hogere soortenrijkdom en een hogere diversiteit (Shannon index). De hogere gemeten soortenrijkdom is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat op meer locaties Japanse oesters zijn aangetroffen, die zorgen voor aanwezigheid van hard substraat-soorten die zich op de riffen vestigen (bv. zakpijpen, sponzen, mosdiertjes, anemonensoorten). Hierdoor is de biodiversiteit op een locatie hoger (Verduin *et al.* 2018). Een andere verklaring die tot een hogere biodiversiteit leidt is dat de bodemdieren

uit de bemonstering tot op lagere taxonomische niveaus zijn gedetermineerd. In 2016 zijn twee keer zoveel soorten waargenomen als in 2013, terwijl dit in voorgaande jaren constant bleef (Verduin *et al.* 2018; Mulder *et al.* 2019). Ook zijn er in 2016 meer exoten waargenomen. Daarnaast is een aantal dominante soorten, zoals het muiltje, sterk in dichtheid en biomassa afgenomen. Hierdoor is de biomassa evenrediger verdeeld over de soortenrijkdom en wordt de Shannon index hoger. Er is echter een sterke afname in totale dichtheid en biomassa sinds 1993, wat een aanwijzing is voor een verslechtering van de condities voor macrofauna. Om deze redenen is de maatlatscore van macrofauna als “goed” mogelijk een overschatting.

In 2016 was er een afname in totale dichtheid en biomassa, met name veroorzaakt door een verminderde dominantie van weekdieren. Het muiltje (*Crepidula fornicata*) is sinds de jaren negentig zowel in aantallen als biomassa sterk afgenomen, van een biomassa aandeel van 64% in 1993 naar 28% in 2016. Daarnaast is de Japanse oester (*Magallana gigas*) in aantallen en biomassa toegenomen van 0% in 1993 naar 12% van de totale biomassa in 2016. Japanse oesters creëren een habitatmix van hard en zacht substraat, waardoor de biodiversiteit in deze gebieden relatief hoog is. Het Grevelingenmeer is gevoelig voor exoten, zoals de nu vrij algemene soorten muiltje, Japanse oester, Californische kokerworm en penseelkrab. Door de afname in dichtheid en biomassa van een aantal dominante soorten, de toename van de Japanse oester, en de aanwezigheid van nieuwe exoten, is er in 2016 een toename van biodiversiteit.

In het Grevelingenmeer lijkt een optimum diepte te zijn voor macrofauna tussen de 4 en 6 m. Als de waterdiepte minder dan 2 m is, wordt de biomassa en dichtheid waarschijnlijk gelimiteerd door hydrodynamiek, zoals golven en wind. Als de waterdiepte meer dan 10 m is, wordt het voorkomen van macrofauna mogelijk gelimiteerd door temperatuursstratificatie en de zuurstofloosheid als gevolg daarvan (Mulder *et al.* 2019).

Vis

De visstand in de Grevelingen is beoordeeld aan de hand van data uit 2017. De EKR score is met 0,44 “matig” (Hop & Vriese 2017). Dit komt met name vanwege het feit dat chloridetolerante zoetwatersoorten (visgildes Z1 en Z2) afwezig zijn. Dit zijn zoetwatersoorten die kunnen overleven in gebieden met zoutgehaltes tot 8 g Cl/L. Omdat de saliniteit van het Grevelingenmeer hoger is (14,6-19,0 g Cl/L), is het voor deze soorten waarschijnlijk onmogelijk om hier te overleven. Daarnaast is binnen het visgilde “diadrome soort zoute wateren” (CA) in 2017 slechts één soort aanwezig, namelijk de driedoornige stekelbaars (*Gasterosteus aculeatus*), diens biomassa was slechts 0,01% van de totale biomassa. Diadrome soorten migreren tussen zee en rivier, en gebruiken estuaria als trekroute. Soorten uit het gilde estuariene residente soorten (ER) dragen in totaal 50% bij aan de totale biomassa, waarbij het dikkopje (*Pomatoschistus minutus*) de hoogste biomassa had binnen dit gilde. Estuariene soorten kunnen hun gehele levenscyclus in estuaria doorlopen. Er zijn in 2017 in totaal 8 estuariene soorten gevonden waardoor zowel het aantal soorten als de biomassa van estuariene soorten als “goed” wordt beoordeeld. Mariene juvenielen (gilde MJ) zijn mariene soorten waarvan de jonge exemplaren kunnen opgroeien in estuaria. Mariene seizoensgasten (gilde MS) zijn mariene soorten die in een vast seizoen een estuarium bezoeken. Deze twee gildes

worden bij M32 samengevoegd. De soortenrijkdom binnen deze gildes was met 7 soorten matig, maar de biomassa was hoog. Dit kwam met name door de hoge biomassa van haring. Ten opzichte van 2013 is de vis-EKR score wel iets verhoogd (0,43), maar door het ontbreken van een langere tijdsreeks (data van 2008, 2011, 2013 en 2017) is onduidelijk of de situatie structureel verbetert.

In 2017 was de omvang van de visstand tussen de 2,9 en $5,0 \cdot 10^3$ individuen per hectare, en tussen de 14 en 16 kg/ha (Hop & Vriese 2017). Dit zijn redelijke aantallen, maar lage biomassa, doordat het visbestand voornamelijk uit kleine vis bestond. De dominante vissoorten waren sprot en haring, die samen 98% van de visstand op aantallen vormen. Hoogste aantallen werden in het westen aangetroffen, laagste aantallen in het oosten. Bij de Brouwerssluis was de visstand het hoogst (370 kg/ha, $60,0 \cdot 10^3$ ind/ha in het najaar). In het oostelijke deel van het Grevelingenmeer was de visstand bij de Flakkeese spuisluis relatief omvangrijk voor het oostelijk gebied (18 kg/ha, $3,0 \cdot 10^3$ ind/ha). Dit is een indicatie voor de positieve effecten van uitwisseling met andere waterlichamen op de visstand.

Conclusie

De KRW status van het Grevelingenmeer in 2018 is sinds de laatste beschrijving in 2013 weinig veranderd (Tabel 1). De fysisch-chemische en fytoplankton maatlatten voldoen, maar de maatlat voor vis is nog steeds matig. De toestand van macrofauna wordt voor het eerst beoordeeld als “goed”, maar dat is mogelijk een overschatting omwille van verandering in het taxonomisch niveau waarop gedetermineerd is en de toename van het aantal exoten. Tevens is de dichtheid en biomassa sinds 1993 afgenomen, wat een aanwijzing is voor een verslechtering van de condities voor macrofauna. De toestand van vis wordt als “matig” gescoord, dit komt door de afwezigheid van chloridetolerante soorten, en door het lage aantal diadrome vissoorten. Beide visgildes zijn migrerende vissoorten.

De toestand van overige waterflora wordt nog steeds als “slecht” beoordeeld, door de afwezigheid van zeegras. Omdat zeegras sinds 2000 verdwenen is, is de kans klein dat het zonder ingrijpen op natuurlijke wijze terugkomt. In de afgelopen tien jaar zijn er meerdere pogingen geweest om het zeegras terug te plaatsen, zonder resultaat. Op het moment is het onduidelijk wat cruciale parameters zijn in het succesvol terugbrengen van zeegras. Gesuggereerde oorzaken van het wegblijven van zeegras zijn een te kleine input van zoet water, te hoge concentraties sulfide in de bodem, zuurstofloosheid, vraat door krabben of begrazing.

Macrofauna wordt voor het eerst beoordeeld als “goed” (0,60). Desondanks kan de situatie vanuit ecologisch perspectief in het Grevelingenmeer niet als goed beoordeeld worden. Er is een afname in dichtheden en biomassa aangetoond en er heeft een toename in het aantal exoten plaatsgevonden. Zuurstofloosheid is vaak aangegeven als reden voor lage EKR-scores, maar de interpolatie van metingen door Deltares tonen niet aan dat er in 2018 grote arealen zuurstofloos waren, of dat er een toename is in het zuurstofloos areaal in de afgelopen tien jaar (Tangelder *et al*, 2019). Deze interpolaties zijn gebaseerd op tweewekelijkse diepteprofielen van zuurstofconcentraties, die vervolgens geëxtrapoléerd zijn naar het hele gebied over het hele jaar. Het feit dat er een

optimum in macrofauna biomassa (tussen 4 en 6 meter) lijkt te zijn, indiceert echter dat er in gebieden dieper dan 6 meter sprake is van (tijdelijke) zuurstofloosheid. Mosselen en oesters kunnen relatief lang (maximaal een week) overleven in zuurstofloze omstandigheden (<3 mg/L), maar zullen zich waarschijnlijk niet kunnen handhaven in gebieden waar dit vaker voorkomt. Zo kan de afwezigheid van macrofauna een indicatie zijn voor zuurstofloosheid op de langere termijn. Met een voorspelde toename van de watertemperatuur kan in de toekomst stratificatie vaker en in sterkere mate voorkomen, wat lage zuurstofconcentraties op de bodem kan veroorzaken en de zuurstofloze condities nabij de bodem verslechteren.

Tabel 1. Parameters, waarden voor Goed Ecologisch Potentiaal (GEP), en bepaalde waarden van 2016 (macrofauna) en 2017 zoals beschreven in dit hoofdstuk. Groene waarden voldoen, gele waarden worden beoordeeld als matig.

Parameter		GEP	Waarde
<i>Fysisch-chemisch</i>			
Temperatuur	°C	≤25	22
pH		6,5-9,0	8,5
Chloride	mgCl/L	≥10000	14600
DIN	mgN/L	≤0,46	0,31
O ₂	%	60-120	81
<i>Biologie</i>			
Fytoplankton	EKR	≥0,6	0,91
Overige waterflora	areaal	≥50%	0
Macrofauna	EKR	≥0,6	0,60*
Vis	EKR	≥0,6	0,45

* Hoewel macrofauna volgens de KRW-maatlatten voldoet, is er sprake van achteruitgang in aantallen en biomassa, en een toename in het aantal exoten. Vanuit ecologisch perspectief kan de situatie in het Grevelingenmeer dus niet als "goed" bestempeld worden.

Verwachte autonome ontwikkeling

Voor de verwachte autonome ontwikkeling wordt uitgegaan van het W_H scenario en 40 cm zeespiegelstijging die zal optreden tussen 2045-2070. Onder het huidige beheer zijn geen sterke veranderingen te verwachten in het Grevelingenmeer. Het huidige peilbeheer kan tot 40 cm zeespiegelstijging gehandhaafd blijven. Fysisch-chemische parameters zijn in de afgelopen jaren vrij stabiel gebleven, en er zullen dus waarschijnlijk geen grote veranderingen zijn in de pH, chloride-concentratie en DIN.

Modelberekeningen laten zien dat het areaal met langdurig lage zuurstofconcentraties gemiddeld circa 15% zal afnemen van 1300 ha in 2025 naar 1110 ha bij 40 cm zeespiegelstijging. Bij 40 cm zeespiegelstijging wordt verwacht dat de uitwisseling tussen de Grevelingen en de Noordzee circa 27% minder zal zijn (Lievense 2019). Als gevolg van de beperktere uitwisseling zal er minder organisch materiaal naar de Grevelingen getransporteerd worden, wat vervolgens zal leiden tot een afnemende zuurstofbehoefte (Deltare 2019). Jaarlijkse fluctuaties kunnen echter groot zijn: metingen in de afgelopen 20 jaar laten zien dat het areaal met zuurstofarme condities kan fluctueren (800-1600 ha)

en dat dit voornamelijk afhankelijk is van wind- en temperatuurcondities in de zomer. Hogere temperaturen veroorzaken een sterkere mate van stratificatie, terwijl meer wind zorgt voor verminderde stratificatie als gevolg van het mixen van de waterkolom. De verwachting is dat door klimaatverandering milde winters en hete zomers vaker op zullen treden, wat het zuurstofarme areaal in die jaren zal doen toenemen. Een groter zuurstofloos areaal kan leiden tot extra fosfaatemissie uit de bodem. Aangezien het Grevelingenmeer stikstof-gelimiteerd is, heeft verhoogde fosfaatemissie waarschijnlijk geen verhoogde primaire productie als gevolg. Daarnaast gaan de seizoenen verschuiven en zal het groeiseizoen (als de gemiddelde temperatuur boven 5°C komt) steeds eerder in het jaar beginnen (naar begin maart in 2050 W_H scenario t.o.v. eerste helft april in 2000) (KNMI, 2015). Dit kan tot gevolg hebben dat zuurstofloze omstandigheden eerder in het jaar voorkomen.

Doordat nutriëntenconcentraties laag blijven, zullen de chlorofyl-*a* concentraties en bloeifrequentie van *Phaeocystis* waarschijnlijk ook laag blijven. Er zijn geen aanwijzingen voor herstel van zeegrasvelden. Aangezien er voor vis geen langere tijdsserie beschikbaar was, is het lastig een inschatting te maken van de autonome ontwikkeling. Wel is aangetoond dat de opening van de Flakkeese spuisluis een gunstig effect heeft op de visstand (Hop & Vriese 2017). Het is echter onwaarschijnlijk dat chloridetolerante soorten zich zullen vestigen en er meer diadrome soorten zullen komen door het ontbreken van zoetwater. De toestand van vis zal dus volgens de KRW-maatlatten als “matig” beoordeeld blijven. De ontwikkeling van macrofauna heeft een hogere mate van onzekerheid. Enerzijds wordt de toestand nu als voldoende beoordeeld door hogere biodiversiteit en een betere verdeling van de biomassa over soorten, anderzijds is er sprake van afname in biomassa en aantallen, vermoedelijk door (korte) zuurstofloze periodes bij de bodem. De verwachting dat hete zomers vaker zullen voorkomen, zal waarschijnlijk niet leiden tot afnemende zuurstofloosheid. In de toekomst is mogelijk sprake van afname van de EKR score voor macrofauna. Het Grevelingenmeer is daarnaast gevoelig voor de introductie van exoten (Verduin et al., 2018), die de potentie hebben een ecosysteem te verstoren. Hierdoor kan het Grevelingenmeer ook in de toekomst volgens de KRW-maatlatten als “goed” worden beoordeeld, terwijl de ecologische kwaliteit, met name macrofauna, achteruit gaat.

Verwachte ontwikkeling naar een K2-water

Bij een introductie van getij zal het Grevelingenmeer binnen de KRW beoordeeld worden als een K2-water (beschut en polyhalien kustwater), net als de Oosterschelde. Deze ontwikkeling zal waarschijnlijk een positief effect hebben op de ecologische toestand van het Grevelingenmeer (Didderen *et al.* 2014). Voor de verwachting van de ontwikkeling naar K2-water wordt uitgegaan van het W_H scenario en 40 cm zeespiegelstijging die zal optreden tussen 2045-2070.

Een aantal deelmaatlatten zal veranderen als het Grevelingenmeer wordt beoordeeld volgens de K2-maatlatten. Van de fysisch-chemische parameters zullen temperatuur, zuurstof en DIN op dezelfde manier beoordeeld worden als bij een M32 water, terwijl pH en chloride niet meer worden beoordeeld. Door introductie van getij zal er meer uitwisseling zijn met de Noordzee, waar stikstofconcentraties hoger zijn. Als gevolg

hiervan zal de winter DIN stijgen. In de Oosterschelde wordt deze momenteel beoordeeld als “matig”, en de verwachting is dat dit vergelijkbaar zal zijn met het Grevelingenmeer.

De deelmaatlat fytoplankton zal in de K2 waterlichaam op dezelfde manier beoordeeld worden als een M32 waterlichaam. Door een verhoogde DIN zal de primaire productie stijgen (Tangelder *et al*, 2019). De verwachting is dat met name het fytolankton voor een groot deel door filtrerende bodemfauna zal worden geconsumeerd. Daarnaast zal door de opening *Phaeocystis* vanuit de Noordzee naar de Grevelingen getransporteerd kunnen worden. In de Oosterschelde gebeurt dit momenteel ook, maar blijft de bloiefrequentie onder de KRW-gestelde grens van 17%. Waarschijnlijk zal de score voor fytoplankton dus “goed” blijven, en kan het effect van getij op fytoplankton dus ingeschat worden als neutraal. In de deelmaatlat van overige waterflora wordt naast zeegras ook oppervlakte kwelders en schorren meegenomen. Hierbij wordt zowel gekeken naar het areaal als naar de kwaliteit. Door introductie van getij ontstaat er nieuw intergetijdengebied wat potentie biedt voor ontwikkeling van schor- en kweldervegetatie. Het areaal intergetijdengebied zal bij 30-50 cm getij variëren van 340-900 ha, afhankelijk van het getijscenario en peilbeheer (Tangelder *et al.*, 2019). Omdat de verwachting is dat er geen herstel van zeegrasvelden zal optreden, zal overige flora waarschijnlijk als “slecht” beoordeeld blijven. Toch zorgt introductie van een getij dankzij potentiële ontwikkeling in kweldervegetatie voor een positief effect op overige waterflora.

De deelmaatlat vis komt bij een K2 water te vervallen. Introductie van getij, en met name een verbeterde verbinding tussen het Grevelingenmeer en de Noordzee, zal zorgen voor een verbetering in aantallen en biomassa van vis. Pelagische soorten zoals haring en sprot profiteren van het extra voedselaanbod, en bodemvissen zoals brakwatergrondel en dikkopje zijn gebaat bij een groter areaal geschikt leefgebied door afname van zuurstofarme condities. Door een betere verbinding met de Noordzee zal intrek van vis toenemen, echter is dit ook afhankelijk van de ontwikkeling van de populatie in de Noordzee en de gevolgen van klimaatverandering (voornamelijk stijging van de watertemperatuur). Waarschijnlijk zullen er soorten voor komen die nu ook in de Oosterschelde voor komen. Het Grevelingenmeer kan waarschijnlijk net als voor de sluiting van de Brouwersdam een rol als paai- en opgroeigebied vervullen, zoals dat nu ook het geval is in de Oosterschelde. Positieve effecten zijn met name te verwachten voor estuarien residente en mariene soorten. Voor migrerende diadrome soorten zal een verbeterde verbinding met het zoete achterland nodig zijn. Introductie van getij zal dus een positief effect hebben op het visbestand.

De deelmaatlat van macrofauna voor een K2 waterlichaam wordt op dezelfde manier beoordeeld als die voor een M32 waterlichaam. Introductie van getij zal zorgen voor een verhoogde niche-vorming in habitat, doordat er in sommige gebieden sterkere stroming zal zijn dan onder huidig beheer. Stromingsminnende soorten kunnen zich hierdoor vestigen in dynamische gebieden, terwijl luwteminnende soorten zich kunnen ontwikkelen in rustigere gebieden. Daarnaast zal zuurstofloosheid verminderen door betere uitwisseling en vermindering in stilstaand water, wat kan leiden tot verminderde sterfte. Verwacht wordt dat het zuurstofloos areaal halveert in vergelijking met de verwachte autonome ontwikkeling bij 40 cm zeespiegelstijging (Tangelder *et al*, 2019). Hierdoor zal

macrofauna in aantallen en biomassa toenemen. Ook zorgt grotere uitwisseling met de Noordzee tot verhoogde stikstofconcentraties, wat zal leiden tot een hogere primaire productie. Hiermee verbetert de voedselbeschikbaarheid voor filter feeders als mosselen en platte oesters, en voor detritus feeders als wormen. Introductie van getij zal dus zorgen voor een verbetering in aantallen en biomassa van macrofauna.

Tabel 2. Fysisch-chemische en biologische parameters binnen de KRW zoals in de huidige situatie (zie Tabel 1), verwachte autonome ontwikkeling en verwachte ontwikkeling bij getij. Ontwikkeling ten opzichte van de huidige situatie: +: verhoging, o: neutraal effect, -: verlaging.

		2018	Autonoom	Getij
<i>Fysisch-chemisch</i>				
Temperatuur	°C	22	+	o/+
pH		8,5	o	o
Chloride	mgCl/L	14600	o	o
DIN	mgN/L	0,31	o	+
O ₂	%	81	o/+	+
Zuurstofloos areaal	ha	~500	+	-
<i>Biologie (EKR)</i>				
Fytoplankton	EKR	0,91	o	+
Overige waterflora	areaal	0	o	+
Macrofauna	EKR	0,60	o/-	+
Vis	EKR	0,45	o/-	+

Tabel 3. Fysisch-chemische en biologische parameters binnen de KRW zoals in de huidige situatie (zie Tabel 1), verwachte autonome ontwikkeling en verwachte ontwikkeling bij getij. Verwachte KRW score (KRW): groen: goed, geel: matig, rood: ontoereikend, wit: geen KRW-beoordeling voor deze parameter.

	Huidig	Autonoom	Getij
<i>Fysisch-chemisch</i>			
Temperatuur	■	■	■
pH	■	■	■
Chloride	■	■	■
DIN	■	■	■
O ₂	■	■	■
Zuurstofloos areaal	■	■	■
<i>Biologie</i>			
Fytoplankton	■	■	■
Overige waterflora	■	■	■
Macrofauna	■*	■	■
Vis	■	■	■

* Hoewel macrofauna volgens de KRW-maatlatten voldoet, is er sprake van achteruitgang in aantallen en biomassa, en een toename in het aantal exoten. Vanuit ecologisch perspectief kan de situatie in het Grevelingenmeer dus niet als "goed" bestempeld worden.

Literatuur

- Didderen, K., D. Wielakker & W. Lengkeek, 2014. KRW doelafleiding Grevelingen en Volkerak; afleiden MEP/GEP en effectinschatting voor de MER-RGV. Rapport 14-001. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Hop, J. & F.T. Vriese, 2017. Visstandonderzoek Grevelingenmeer voor- en najaar 2017. Rapport 20161256/002. ATKB, Zoetermeer.
- KNMI, 2015: KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34PP.
- Lieverse, P, 2019. Memo Doorlaat Brouwersdam - Autonome ontwikkeling, Toelichting op scenario's waterkwaliteitsmodellering (balansmodel), RWS Zee en Delta, 4 april 2019.
- Mulder, I., V. Escavage, M. Tangelder & T. Ysebaert, 2019. Ontwikkelingen van het macrozoobenthos in het Grevelingenmeer 1992-2016. Rapport C021/19. Wageningen Marine Research, Yerseke.
- Tangelder, M., T. Ysebaert, J. Wijsman, J. Janssen, I. Mulder, N. van Rooijen & L. van den Bogaart, 2019. Ecologisch onderzoek Getij Grevelingen: effecten Natura 2000 en autonome ontwikkeling watersysteem vergeleken met getij scenario's, WMR rapport.
- Verduin E., L. Leeuwis & T. Van Haaren, 2018. Macozoöbenthosonderzoek in de zoute Rijkswateren 2016. Rapport 3 1072166.00041. Eurofins Aquasense, Amsterdam.

Voor vragen over deze notitie kunt u contact opnemen met Helga van der Jagt.

Akkoord voor uitgave: Teamleider Bureau Waardenburg
Dr. W.E.A. Kardinaal

Paraaf:

E. Kardinaal

Bureau Waardenburg bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Bureau Waardenburg bv; opdrachtgever vrijwaart Bureau Waardenburg bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Bureau Waardenburg bv / Rijkswaterstaat Zee & Delta

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Bureau Waardenburg bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Lid van de branchevereniging Netwerk Groene Bureaus. Het kwaliteitsmanagementsysteem van Bureau Waardenburg bv is door CERTIKED gecertificeerd overeenkomstig ISO 9001: 2015. Bureau Waardenburg bv hanteert als algemene voorwaarden de DNR 2011, tenzij schriftelijk anders wordt overeengekomen.



Bureau Waardenburg

Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

Postbus 365 4100 AJ Culemborg
Telefoon 0345 51 27 10
info@buwa.nl www.buwa.nl