



Grevelingen: van zout meer naar gedempt getij

Ontwikkeling van macrobenthos en inschatting gevolgen van gedempt getij

Begin jaren zeventig veranderde het Grevelingenmeer door afdamming van een estuarium in een zout meer. Nu treden regelmatig zuurstofarme condities op wat het bodemleven niet ten goede komt. Introductie van gedempt getij zal hierin verandering brengen, maar kan tegelijkertijd leiden tot een compensatieopgave van door Natura 2000 beschermde natuur op de eilanden en oevers. Daarom wordt voor verschillende scenario's van gedempt getij verkend wat de gevolgen zijn voor natuur boven en onder water.

Het Grevelingenmeer is met 11.000 ha het grootste zoutwatermeer van Europa. Deze van oorsprong rijke zee-arm (Wolff, 1973) heeft in de huidige situatie weliswaar het karakter van een stagnant zoutwatermeer, maar het 'dna' van een estuarium, met diepe geulen, fijnzandige ondiepten en voormalige intergetijdengebieden (figuur 1). Deze tweedeling komt ook terug in de beleidsambities gericht op het verbeteren en behouden van natuurwaarden: enerzijds gedeeltelijk herstel van 'estuariene dynamiek' door introductie van gedempt getij ter verbetering van waterkwaliteit en ecologie (KRW) en het creëren van intergetijdengebieden; anderzijds behoud van de na de afsluiting ontwikkelde natuurwaarden op de eilanden en oevers (Natura 2000). Gevolg is dat verbetering van mariene natuurwaarden leidt tot een compensatie- en mitigatieopgave voor effecten op terrestrische natuurwaarden en broedvogels.

Dit artikel beschrijft de ontwikkeling van het meer sinds de afsluiting aan de hand van veranderingen in het macrobenthos. Daarnaast wordt ingegaan op de gevolgen van verschillende scenario's van gedempt getij voor de twee werelden: boven (Natura 2000) en onder water. Het wegvallen van het getij en de verandering naar een zout, stagnant meer heeft grote gevolgen gehad voor de ecologie, zowel onder water als op de drooggevalen oevers en eilanden (Nienhuis, 1978). Er ontwikkelden zich zeldzame zilte en vochtige duinvalleivegetaties

met o.a. groenknolorchis (*Liparis loeselii*), die inmiddels beschermd zijn onder de Natura 2000 Habitatrichtlijn. Het Grevelingenmeer is ook van belang voor kustbroedvogels en trekvogels die beschermd zijn onder de Vogelrichtlijn. Door het stilstaande water met beperkte menging treden in de diepe waterlaag zuurstofarme condities op (Deltares et al., 2020). Ondieper wijst het op veel plekken voorkomen van *Beggiatoa*-bacteriematten op zuurstofloosheid in de bodem (Wesenbeeck et al., 2009). Dit is ongunstig voor het macrobenthos (Didderen et al., 2013) en waarschijnlijk ook voor de daarvan afhankelijke voedselketen. De ecologische onderwaterkwaliteit vormt een knelpunt voor het behalen van een goede ecologische toestand voor de Kaderrichtlijn Water (KRW; Van der Jagt, 2019). Sinds 2008 onderzoeken Rijk en regio de mogelijkheid om het probleem aan te pakken door de introductie van 30-50 cm gedempt getij via een verbinding met de Noordzee. Consequentie is wel dat door Natura 2000 beschermde vegetaties en broedhabitat van kustbroedvogels mogelijk overstromen, waardoor compensatie nodig is. De vraag is bij welk peilbeheer de optimale balans verkregen wordt tussen het beperken van effecten op de Natura 2000-doelen boven water en de verbetering van de zuurstofcondities onder water en daarmee het herstel van leefgebied voor bodemdieren, vissen en andere soorten.

Dit artikel heeft tot doel de volgende vragen te beantwoorden: Hoe heeft het macrobenthos in het

gedempt getij
Grevelingenmeer
macrobenthos
waterkwaliteit
Natura 2000

M. (Marijn) Tangelder
Wageningen Marine
Research, Postbus 77, 4400
AB Yerseke,
marijn.tangelder@wur.nl

A.J. (Arno) Nolte
Deltares

**I.M. (Ingeborg)
Mulder**
Wageningen Marine
Research

**J.W.M. (Jeroen)
Wijsman**
Wageningen Marine
Research

J.A.M. (John) Janssen
Wageningen Environmental
Research

T.J.W. (Tom) Ysebaert
Wageningen Marine
Research, NIOZ

Foto **Marijn Tangelder**.
Veermansplaat in het
Grevelingenmeer.

Grevelingenmeer zich na de afsluiting tot nu toe ontwikkeld en hoe is de afdamming en het sluisbeheer hierop van invloed geweest? En wat zijn mogelijke gevolgen van verschillende scenario's van gedempt getij op de waterkwaliteit en het macrobenthos onder water en Natura 2000-doelen op de oevers en eilanden boven water?

Ontwikkeling macrobenthos na de afsluiting

De ontwikkeling van het macrobenthos na afsluiting van de Grevelingen is zo goed mogelijk bepaald met gegevens uit literatuur. Direct na de afsluiting van het Grevelingenmeer vielen intergetijdengebieden droog en viel de getijdestroming weg. Dit was vermoedelijk de reden voor een daling van de biomassa met 84% tussen 1971 en 1973 (van 34 g/m² naar 5 g/m², zie figuur 2). De soortenrijkdom nam af met circa 25%, vooral on-

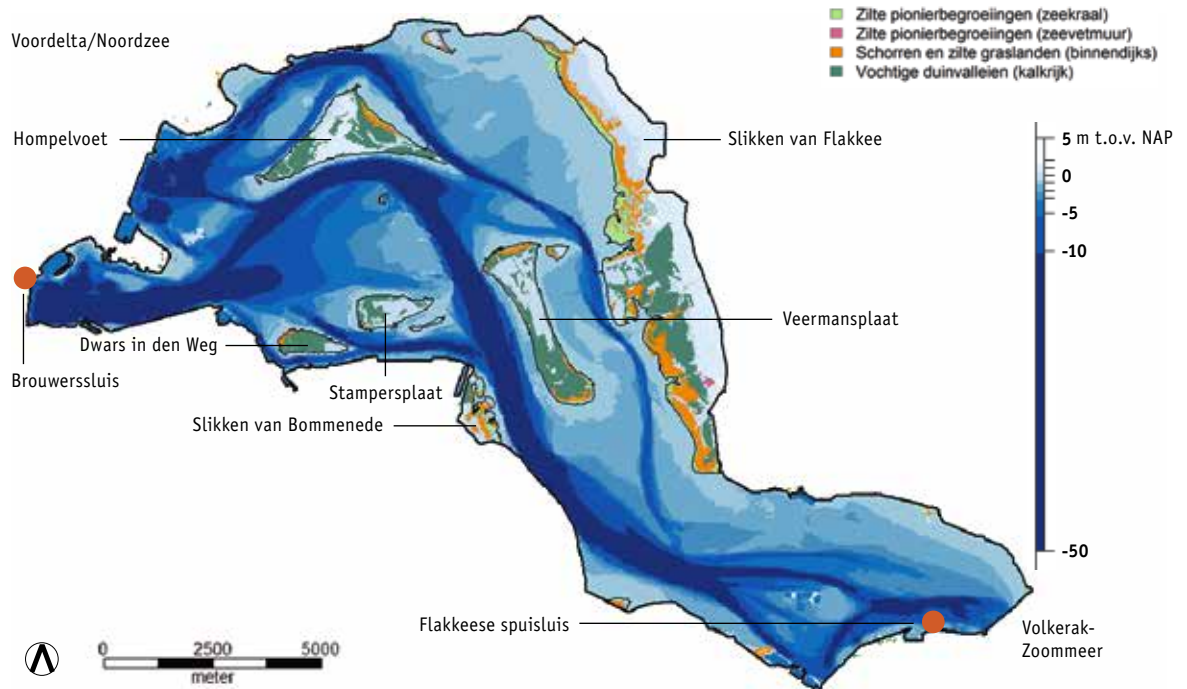
der kreeftachtigen en stekelhuidigen (Nienhuis, 1978; Lambeck, 1986). In de jaren na de afsluiting namen soorten van lage stroomsnelheden toe. Na 1973 steeg de biomassa, gedomineerd door de mossel (*Mytilus edulis*). Hierna daalde de biomassa weer, waarschijnlijk door gebrek aan nutriënten in het systeem (Lambeck, 1986; figuur 2).

Het openen van de Brouwerssluis in 1978 en daarmee de inlaat van Noordzeewater leidde tot de volgende ontwikkelingen (Lambeck et al., 1986):

- 1979: stratificatie door verschil in zoutgehalte tussen het zoute zeewater en het brakke meer waardoor vrijwel alle macrobenthos beneden 8 meter in het eerste jaar afstierf;
- Vanaf 1980: vermindering van stratificatie in de zomer door het sluiten van de sluis in het zomerhalfjaar;

Figuur 1 Hoogte-diepte kaart van het Grevelingenmeer (meter t.o.v. NAP) gelegen op de grens van Zeeland en Zuid-Holland, met een selectie van Natura 2000 habitattypen; H1310A Zilte pionierbegroeiingen (zeekraalvegetaties) (180 ha), H1310B Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuurvegetaties) (11 ha), H1330B Schorren en zilte graslanden (binnendijkse vegetaties) (265 ha) en H2190B Vochtige duinvalleien (kalkrijk).

Figure 1 Elevation-depth map of Lake Grevelingen (NAP) situated on the boarder of Zeeland and Zuid-Holland, displaying a selection of Natura 2000 habitats; 'H1310A Zilte pionierbegroeiingen (zeekraalvegetaties)' (180 ha), 'H1310B Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuurvegetaties)' (11 ha), 'H1330B Schorren en zilte graslanden (inland vegetation)' (265 ha) and 'H2190B Vochtige duinvalleien (kalkrijk)'.



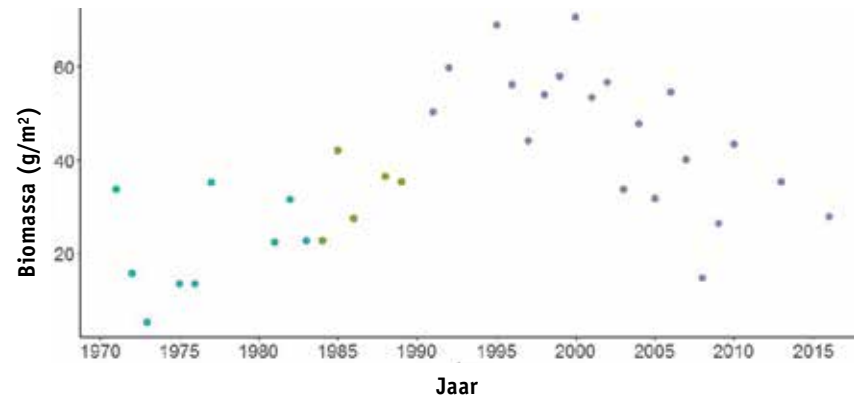
- 1981-1984: ophoping van organisch materiaal in de diepere delen waardoor zuurstofcondities verslechterden door afbraakprocessen, schelpdieren een duidelijke verschuiving naar ondiep water (< 7 m) lieten zien en diepere delen verarmden;
- Jaren tachtig: verbetering van de voedselsituatie door stijging van de hoeveelheid algen.

De exoot het muiltje (*Crepidula fornicata*) kon vervolgens uitbreiden, vermoedelijk doordat deze soort profiteerde van meer voedsel en afname van de mossel (Lambeck & Smet, 1987). In 1993 vertegenwoordigde het muiltje 64% van de biomassa (Mulder *et al.*, 2019). In 1989 is de verdeling van de biomassa over de dieptestrata sterk veranderd waarbij de gemiddelde biomassa in het diepste stratum (> 13,5 m) verdrievoudigd is in vergelijking met 1988. Hierdoor is er geen verschil meer in biomassa tussen de verschillende diepten (Fortuin & Altena, 1990).

De ontwikkeling van het macrobenthos in de periode 1992-2016 is bepaald aan de hand van data uit het MWTL-monitoringsprogramma (Mulder *et al.*, 2019; Tangelder *et al.*, 2019). Vanaf 1999 is de Brouwerssluis jaarrond geopend. Het zuurstofarme bodemoppervlak (3 mg/L of lager voor > 7 aaneengesloten dagen) vertoont vanaf 1999 een plotselinge toename van 400-800 ha naar 800-1600 ha (Deltares *et al.*, 2020). Mogelijk komt dit door een hogere zuurstofvraag als gevolg van een combinatie van warmer water en een hoger aanbod van organisch materiaal.

In de periode 1995-2008 laat de totale biomassa een significante afname zien ($p < 0.001$) van 69 g/m² naar 15 g/m², gevolgd door toename in 2010 (43 g/m²) en 2013 (35 g/m²) en afname in 2016 (27 g/m²) (figuur 2). Het aandeel van het muiltje in de totale biomassa neemt af (29% in 2010) en het aandeel van de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) toe (31% in 2010).

De analyse toont aan dat de bodemdiergemeenschap zich de laatste 21 jaar op alle diepten eenduidig heeft



Figuur 2 De ontwikkeling van de gewogen (gecorrigeerd voor bemonsteringsoppervlak van de diepte strata) gemiddelde biomassa (g/m², asvrij drooggewicht) van macrobenthos in het Grevelingenmeer in de periode 1971-2016, samengesteld uit drie verschillende datasets/bronnen: Lambeck 1986 (blauw), DIO-bemonsteringen, data verkregen via het huidige NIOZ (groen) en MWTL-data (paars).

Figure 2 The development of the weighted (corrected for sampling area of each depth stratum) mean biomass (g/m², asfree dry weight) of macrobenthos in Lake Grevelingen in the period 1971-2016, composed of three different datasets/sources: Lambeck 1986 (blue), DIO-sampling, data obtained via the current NIOZ (green) and MWTL-data (purple).

ontwikkeld en nog steeds in verandering is. De hoogste biomassa en dichtheden van macrobenthos komen voor op een diepte van 4-6 m en beide nemen af richting 15 m.

Scenario's met gedempt getij

In het project 'Getij Grevelingen' verkennen Rijk en regio samen de effecten van peilbeheerscenario's voor een toekomstig Grevelingenmeer met gedempt getij (www.getijgrevelingen.nl). Tabel 1 beschrijft de acht onderzochte peilbeheerscenario's. Ook is gekeken naar de autonome ontwikkeling zonder gedempt getij (rond 2025; ten tijde van het onderzoek het jaar van de verwachte opening van de sluis in de Brouwersdam). De peilbeheerscenario's zijn samengesteld uit de volgende peilbeheervariabelen:

- Getijdeverschil van 30, 40 of 50 cm;
- Vast middenpeil van NAP -0,20 m (zoals in de huidige situatie) of een verlaagd middenpeil van NAP -0,30 m;
- Peilverlaging in het broedseizoen (1 april - 16 juli, ten behoeve van broedhabitat) met een harde bovengrens die 10 cm lager is dan buiten deze periode en periodieke opzet in herfst- en winterseizoen (1 september – 1 maart, ten behoeve van terugdringen van successie en verzoeting van de oevers).

Gevolgen voor de waterkwaliteit

De peilbeheerscenario's zijn doorgerekend met het Delft3D-FLOW-model voor waterbeweging, zout en temperatuur inclusief stratificatie en vervolgens opgelegd aan het Delft3D-WAQ-model voor zuurstof, nutriënten en primaire productie. Spiteri & Nolte (2010) beschrijven de volledige modelopzet. Het volledige onderzoek naar peilbeheerscenario's en waterkwaliteit is gerapporteerd door Maarse et al. (2019). Tabel 1 geeft de resultaten van de waterkwaliteitsmodellering voor alle acht peilbeheerscenario's weer. Te zien is dat introductie van 30-50 cm gedempt getij de volgende gevolgen heeft voor de waterkwaliteit:

- Bij een groter getijdeverschil neemt de uitwisseling met Voordeltawater toe, evenals de horizontale en verticale menging in het Grevelingenmeer.
- Door kortere verblijftijden (2-4 weken in plaats van 3-4 maanden) komt de waterkwaliteit meer overeen met de Voordelta (iets hogere stikstof- en lagere fosfaatconcentraties) waardoor de primaire productie in het Grevelingenmeer circa 75% hoger kan zijn (BA) dan bij autonome ontwikkeling (auto_10).
- De verbeterde menging resulteert in een kleiner areaal met een langdurig lage zuurstofconcentratie voor alle scenario's variërend van 530 ha bij 50 cm getijdeverschil (BA) tot 850-910 ha bij 30 cm getijdeverschil (BG/BGBW) ten opzichte van 1300 ha bij autonome ontwikkeling (auto_10).
- Hoewel de zuurstofbehoefte toeneemt door hogere primaire productie en door een vier tot acht keer grotere aanvoer van organisch materiaal uit de Voordelta, zorgt de grotere menging toch voor een reductie van het zuurstofarme areaal.

Gevolgen voor macrobenthos

Op basis van *expert judgement* en gebruikmakend van de inzichten vanuit de ontwikkeling na de afsluiting

(Tangelder et al., 2019) en de modellering van de waterkwaliteit (Maarse et al., 2019) is een inschatting gemaakt van de te verwachten ontwikkeling van het macrobenthos bij 30-50 cm gedempt getij. Een forse toename in primaire productie zal voornamelijk ten goede komen aan filtrerend macrobenthos en in het bijzonder de schelpdieren (zoals de Japanse oester en platte oester (*Ostrea edulis*)). Hardsubstraatsoorten zoals wieren, sponzen, zakpijpen en anemonen maar ook mobiele soorten zoals krabben, garnalen, grondels en kreeften profiteren van de ontwikkeling van schelpdierriffen waar ze zich op kunnen vestigen. Het systeem zal qua soortensamenstelling vermoedelijk meer op de Oosterschelde gaan lijken. Door toename in waterbeweging komen microalgen beter beschikbaar voor het macrobenthos en daarnaast zorgen de verbeterde zuurstofcondities ervoor dat een groter areaal leefgebied (permanent) beschikbaar komt voor macrobenthos en andere soortengroepen zoals bodemvissen. Hoewel de stroming in het Grevelingenmeer bij gedempt getij beperkt zal zijn (< 0,8m/s) is de verwachting dat organisch materiaal beter verspreid wordt en zodoende beter opgenomen wordt door zoöplankton, macrobenthos en hardsubstraatsoorten als zakpijpen, anemonen en sponzen.

Effecten op oevers en eilanden

Op basis van beschikbare gegevens is een kaart gemaakt van de ligging in 2011 van de volgende habitats en soorten van de Habitatrictlijn: groenknolorchis; habitatype zilte pionierbegroeiingen (zeekraalvegetaties) (H1310A); habitatype zilte pionierbegroeiingen (zeevermuurvegetaties) (H1310B); habitatype schorren en zilte graslanden (binnendijkse vegetaties) (H1330B); habitatype vochtige duinvalleien (kalkrijk) (H2190B).

De verwachte verandering van de arealen bij gedempt getij is ingeschat in twee belangrijke stappen (zie voor

NAAM SCENARIO	PEILBEHEER SCENARIO'S & GEMO- DELLEERDE WATERKwaliteit	WATERBEHEER		PRIMAIRE PRODUCTIE	AREAAL ZUUR- STOF < 3 MG/L	TOTAAL-N	TOTAAL-P	CHLOROFYL-A	DETRITUS C	DOORZICHT (SECCHI)	PERMANENT INTERGETIJ- DEN-GEBIED
		Middenpeil (m NAP)	Peilsturing* (m NAP)								
AUTO_10	Autonome ont- wikkeling	-0,20	-0,10/ 0,30	289	1300	0,59	0,037	5,3	0,34	2,2	<2
BA	50 cm getij	-0,20	0,05 / -0,55	469	530	0,65	0,032	7,8	0,50	2,1	808
BBW	50 cm getij met peilverlaging in Broedseizoen en Winteropzet	-0,20	0,05 / -0,55	465	520	0,65	0,032	7,8	0,49	2,1	656
BM	Verlaagd mid- denpeil 50 cm getij	-0,30	0,05 / -0,60	459	530	0,65	0,032	7,7	0,49	2,1	895
BMBW	Verlaagd mid- denpeil 50 cm getij en peilverlaging in broedseizoen en winteropzet	-0,30	-0,05 / -0,60	455	530	0,65	0,032	7,7	0,49	2,1	734
TMBW	Tussenscenario 40 cm getij met peilverlaging in Broedseizoen en Winteropzet	-0,30	-0,10 / -0,55	447	640	0,65	0,032	7,6	0,48	2,1	598
BG	Kleinere getij- slag 30 cm getij	-0,20	-0,05 / -0,40	445	850	0,64	0,031	7,5	0,47	2,2	494
BGBW	Kleinere getijslag 30 cm getij met peilverlaging in broedseizoen en winteropzet	-0,20	-0,05 / -0,40	440	910	0,64	0,031	7,4	0,46	2,2	341

Tabel 1 Overzicht van modelresultaten voor autonome ontwikkeling (bij 10 en 40cm zeespiegelstijging t.o.v. 1995) en peilbeheersscenario's met het 3D-waterkwaliteitsmodel (Maarse *et al.*, 2019). *De waarden geven de maximale boven- en ondergrens van het peil aan, dit verschil kan groter zijn dan het getijdeverschil in verband met een flexibel laagwater peil.

Table 1 Overview of model results for autonomous development (at 10 and 40 cm sea level rise relative to 1995) and water level management scenario's modelled with 3D water quality model (Maarse *et al.*, 2019). *The data display the maximum upper- and lower water level, this difference can be bigger than the tidal amplitude because a flexible ebb level.

methodiek Tangelder *et al.* (2019)): (1) berekening van de directe verliezen van het habitatype door overspoeling aan de hand van opgestelde rekenregels; (2) inschatting van de indirecte verliezen voor vochtige duinvalleien (kalkrijk) en groenknolorchis door zoutspray of verandering in grondwaterstanden als gevolg van een fluctuerend waterpeil. De inschatting is gemaakt op basis van informatie over de bodem (zandig, kleilig) en de vorm van de grondwaterbel (zonder modellering).

Tabel 2 beschrijft de directe verliezen doordat habitats overstroomd als gevolg van het getij. Aanvankelijk wordt voor de laaggelegen zilte habitats (H1310A, H1310B en H1330B) een verlies verwacht van respectievelijk 11-78%, 20-71% en 5-26% t.o.v. 2011. Verwacht wordt echter dat deze habitats nog kunnen opschuiven naar boven of naar beneden (in de scenario's met een lager peil van NAP -0,30 m in plaats van NAP -0,20 m). Indien hiervoor gecorrigeerd wordt is de verandering van oppervlakte naar schatting als volgt:

- Zilte pionierbegroeiingen (zeekraalvegetaties): -20% tot +20% (t.o.v. 2011). Dit habitat kan naar boven en naar beneden opschuiven. Het profiteert van peilverlaging in het broedseizoen (groeiperiode), een bepalende factor hierin is de mate van oevererosie.
- Zilte pionierbegroeiingen (zevetmuurvegetaties): de huidige oppervlakte is gering maar zal naar verwachting in de zonering kunnen opschuiven.
- Schorren en zilte graslanden (binnendijks): tot -10% (t.o.v. 2011) omdat dit habitatype enigszins kan opschuiven naar de zone waar de overstromingsduur gunstig is voor dit habitat.

Bij het habitatype vochtige duinvalleivegetaties (kalkrijk) zijn, naast de effecten door directe overstroming, ook indirecte effecten zoals veranderingen in grondwaterstand en meer zoutspray van belang (tabel 2). Ingeschat wordt dat in de scenario's met een verlaagd

middenpeil, waarbij meer land droogvalt (TMBW, BM en BMBW), vochtige duinvalleien (kalkrijk) netto profiteren en qua oppervlak zelfs iets zullen toenemen. Naar verwachting zal de kwaliteit van het type echter achteruitgaan door verdroging (verlaging van de grondwaterspiegel) over een oppervlakte van circa 150 ha op de Veermansplaat en Slikken van Flakkee. Hierbij kunnen zeldzame soorten (waaronder groenknolorchis) en de soortenrijkdom achteruit gaan. In de andere scenario's (zonder peilverlaging) treedt oppervlakteverlies van dit habitatype op. Deze is het grootst in de scenario's met 50 cm getij (BA en BBW). Peiloptimalisatie met een verlaging in het broedseizoen en winteropzet is gunstig voor zilte habitatypes, maar ongunstig voor vochtige duinvalleien en groenknolorchis, aangezien dit enigszins verdrogend kan werken.

Effecten van gedempt getij op Natura 2000-vogelsoorten zijn volgens de inschatting van Arts *et al.* (2019) zowel negatief als positief. Enerzijds wordt ingeschat dat alle scenario's negatief zijn voor kustbroedvogels omdat het broedhabitat (groten)deels verdwijnt. Het scenario met 40 cm getij en verlaagd peil (TMBW) valt daarbij het minst ongunstig uit omdat in dit scenario het hoogwaterpeil binnen dezelfde grenzen blijft als het peil in de huidige situatie. Anderzijds profiteren benthosetende vogels van het ontstaan van intergetijdgebieden (circa 340-900 ha) en visetende vogels van verbeterde voedselcondities.

Discussie en conclusie

De afdamming van het Grevelingenmeer heeft vergaande gevolgen gehad voor het macrobenthos van zacht substraat: de soortenrijkdom en biomassa namen af, waarna soortensamenstelling, biomassa en dichtheden decennialang bleven fluctueren. Het openen van de Brouwersluis in 1978 leidde tot een aantal systematische

veranderingen in de waterkwaliteit (o.a. saliniteit, stratificatie en import van organisch materiaal) waardoor het macrobenthos eerst een klap kreeg en zich daarna weer begon aan te passen. De afname van de biomassa sinds de jaren negentig duidt op een voortschrijdende verslechtering van leefomstandigheden voor het macrobenthos. Mogelijk heeft het jaarrond openen van de Brouwerssluis in 1999 en de toename van het gemiddelde areaal met zuurstofarme condities op de bodem hieraan bijgedragen. De biomassa is echter op alle diepten afgenomen, ook in de ondiepe zone waar geen (langdurige) zuurstofarme condities optreden. Hoe dit komt weten we nog niet.

Bij 30-50 cm gedempt getij zorgt de grotere waterbeweging en verversing naar verwachting voor een verbetering van de zuurstofcondities nabij de bodem, met een reductie van circa 30-60% zuurstofarm areaal in de diepe delen ten opzichte van de autonome ontwikkeling. In de ondiepere delen (< -15/-10 m) wordt de zuur-

stofindringing in de bodem waarschijnlijk verbeterd, waardoor de condities voor het bodemleven verbeteren. Ook is de verwachting dat de primaire productie circa 52-62% hoger zal zijn dan bij autonome ontwikkeling. Dat betekent meer voedsel voor primaire consumenten, omdat de menging bepalend is voor de mate waarin filterfeeders op de bodem toegang hebben tot de microalgen (Hofmeister et al., 2009). Onzeker is echter de precieze verdeling van dit hogere voedselaanbod en de rol van het zoöplankton in de consumptie hiervan. Een toename van primaire consumenten (zoals filterfeeders en zoöplankton) zal ook doorwerken naar hogere trofische niveaus zoals vissen, kreeftachtigen en vogels, al is de omvang van dit effect voor verschillende groepen moeilijk te voorspellen.

De effecten op terrestrische Natura 2000-waarden als gevolg van de introductie van 30-50 cm gedempt getij zijn het grootst bij de scenario's met 50 cm getij en het kleinst bij het scenario met 40 cm getij en een verlaagd

Tabel 2 Effecten van peilbeheer op Natura 2000 waarden: H2190B (436 ha in 2011), Geschikt leefgebied Groenknolorchis (272 ha in 2011), H1310A (180 ha in 2011), H1310B (11 ha in 2011), H1330B (265 ha in 2011). * = dit zijn directe verliezen, doordat zilte vegetatie in de zonerings kunnen opschuiven zijn verliezen minder groot (zie tekst). ** = achteruitgang van kwaliteit van circa 150 ha door verdroging. Voor een beschrijving van de scenario's zie tabel 1.

Table 2 Effects of water level management on Natura 2000 values: H2190B (436 ha in 2011), 'Geschikt leefgebied Groenknolorchis' (272 ha in 2011), H1310A (180 ha in 2011), H1310B (11 ha in 2011), H1330B (265 ha in 2011). * = these are direct effects, however because salty vegetations can shift to areas with more suitable conditions these losses will be smaller in reality. ** = decline of quality of approximately 150 ha by desiccation. For a description of scenario's see table 1.

	BA	BBW	BM	BMBW	TMBW	BG	BGBW
DIRECT VERLIES DOOR OVERSTROMING VAN ZILTE HABITATYPEN							
H1310A Zilte pionierbegroeiingen (zeekraalvegetaties)*	-140	-78	-76	-34	-20	-101	-41
H1310B Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuurvegetaties)*	-7	-7	-3	-4	-2	-3	-4
H1330B Schorren en zilte graslanden (binnendijkse vegetaties)*	-63	-69	-22	-24	-13	-21	-25
H2190B VOCHTIGE DUINVALLEIEN (KALKRIJK)**							
Verlies door overstroming & windopzet, zoutspray, vernatting en/of verzuring en verdroging	-99	-110	-8	-28	-23	-85	-89
Toename door groter landoppervlak t.g.v. peilverlaging			+32	+48	+48		
Netto verandering oppervlak habitatype	-99	-110	+24*	+20*	+25*	-85	-89
GESCHIKT LEEFGEBIED GROENKNOLORCHIS (H1903)							
Verlies door overstroming & windopzet, zoutspray, vernatting en/of verzuring en verdroging	-79	-91	-170	-181	-171	-59	-65
Toename door groter landoppervlak t.g.v. peilverlaging			+20	+20	+20		
Netto verandering geschikt leefgebied	-79	-91	-150	-156	-149	-59	-64

waterpeil, ook wel het '40/-30 scenario' genoemd. Bij een lager peil van NAP -0,30 m is de bovengrens van het fluctuerende waterpeil bij gedempt getij gelijk aan het huidige peilbeheer. Wel leidt dit scenario naar verwachting tot een afname van meer dan de helft van het leefgebied van de groenknolorchis. Daarbij moet wel benadrukt worden dat vanuit het project Getij Grevelingen maatregelen worden voorbereid om deze negatieve effecten te mitigeren en compenseren, daarmee is in deze beschrijving van de effecten nog geen rekening gehouden. Verder zullen de intergetijdengebieden die ontstaan langs zandige oevers, dijken en oeververdedigingen, hoewel beperkt in areaal, zich naar verwachting ontwikkelen tot waardevolle foerageergebieden voor vogels, in het bijzonder de gebieden met zacht substraat zoals de Slikken van Flakkee. Peilsturing van de nieuwe sluis bijvoorbeeld met een 'asynchroon getij' (dat enkele uren achterloopt met Oosterschelde en Voordelta) kan gunstig zijn om foerageertijden voor vogels te verlengen (Tangelder et al., 2018).

Tot slot

Dit onderzoek laat zien dat het macrobenthos vijftig jaar na de afdamming nog steeds in verandering is. Het valt daarom te verwachten dat de introductie van gedempt getij, waarbij het systeem wederom verandert - dit keer van stagnant naar zwak dynamisch - nog decennialang zal doorwerken. Verder zal klimaatverandering een groeiend effect hebben op het systeem.

Summary

Lake Grevelingen: towards introduction of tidal influence

Marijn Tangelder, Arno Nolte, Ingeborg Mulder, Jeroen Wijsman, John Janssen, Tom Ysebaert

Zeespiegelstijging zal leiden tot een afname van de uitwisseling met de Noordzee via de nieuwe sluis na 2050 (afhankelijk van de sturing van de sluis). Ook de temperatuurstijging en grotere weersextremen zullen de ecologie beïnvloeden.

Waarom de biomassa van het macrobenthos op alle diepten afneemt valt nog niet precies te verklaren. Daarvoor moet nauwkeuriger gekeken worden naar het ecologisch functioneren van het Grevelingenmeer: de samenhang tussen de ontwikkeling van soorten, de waterkwaliteit en waterbodempkwaliteit. Nolte & Lagendijk (2016) hebben de belangrijkste abiotische interacties in het Grevelingenmeer uitgewerkt in een conceptueel model. Het zou waardevol zijn om dit model uit te werken met biologische componenten. Ter voorbereiding op de mogelijke herintroductie van getij is het advies om een jaar lang intensief te meten. Hoe meer tegelijk wordt gemeten, hoe groter de meerwaarde van iedere meting afzonderlijk is en hoe beter onderlinge relaties en gevolgen daarvan zijn aan te tonen. Bovendien is dergelijke kennis zeer waardevol voor de veranderingen in condities die met het veranderende klimaat de komende decennia op ons afkomen.

De totstandkoming van dit artikel was mogelijk door financiering van onderzoek vanuit het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer.

Reduced tide, Grevelingenmeer, macrobenthos, waterquality, Natura 2000

[The Grevelingen estuary was dammed off and became a lake in 1971. Since 1978 a connection with the North Sea](#)

exists to keep the lake saline but management of sluices varied over time. Our research of several decades of monitoring data shows that water management lead to drastic changes in water quality and consequent ecological shifts in macrobenthic fauna. Benthic biomass, dominated by molluscs, showed major changes with an important role for invasive species. Implications are made towards future management to re-introduce mi-

cro-tide (30-50 cm amplitude) in connection with the North Sea to improve water quality and the ecological status of the lake. As the reintroduction of tide will negatively affect terrestrial Natura 2000 habitats and species, including coastal breeding birds, the Dutch government will mitigate and compensate for these effects.

Literatuur

Arts, F.A., M.S.J. Hoekstein & M. Sluijter, 2019. Analyse en prognose trends vogels en zeehonden Grevelingenmeer. Delta Project Management.

Spiteri, C. & A. Nolte, 2010. Validatie van het 3D model voor het Grevelingenmeer voor hydrodynamica, waterkwaliteit en primaire productie. Delft. Deltares.

Deltares, Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en Wageningen Marine Research, 2020. Systeemrapportage Grevelingen. www.teststelsysteemrapportage.nl/grevelingen/ (versie juli 2020).

Didderen, K., W. Lengkeek & S. Bouma, 2013. De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer III. Culemborg. Bureau Waardenburg.

Hofmeister, R., R. Burchard & K. Bolding, 2009. A three-dimensional model study on processes of stratification and de-stratification in the Limfjord. *Continental Shelf Science* 29(11-12): 1515-1524.

Lambeck, R.H.D., 1986. Leven zonder getij. Bodemdieren in het Grevelingenmeer. In: P.H. Nienhuis (eds.). *Het Grevelingenmeer: van estuarium naar zoutwatermeer*. Natuur & Techniek.

Lambeck, R.H.D. & G. de Smet, 1987. Een bestandsopname in voorjaar 1986 van het macrozoöbenthos in het Grevelingenmeer. Yerseke. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek.

Maarse, M., A. Nolte, F. Kleissen *et al.*, 2019. Optimalisatie van peilbeheer Getij Grevelingen door aansturing van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam. Delft. Deltares.

Mulder, I.M., V. Escaravage, M. Tangelder *et al.*, 2019. Ontwikkelingen van het macrozoöbenthos in het Grevelingenmeer 1992-2016. Yerseke. Wageningen Marine Research.

Nienhuis, P.H., 1978. De Grevelingen, een afgesloten zeearm. Een overzicht van 10 jaar aquatisch oecologisch onderzoek. Yerseke. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, rapport 1978-3.

Nolte, A. & O. Lagendijk, 2016. Grevelingenmeer van Stagnant naar Beperkt Getij. Synthesedocument, Beschikbare kennis en resterende kennisvragen met betrekking tot het effect van introductie beperkte getijslag op het natuurlijk systeem van Grevelingenmeer en Voordelta. Delft. Deltares.

Tangelder, T, J. Wijsman, J. Janssen *et al.*, 2018. Scenariostudie natuurperspectief Grevelingenmeer. Yerseke. Wageningen Marine Research.

Tangelder, T., T. Ysebaert, J. Wijsman *et al.*, 2019. Ecologisch onderzoek Getij Grevelingen. Onderzoek naar historische ontwikkeling van het watersysteem en inschatting van autonome ontwikkeling vergeleken met getij scenario's en effecten op Natura 2000-soorten en habitats bij gedempt getij. Yerseke. Wageningen Marine Research.

Jagt, H. van der, 2019. Update status beschrijving KRW Grevelingenmeer en verwachting autonome ontwikkeling en K2 water. Culemborg. Bureau Waardenburg.

Wesenbeeck, B. van, A. Nolte, S. Bouma *et al.*, 2009. Witte bacteriematten als indicator voor de achteruitgang van de Grevelingen. *De Levende Natuur* 110(7): 357-360.

Wetsteijn, L.P.M.J., 2011. Grevelingenmeer: meer kwetsbaar. Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingen voor de periode 1999 t/m 2008-2010 in vergelijking met de periode 1990 t/m 1998. Lelystad. Rijkswaterstaat Waterdienst.