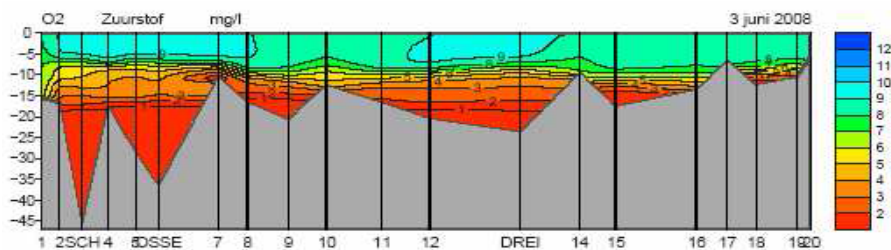


Minimum zuurstofgehalte voor bodemdieren in het Grevelingenmeer

A.C. Smaal & J.W.M. Wijsman

Rapport C022/15



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat Zee en Delta
T.a.v. P. Paulus
Postbus 5014
4330 KA MIDDELBURG

Publicatiedatum:

3 februari 2015

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

Cover: figuur 7.2 uit Wetsteijn, 2010

P.O. Box 68	P.O. Box 77	P.O. Box 57	P.O. Box 167
1970 AB IJmuiden	4400 AB Yerseke	1780 AB Den Helder	1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26	Fax: +31 (0)317 48 73 59	Fax: +31 (0)223 63 06 87	Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl

© 2014 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V13.3

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding	5
2. Voorkomen en exploitatie bodemdieren Grevelingenmeer	7
3. Minimum zuurstofconcentratie voor bodemdieren	12
4. Conclusies	18
Referenties	19
Kwaliteitsborging	20
Verantwoording	21

Samenvatting

Vanwege het plan om de wateruitwisseling tussen het Grevelingenmeer en de Noordzee te vergroten met als doel de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren, is er een onderbouwing nodig voor de zuurstofconcentratie die niet onderschreden zou moeten worden voor het bodemleven in het Grevelingenmeer.

Op basis van een literatuurstudie is een inschatting gemaakt van grenswaarden voor het zuurstofgehalte voor verschillende soortgroepen zeedieren. Uit diverse reviews zijn 50- en 90-percentielen ontleend voor overleving, en ook voor effecten van lage zuurstofgehalten op gedrag en fysiologie. Omdat een laag zuurstofgehalte zich in het Grevelingenmeer beperkt tot de diepere delen kan er in het beheer worden uitgegaan van een grenswaarde op basis van de LC50 (ipv LC 90). De LC50 is de grenswaarde voor overleving van 50 % van de populatie. Het in stand houden van de populatie als geheel in de rest van het areaal is dus te waarborgen op basis van de LC50.

De conclusie is dat een minimum zuurstofgehalte van 2,54 mg O₂ l⁻¹ voor maximaal 5 % van het areaal voor de duur van maximaal 5,5 dagen, voldoende waarborg biedt voor een gezond bodemleven in het Grevelingenmeer. Met deze grenswaarden worden ook de exploitatiemogelijkheden van commercieel belangrijke soorten gewaarborgd, voor zover bepaald door het zuurstofgehalte.

1. Inleiding

Probleemstelling

In verband met het voornemen om de wateruitwisseling tussen het Grevelingenmeer en de Noordzee te vergroten, met als doel de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren, is er een onderbouwing nodig van de zuurstofconcentratie die niet onderschreden zou moeten worden ter bescherming van het bodemleven in het Grevelingenmeer. Dit is van belang voor de dimensionering van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam en de eisen die in de aanbesteding worden meegegeven om te komen tot een goede zuurstofhuishouding en daarmee een verbetering van de waterkwaliteit in het meer.

De vraag is hoe te komen tot een goed onderbouwde eis voor de minimale concentratie aan zuurstof nabij de bodem voor behoud van een gezond bodemleven.

Achtergrond

Gebleken is dat na de afsluiting van de Brouwersdam in 1971 de kwaliteit van het meer sterk nadelig is beïnvloed door het gebrek aan getijbeweging. Weliswaar heeft de aanleg van een doorlaat in de Brouwersdam in 1978 gezorgd voor het herstel van de verbinding met de Noordzee, maar nog meer dan voorheen ontstond er gelaagdheid als gevolg van temperatuurverschillen tussen oppervlak en diepere delen (Weststeijn 2011). Hierdoor hebben de diepere waterlagen in de voormalige stroomgeulen tijdens periode van stratificatie vaak te maken met zuurstofuitputting en zelfs zuurstofloosheid.

Pogingen om via een operationeel beheer van de Brouwerssluis de condities van de zuurstofhuishouding te verbeteren bleken weinig effectief te zijn. Wel heeft de verbinding met de Noordzee het herstelvermogen van het meer vergroot, waarvan zowel de algehele waterkwaliteit als diverse organismen hebben geprofiteerd (Weststeijn, 2011). Toch laat de kwaliteit van het meer nog veel te wensen over, onder andere vanwege de grootschalige gevolgen van de stratificatie en het optreden van zuurstofarme condities, die voortvloeien uit het stagnante karakter van het meer.

De aanleg van een grotere doorlaat al dan niet in combinatie met getijcentrale is uitgebreid geanalyseerd als onderdeel van de verschillende MIRT scenario's (MIRT verkenningennota, 2012). Gebleken is dat bij een verticaal getij meer dan 40 cm de menging in het meer zodanig is dat de mate van stratificatie sterk wordt gereduceerd en de zuurstofhuishouding met 80 % duurzaam verbeterd. Dit is gebaseerd op een toename van het areaal waarbij de zuurstofconcentratie gedurende 7 aaneengesloten dagen hoger is dan 3 mg l^{-1} (Spiteri en Nolte, 2010). Hierbij wordt opgemerkt dat deze indicator voor de zuurstofconcentratie was gekozen voor onderlinge vergelijking van (gemodelleerde) scenario's en niet rechtstreeks was bedoeld als ecologische toets (A. Nolte, mond. med.).

Kennisvraag

De belangrijkste vragen van dit onderzoek zijn:

1. Hoe groot moet de zuurstofconcentratie (uitgedrukt in mg l^{-1}) minimaal zijn voor een "gezond" bodemleven? In hoeverre sluit dat aan bij de door Deltares gehanteerde indicator van meer dan 3 mg l^{-1} gedurende 7 aaneengesloten dagen?
2. Wanneer treedt welke schade op als gevolg van te lage zuurstofconcentraties? Hoe veel is die zuurstofconcentratie in mg l^{-1} dan?

Aanpak

Op basis van literatuurgegevens en expert judgement zal er in de vorm van een rapportage een advies worden gegeven over de minimale zuurstofconcentraties die nog acceptabel zijn voor het bodemleven in het Grevelingenmeer. Hierbij zal tevens rekening worden gehouden met duur van de zuurstofloosheid. Het is duidelijk dat er een grote diversiteit is in de gevoeligheid van verschillende mariene diergroepen met betrekking tot de zuurstofconcentratie. Er zal een overzicht worden gemaakt van de gevoeligheid van diverse mariene taxa voor zuurstof. Tevens zal er worden besproken welke mechanismen organismen hebben om hiermee om te gaan (e.g. wegzwemmen, anaerobe ademhaling). Dit zal worden vertaald naar de situatie van het Grevelingenmeer. Tevens zal er specifiek aandacht worden besteed aan de commerciële schelpdiersoorten (oesters en mosselen) en kreeften.

Dankwoord

Het conceptrapport is van waardevol commentaar voorzien door A. Nolte (Deltares), waarvoor dank.

2. Voorkomen en exploitatie bodemdieren Grevelingenmeer

Gebiedsbeschrijving

Tot 1964 was de Grevelingen een estuarien getijdenlandschap met uitgestrekte slikken, platen en schorren. Zout Noordzeewater kwam binnen via de monding in het westen en via de oostelijke verbinding met de Oosterschelde; zoetwater van de Rijn en Maas werd aangevoerd via het Krammer-Volkerak. Het zoutgehalte was meer dan $10 \text{ g Cl}^- \text{ l}^{-1}$ en het getijverschil gemiddeld 2.3 m. In die tijd werd het gebied gebruikt voor de mossel- en oesterkweek. In 1964 is de Grevelingen afgesloten van de zoetwaterafvoer van de grote rivieren door de aanleg van de Grevelingendam en veranderde de Grevelingen van een estuarium in een zeearm. Er kwam alleen nog zoutwater via de monding binnen, waardoor de zoet-zout gradiënt verdween en er een open zeearm met getij ontstond. Het zoutgehalte varieerde tussen 14 en $17 \text{ g Cl}^- \text{ l}^{-1}$.

In 1971 is de Grevelingen afgesloten van de Noordzee door de aanleg van de Brouwersdam. Door deze afsluiting is het grootste zoutwatermeer van West Europa ontstaan, het Grevelingenmeer, waar invloed van het getij is verdwenen. De waterbeweging en de menging wordt voornamelijk beïnvloed door wind. Door een neerslagoverschot en lozing van relatief zoet polderwater werd het Grevelingenmeer na 1971 steeds zoeter (Grevelingenmeer, 2010).

De verzoeting had een slechte invloed op de waterkwaliteit van het meer. Daarom is er besloten om spui- en verversingsluizen te bouwen in de dammen. In de Brouwersdam zijn sluiskokers gebouwd die in 1978 zijn voltooid en in de Grevelingendam is in 1983 een hevel aangelegd. De hevel is oorspronkelijk aangelegd om de chloridengehalten in het Zijpe en de Krabbenkreek in de Oosterschelde bij de sluiting van de Philipsdam in 1986 op een aanvaardbaar niveau te houden. Omdat de verversing door de sluiskokers in de Brouwersdam voldoende waren is de hevel niet in gebruik genomen.

Het huidige Grevelingenmeer heeft een totale wateroppervlakte van 108 km^2 (Wattel, 1996). Door het verdwijnen van getij zijn de voormalige zandplaten gevormd tot eilanden (Hompelvoet, Veermansplaat, Dwars in de weg, Stampersplaat) of schiereilanden (Kabbelaarsbank). De voormalige slikken (zoals slikken van Bommedede en Slikken van Flakkee) zijn ontwikkeld tot buitendijkse natuurgebieden. Om erosie van deze eilanden en voormalige slikken tegen te gaan zijn op diverse plaatsen harde oeververdedigingen toegepast (Hoeksema, 2002; De Jong en Van Maldegem, 2010).

De ecologische toestand van het Grevelingenmeer is in de laatste decennia achteruit gegaan, ondanks dat het beheer van de Brouwerssluis een aantal malen is aangepast ten behoeve van de ecologie van het meer. Vooral de stratificatie van de waterkolom en de als gevolg hiervan optredende zuurstofloosheid in de onderste laag heeft een negatief effect op de leefmogelijkheden van bodemdieren in de diepere delen in het Grevelingenmeer (Wetsteijn, 2011). Het inlaten van *Phaeocystis* bloeien door de spuisluis tijdens het voorjaar heeft een versterkend effect op de zuurstofloosheid (Wijsman, 2002; Wetsteyn, 2011). Op de bodem van het Grevelingenmeer worden regelmatig witte matten aangetroffen die veroorzaakt worden door verschillende soorten van de zwavelbacterie *Beggiotoa*. Zuurstofloze condities treden voornamelijk op tijdens het zomerhalfjaar in de diepere geulen van het Grevelingenmeer. Afhankelijk van de windcondities en de temperatuur kan de zuurstofloosheid zich uitbreiden naar de ondiepere delen van het meer. In het beheer van het Grevelingenmeer wordt ernaar gestreefd om het totale oppervlak aan zuurstofarme bodem ($< 1 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) minder dan 5% van het totale oppervlakte te houden (Wetsteyn, 2011).

Lage zuurstofconcentraties ($< 3 \text{ mg l}^{-1}$) in het Grevelingenmeer treden doorgaans voor het eerst op begin mei in de westelijk gelegen diepe putten van Scharendijke en Den Osse waar rond die tijd over het algemeen stratificatie optreedt op een diepte van ongeveer 15-20 m (Fig. 2.1).

Geleidelijk verspreid het zuurstofarme water zich in juni - juli ook over de meer oostelijk gelegen kleinere putten (zoals de putten bij Dreischor en Herkingen) en andere ondiepere delen van het meer (tot op een diepte van ongeveer 7-10 m). Het maximale areaal aan zuurstofarm bodemwater in het Grevelingenmeer wordt meestal aangetroffen eind juni - begin juli. De zuurstofarme condities duren over het algemeen twee tot drie maanden.

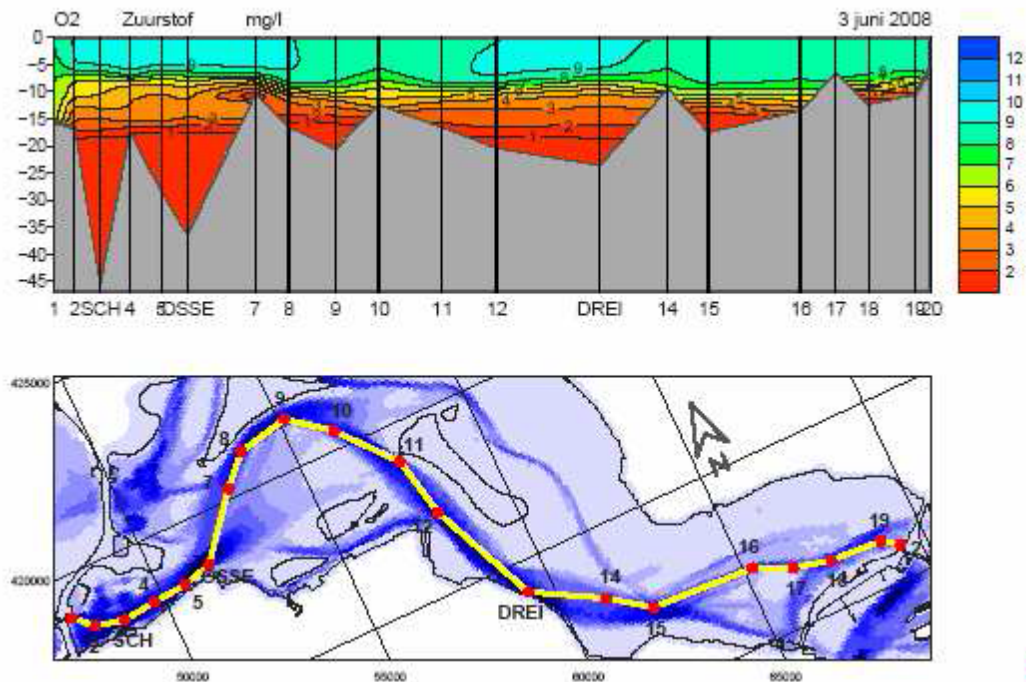


Fig. 2.1. Zuurstofgehalte Grevelingenmeer over de diepte op de aangegeven meetpunten, 3 juni 2008 (Wetsteijn, 2011).

Biomassa's aan bodemdieren vertonen sinds 1993 een dalende trend in zowel het westelijke als oostelijke deel en zijn in de periode van 1996 tot en met 2008 sterk afgenomen. Op zachte substraten waar witte bacteriematten aangetroffen worden (vanaf 6 m diepte, maar vooral dieper verspreid over het hele meer), worden voornamelijk grondels en krabben aangetroffen. Op en in de bodem leven op deze locaties vrijwel geen dieren. Er is ook een verschuiving opgetreden in de bodemdiersamenstelling. De verhouding depositfeeders/filterfeeders neemt toe onder het macrobenthos waardoor er een "vervorming" is opgetreden onder de bodemdiergemeenschap van het zachte substraat (Schaub e.a., 2002; Wetsteijn, 2011).

Het Grevelingenmeer wordt begrensd door dijken en dammen. Met uitzondering van het gebied langs de Slikken van Flakkee is er veel hard substraat in het sublittoraal aanwezig. Het sublittorale hard substraat is rijk begroeid met de specifieke hard substraat levensgemeenschappen. Hierdoor en door het goede doorzicht is het Grevelingenmeer in trek bij sportduikers; de populairste duiklocaties zijn Scharendijke, Den Osse en Dreischor. In het ondiepe deel van het sublittoraal komen vooral bruin- en roodwieren voor, in de diepere delen dieren als sponzen, zakpijpen, schelpdieren, kreeftachtigen en kokerbouwende organismen (Wetsteijn, 2011).

Schelpdierculturen

De kwekers van het Grevelingenmeer gingen er na de sluiting van de Brouwersdam van uit dat het meer een zoet binnenwater zou gaan worden waar geen plaats meer zou zijn voor mossel- of oesterteelt. Uitwijken naar de Oosterschelde leek ook geen mogelijkheid omdat ook dat water op de nominatie stond om volledig afgesloten te worden van zee. De vissers stonden daarmee voor de keus om of de teelt volledig naar de Waddenzee te verplaatsen of over te schakelen op de palingvisserij. Dat laatste deden 12 visserijbedrijven uit Bruinisse, Tholen en Ouddorp. De mosselkwekers onder hen moesten hun mosselpercelen daarvoor inleveren.

Al snel bleek dat oesterbroed zich had afgezet op de tijdens de afsluiting afgestorven mosselbanken. Een ontwikkeling die niemand had voorzien toen in 1964 de Grevelingendam werd aangelegd. Deze platte oesters waren een gewild product. Met instemming van het ministerie van LNV werd een aantal proefvakken uitgezet om de oesterteelt weer te beginnen. De oesterteelt bleek een succes (Grevelingenmeer, 2010).

De spuisluis in de Brouwersdam staat in principe open voor doorspoeling met Noordzeewater uit de Voordelta (W&B, 2012). Met deze spuisluis wordt ook het waterpeil van -0.2 m NAP in het Grevelingenmeer geregeld. Om dit te bereiken moet de sluis ongeveer 8% van de tijd gesloten zijn. Met het water door de spuisluis wordt ook het zoutgehalte in het Grevelingenmeer in stand gehouden en kan de stratificatie en zuurstofloosheid in de diepte putten in het Grevelingenmeer gedeeltelijk worden opgeheven (Wijsman, 2002).

Om de schieraal tijdens hun trek vast te houden in het Grevelingenmeer werd de spuisluis aanvankelijk gesloten in het najaar (eerst 60 dagen en later 30 dagen) zodat de beroepsvissers optimaal op de wegtrekkende schieraal konden vissen. Sinds 2006 is deze 30-dagenregeling opgeheven en is de spuisluis jaarrond open (Grevelingenmeer, 2010).

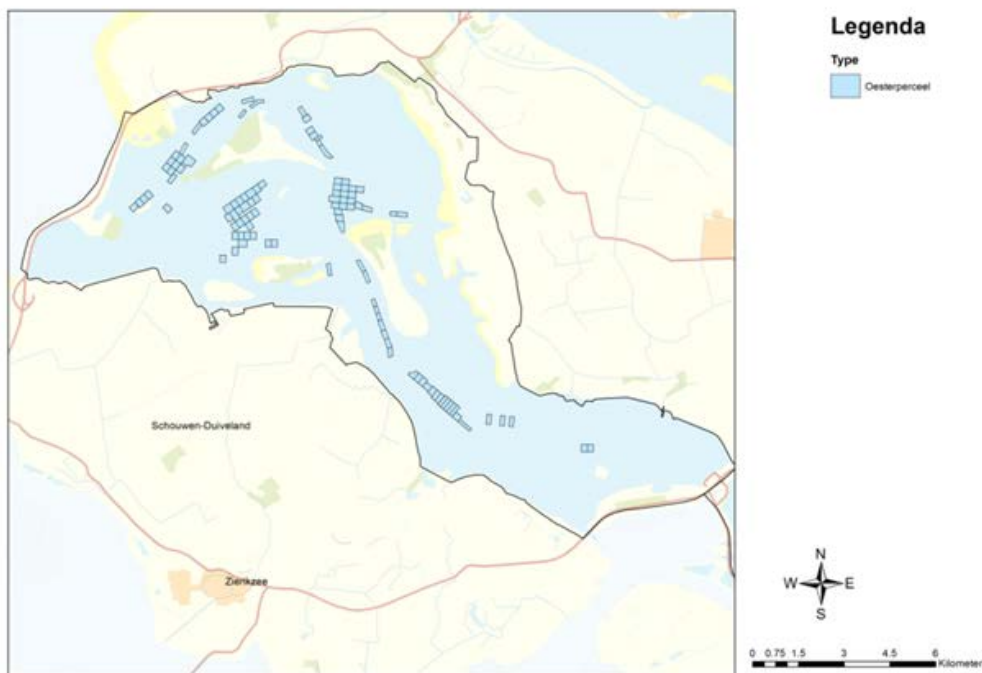


Fig. 2.3 Oesterkweekpercelen Grevelingen (Smaal en Wijsman, 2014).

In het Grevelingenmeer is er bodemcultuur van platte (*Ostrea edulis*) en Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) op kweekpercelen. Verder is er invang van mosselzaad m.b.v. mosselzaadinvang installaties (MZI's). De mosselzaadinvang gebeurt op kleine schaal (2008: 2000 kg). De kweek van oesters in het Grevelingenmeer vindt plaats op afgebakende percelen. Momenteel is 550 ha in het Grevelingenmeer in gebruik voor de kweek van oesters (Fig. 2.3). Elke individuele oesterkweker heeft met het Ministerie van EZ een huurovereenkomst voor het visrecht op oesters op deze percelen. De ca. 110 percelen worden verhuurd aan 35 bedrijven. De huurovereenkomsten met het Ministerie van EZ hebben een looptijd van drie jaar. Dit betreft alleen de oesterpercelen op de gronden van Domeinen. Naast deze gronden heeft het Natuur- en Recreatieschap de Grevelingen gronden in erfpacht, waarbij het schelpdierrecht in bezit is van Staatsbosbeheer (Grevelingenmeer, 2010).

De oestercultuur levert naar schatting op jaarbasis ca. 1 miljoen stuks platte oesters en 5 miljoen stuks Japanse oesters op (Tabel 2.1). Dit is in biomassa ca. 0.3 mln. kg.

Tabel 2.1 *Geschatte aanvoer in aantal*10⁶ van platte en Japanse oesters uit het Grevelingenmeer in de periode 2002 – 2009 (PVIS.nl) (uit Smaal & Wijsman, 2014).*

Aanvoer (10 ⁶ stuks)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	gemiddeld
Japanse oester totaal	31	28	27	26	32	32	20	19	26.88
Japanse oester Grevelingen (geschat)	6.5	5	3.7	5	6	6.6	4.4	3	5.03
Platte oester	0.8	1.2	1.7	0.8	2	0.75	0.4	1.1	0.97

In een windgedreven systeem als het Grevelingenmeer is de diepte een beperkende factor vanwege beperkte menging en daarmee samenhangend risico op voedsel- en zuurstoftekort. Wat betreft de voedselvoorziening in het Grevelingenmeer wordt slechts een klein deel van de voedselproductie gebruikt voor de oesterkweek. De beschikbare fysieke ruimte kan onder de huidige omstandigheden worden beschouwd als de meest beperkende factor voor de oesterkweek. Bij een grotere menging in het systeem door getij is er meer zuurstoftoevoer en ontstaat er meer ruimte voor bodemcultuur (Wijsman e.a., 2014).

Vaste vistuigen visserij

Er zijn thans zeven bedrijven die met behulp van vaste vistuigen vissen op paling, kreeft e.d. Van deze 7 vormen er zes in een combinatie die samenwerken in een onderling roulatiesysteem waarbij iedereen op zijn beurt op de beste plaatsen kan vissen. Eén bedrijf vist buiten dit systeem in een vast individueel blok van het meer tegen de Grevelingendam. Binnen de combinatie is één bedrijf overgenomen door een bestaand actief visserijbedrijf dat daardoor een dubbele inzet kan hebben. Effectief gaat het dus om zes bedrijven die zich richten op paling.

Na de aanleg van een spuisluis in de Brouwersdam in 1978 bleek het meer een geschikt gebied te worden voor oesters en er is een herstart van de kweek van oesters gemaakt. Alle resterende beroepsvissers, op één na, zijn daarop ook in de schelpdiervisserij betrokken. Daarnaast wordt er de laatste jaren op experimentele basis door de visserscombinatie mosselzaad ingevangen met mosselzaad invang installaties met een positief resultaat. Het mosselzaad wordt in de Oosterschelde op percelen uitgezaaid of gebruikt in de hangcultuur. Op het Grevelingenmeer zijn momenteel geen mosselpercelen.

Nadat zich in de Oosterschelde een aanzienlijk kreeften bestand had ontwikkeld, zijn er in 1996 en 1997 kreeften uitgezet in het Grevelingenmeer die tot 2002 niet zijn onttrokken. Dit beleid bleek een succes en vanaf 2002 werden kreeften een waardevolle bijvangst.

In de huidige situatie is er op het Grevelingenmeer alleen nog visserij op kreeft en paling met een kleine bijvangst van wolhandkrab door de beroepsvisserij. Er is geen enkel visserijbedrijf dat zich uitsluitend richt op de visserij op paling en/of kreeft. Alle beroepsvisserij hebben verwante activiteiten in de oestercultuur of visserij buiten het Grevelingenmeer.

3. Minimum zuurstofconcentratie voor bodemdieren

In de literatuur is veel informatie te vinden over de effecten van lage zuurstofgehalten op het bodemleven. Deze bronnen betreffen in veel gevallen studies naar de effecten van overbemesting (eutrofiëring), waarbij de organische belasting van een gebied leidt tot een hoge zuurstofvraag en tekort aan zuurstof, met als gevolg het afsterven van bodemleven. Afsterven van bodemleven doet zich ook voor in het Grevelingenmeer. In de gebieden waar schelpdieren worden gekweekt geldt als norm een minimum van $7 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (Wetsteijn, 2011). Verder is het beheer erop gericht het areaal met een zuurstofgehalte $< 1 \text{ mg l}^{-1}$ zo beperkt mogelijk te houden, en is het streven gericht op een zuurstofgehalte $> 3 \text{ mg l}^{-1}$.

Literatuur review

Uit reviews van Gray e.a. (2002), en Vaquer-Sunyer en Duarte (2008) blijkt dat de tolerantie voor zuurstof verschilt per diergroep.

Tabel 3.1 Overzicht review Gray et al, 2002. Data gebaseerd op literatuurstudie, met effect wordt bedoeld effect op groei, metabolisme, of overleving. Dit is gebaseerd op acute en chronische blootstelling; zie daarom Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008 voor meer gespecificeerde effectanalyse.

Type of organism	Effect	Conc. (mg l^{-1})
Actively swimming fish	Growth	6
Actively swimming fish	Metabolism	4.5
Bottom-living fish	Metabolism	4
Most fishes	Mortality	2
Crabs, shrimps, lobsters, isopods	Growth	2–3.5
Bottom-living isopods	Mortality	1–1.6
Bivalve molluscs	Growth	1–1.5
Annelids	Growth	1–2
Mudskippers	Mortality	1

De resultaten van Gray zijn verder uitgewerkt door Vaquer-Sunyer and Duarte, 2008. Zij hebben 872 publicaties geanalyseerd over hypoxia bij 206 soorten, behorende tot een grote range aan diergroepen. Ze hebben onderscheid gemaakt in zuurstofniveaus die leiden tot sterfte (lethale drempelwaarden), niveaus met gedrags- en fysiologische effecten (sublethaal) en ze hebben de tolerantieduur (mediane lethale duur) geanalyseerd.

Uit figuur 3.1 blijkt dat kreeftachtigen het meest gevoelig zijn en relatief snel afsterven bij lage zuurstofgehalten. Er is ook een verband met mobiliteit: mobiele dieren zijn gevoeliger dan vastzittende organismen. Sublethale effecten treden relatief snel op bij afnemende zuurstofgehalten bij vissen; bijv. de kabeljauw heeft al snel een verhoogde ventilatiesnelheid. Er zijn veel soorten, met name de schelpdieren, die kunnen overgaan op anaerobe ademhaling, waardoor ze enige tijd bestand zijn tegen lage zuurstofgehalten.

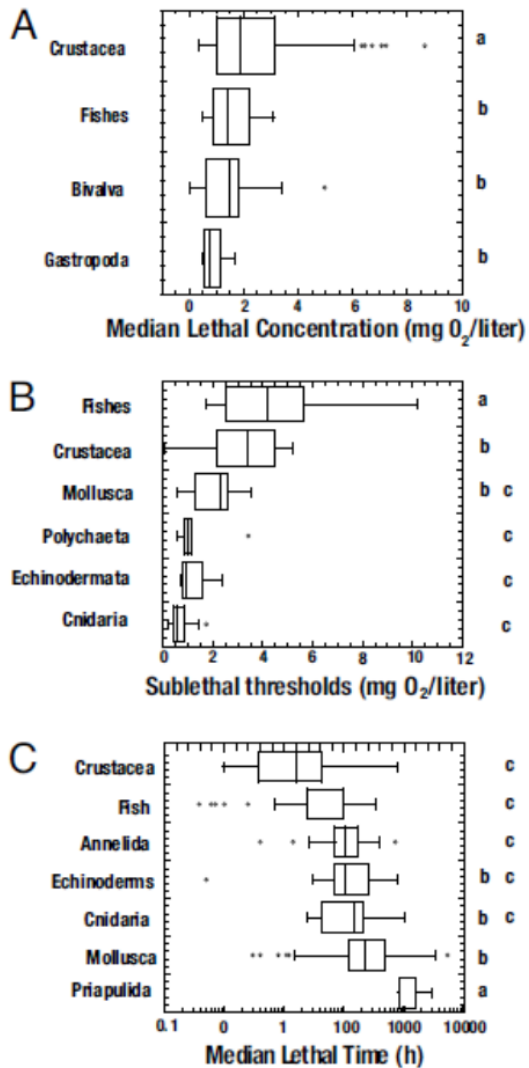
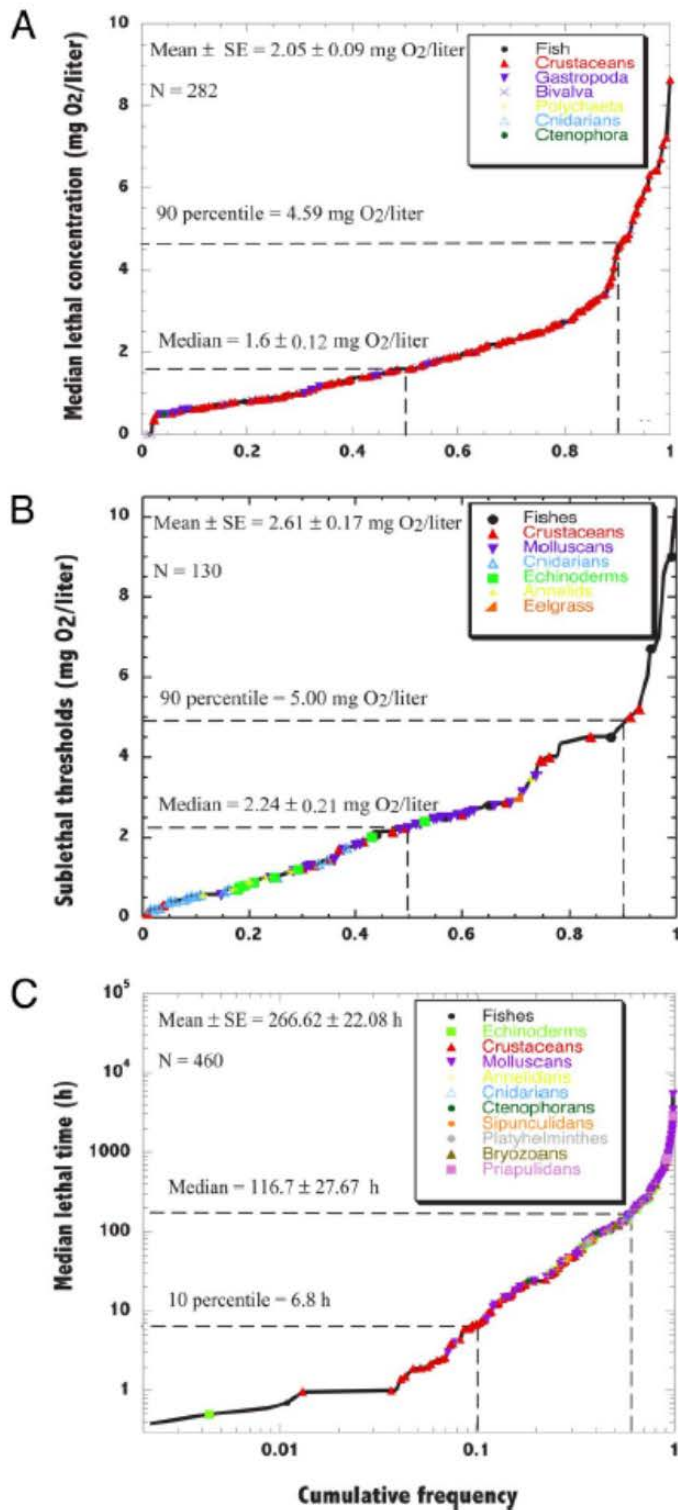


Fig. 3.1 Box plots met mediane zuurstof drempelwaarden en de bandbreedte, per diergroep met de LC_{50} (de concentratie waarbij de helft van de proefdieren afsterft, bovenste figuur), de SLC (waarbij de helft van de dieren effecten vertoont, middelste figuur) en de LT_{50} (de tijd tot sterfte van de helft van de proefdieren bij $< 2 \text{ mg.l}^{-1}$, onderste figuur) (Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008).

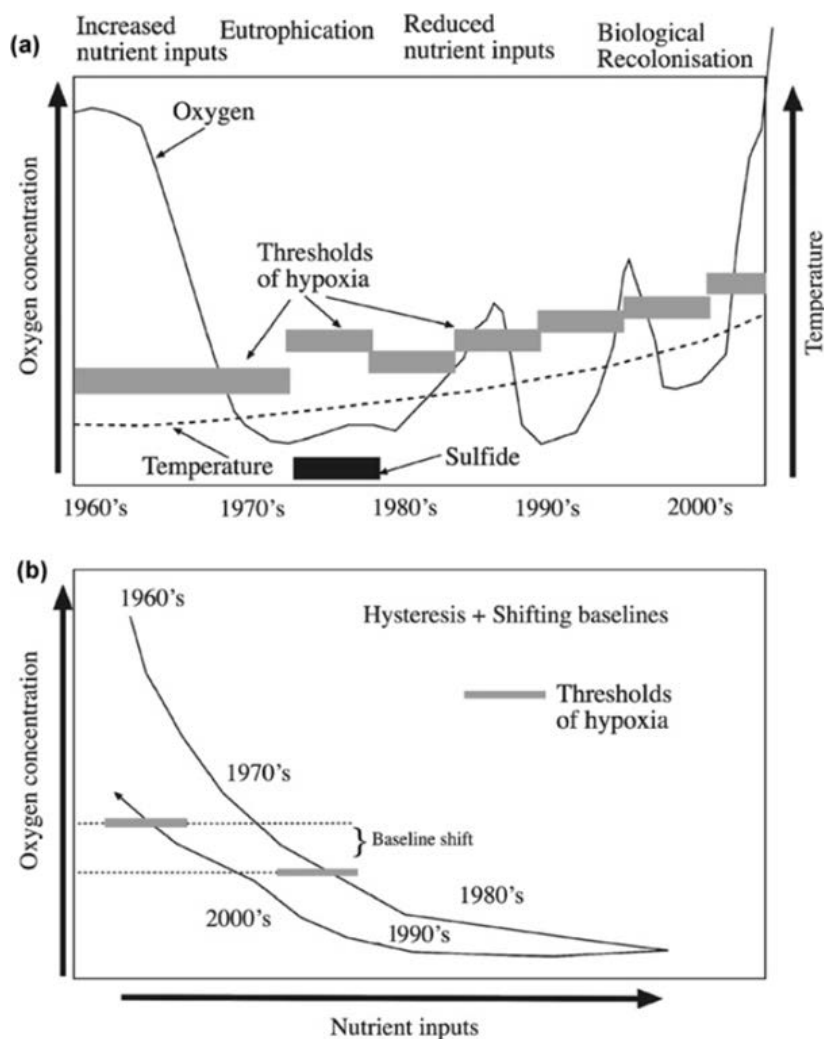
Uit fig. 3.2 blijkt dat het 90^e percentiel (waarbij 10 % van de onderzochte organismen lethale effecten vertoont) een drempelwaarde vertoont over alle diergroepen van $4,59 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, terwijl de mediaan ligt op $1,6 \text{ mg l}^{-1}$. Voor de sublethale respons gelden respectievelijk 5 en $2,24 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, en voor de lethale duur 6,8 uur voor de 10 % meest gevoelige soorten, met een mediaan van 116,7 uur. Uit de figuur blijkt ook de grote spreiding binnen de soortgroepen.



Figuur 3.2 Cumulatieve frequentie van de drempelwaarden in zuurstofconcentraties voor de verschillende diergroepen met daarbij aangegeven de mediaan (50^e), het 10^e en het 90^e percentiel voor (A) lethale effecten, (B) sublethale effecten en (C) lethale duur bij acute hypoxia. (Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008).

Uit fig. 3.1C blijkt de volgorde in gevoeligheid, die wat betreft lethale tijd oploopt van de peniswormen (Priapulidae), via weekdieren (Mollusken), holtedieren (Cnidaria), stekelhuidigen (Echinodermen), gelede wormen (Annelida), vissen (Pisces) en kreeftachtigen (Crustaceeën). Dit correspondeert met de lethale concentraties (Fig. 3.1A).

Uit de studie van Steckbauer e.a. (2011) komt naar voren dat de gevoeligheid voor lage zuurstofgehalten varieert met de overige omgevingscondities, zoals temperatuur en organische belasting. In figuur 3.3 is dit schematisch weergegeven. Dit wijst erop dat grenswaarden in de loop der tijd kunnen verschuiven.



Figuur 3.3. Conceptueel diagram van de ontwikkeling van hypoxia-drempelwaarden in relatie tot trends in vervuiling en temperatuurstijging. Dit leidt tot een verschuiving in de referentiewaarde, naar hoger niveau (Steckbauer et al, 2011)

Verder is bekend dat bepaalde stadia in de ontwikkeling van populaties relatief gevoelig zijn, zoals het larven stadium. Uit Gobler e.a. (2014) komt naar voren dat hypoxia bij schelpdierlarven leidt tot lagere groeisnelheid en uitstel van de metamorfose. Dit effect en ook de sterfte is groter indien er ook sprake is van verlaagde pH. Er is dus een verband met verzuring.

Hieruit komt naar voren dat tolerantie voor lage zuurstofgehalten mede afhankelijk is van temperatuur en pH, en deze parameters veranderen als gevolg van klimaatverandering.

In gebieden waar zuurstoftekort optreedt, kan er een verschuiving in de levensgemeenschap optreden. De meest gevoelige soorten zullen het eerst reageren waardoor de andere soorten meer ruimte krijgen. Verder zal er na sterfte door zuurstoftekort ook een verschuiving in de levensgemeenschap optreden omdat de her-kolonisatie start met de opportunistische soorten (Vaquer-Sunyer en Duarte, 2008; Vaquer-Sunyer en Duarte, 2011).

De relatie met nutriëntenbeheer wordt door Conley e.a. (2009) benadrukt. Hypoxia leidt tot sterfte van bodemdieren, maar ook tot andere uitwisseling tussen water en bodem, waardoor er extra nutriënten kunnen vrijkomen, die tot eutrofiëring leiden waardoor zuurstoftekort weer groter wordt.

Implicaties voor het beheer van de Grevelingen

Bodemleven

In het Grevelingenmeer zijn de gangbare diergroepen op hard en zacht substraat vertegenwoordigd. De grenswaarden van tolerantie voor lage zuurstofconcentraties voor de verschillende groepen verschillen. In tabel 3.2 zijn de resultaten van de literatuurreview samengevat. Indien voor LC₅₀ wordt gekozen voor de meest gevoelige categorie, is de grenswaarde 2,54 mg O₂ l⁻¹. Indien uitgegaan wordt van LC₉₀, dan komt de grenswaarde uit op 5,72 mg O₂ l⁻¹. Hierbij is geen rekening gehouden met een veiligheidsmarge ten behoeve van worst case zomertemperaturen en gevoelige stadia.

Tabel 3.2. Hypoxia toleranties in mg O₂ l⁻¹ voor mariene bodemdieren (naar Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008)

	LC 50	LC 90	SLC 50	LT 50 (uur)
Vis	1.54	2.51	4.41	60
Kreeftachtigen	2.54	5.72	3.21	55.5
Slakken	0.89	1.62		
Tweekleppigen	1.42	3.43	1.99	412
Wormen			1.2	132.2
Stekelhuidigen			1.22	201.1
Holtedieren			0.69	232.5

Voor de beheervraag van het Grevelingmeer geldt dat de grenswaarde van het zuurstofgehalte is gerelateerd aan een ruimtelijke en temporele begrenzing van de overschrijding van de grenswaarde. Dat betekent dat er in het resterende gebied het zuurstofgehalte normaliter een hogere waarde zal hebben. Indien het minimum areaal en de minimum overschrijdingstijd beperkt zullen blijven – *stel* 5 % van het totaal -, dan is het logisch uit te gaan van de LC50 als ondergrens ten behoeve van de bescherming van de populaties van gevoelige soorten, en dit bedraagt dus **2,54 mg O₂ l⁻¹**. Een eventuele temporele begrenzing kan worden gebaseerd op de lethale duur voor niet mobiele fauna, met name wormen en stekelhuidigen, waarvan de LT50 respectievelijk 132 en 201 uur bedraagt. Dit betekent dat 95 % van het areaal vrijwel het gehele jaar voldoende zuurstofrijk is voor het voortbestaan van gevoelige populaties.

Visserij en oesterkweek

Schelpdierkweek en vaste vistuigen visserij worden uitgevoerd in geselecteerde gebieden, omdat de meest optimale locaties worden gekozen, uiteraard met in acht neming van ruimte voor andere functies zoals scheepvaart e.d. Ten opzichte van de stagnante uitgangssituatie is er onder omstandigheden met getij in alle gevallen een betere zuurstofvoorziening.

Er kan vanuit worden gegaan dat een ondergrens van het zuurstofgehalte op basis van de LC50 (2,54 mg O₂ l⁻¹), gesteld dat die in maximaal 5 % van het gebied optreedt, voldoende waarborgen biedt voor gunstige leefomstandigheden van commercieel interessante soorten. De exploitatie door oesterkweek en vaste vistuigvisserij krijgt in principe meer mogelijkheden bij instellen van getij doordat er minder kans is op laag zuurstofgehalte en potentieel geschikt areaal groter wordt (zie Smaal & Wijsman, 2014).

4. Conclusies

Uit deze studie blijkt dat er in de literatuur voldoende referenties beschikbaar zijn voor een inschatting van grenswaarden voor het zuurstofgehalte voor verschillende soortgroepen zeedieren. Aan een recente review zijn 50 % en 90 % grenswaarden ontleend voor overleving, en ook voor effecten van lage zuurstofgehalten op gedrag en fysiologie. Omdat er in het beheer wordt uitgegaan van een minimum areaal van 5 % waarvoor de grenswaarde van toepassing is en dus 95 % altijd hogere zuurstofwaarden zal hebben, kan de LC50 grens worden gehanteerd, dat is de grenswaarde voor overleving van 50 % van de populatie, om het in stand houden van de populatie als geheel in de rest van het areaal te waarborgen. De grenswaarde bedraagt dan 2,54 mg O₂ mg per liter. Indien er ook een maximale duur voor de minimum zuurstofwaarden wordt gehanteerd, kan deze worden gebaseerd op de lethale tijd die voor wormen 5,5 dagen en voor stekelhuidigen 8,3 dagen bedraagt.

Beantwoording kennisvragen

Hoe groot moet de zuurstofconcentratie (uitgedrukt in mg/l) minimaal zijn voor een "gezond" bodemleven? Is de huidige aanname van een minimum zuurstofgehalte van 3 mg/l te onderbouwen?

Uit de studie komt naar voren dat een minimum zuurstofgehalte van **2,54 mg O₂ l⁻¹** kan worden gehanteerd voor maximaal 5 % van het areaal, en voor een beperkte duur; dit biedt voldoende waarborgen voor een gezond bodemleven in het Grevelingenmeer. Bij deze grenswaarde is er volgens de literatuur een sterfte van 50 % mogelijk onder de relatief gevoelige soortgroep kreeftachtigen. Aangezien deze mobiel zijn kan worden verondersteld dat ze een laag zuurstofgehalte kunnen ontvluchten.

Wanneer treedt welke schade op als gevolg van een slechte zuurstofhuishouding. Hoe veel is die zuurstofconcentratie in mg/l dan?

Waar het gaat om schade kan worden opgemerkt dat de zuurstofhuishouding onder getij condities in het Grevelingenmeer in alle gevallen gunstiger is. Uit de literatuur blijkt dat de lethale duur bij acuut zuurstofgebrek varieert van 55,5 uur voor kreeftachtigen tot 412 uur voor tweekleppige schelpdieren. Dat wil zeggen dat er bij een zuurstofgehalte van minder dan 2 mg/l na ruim 2 dagen 50 % van de kreeftachtigen dood is. Omdat kreeften mobiel zijn, en het mogelijk is dat ze een laag zuurstofgehalte kunnen ontvluchten, is voor de maximale duur de waarde voor wormen aangehouden (5,5 dagen).

Referenties

- Conley, D. J., J. Carstensen, R. Vaquer-Sunyer en C. M. Duarte (2009) Ecosystem thresholds with hypoxia. *Hydrobiologia* 629: 21-29.
- De Jong, D. J. en D. C. Van Maldegem (2010) Invloed getij op oevers Grevelingen Meer. Huidige ontwikkeling en prognoses voor scenario's T50, T70 en T100. Rijkswaterstaat Dienst Zeeland, Rapport, 49 pagina's.
- Gobler, C. J., E. L. DePasquale, A. W. Griffith en H. Baumann (2014) Hypoxia and acidification have additive and synergistic negative effects on the growth, survival, and metamorphosis of early life stage bivalves. *PLoS ONE* 9: e83648.
- Gray, J. S., R. S. S. Wu en Y. Y. Or (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 238: 249-279.
- Grevelingenmeer, V. (2010) Visplan Grevelingenmeer, Rapport, 108 pagina's.
- Hoeksema, H. J. (2002) Grevelingenmeer van kwetsbaar naar weerbaar? RIKZ Middelburg, Rapport nummer: RIKZ/2002.033.
- MIRT, 2012. Verkenningnota, MInI&M
- Schaub, B. E. M., D. Van Oevelen, W. C. H. Sijm, M. Rietveld, P. M. J. Herman en H. H. Hummel (2002) Veranderingen in de Samenstelling van het Macrobenthos van het Grevelingenmeer (periode 1990-2000) en mogelijke Oorzaken. NIOO-CEME, Rapport nummer: 2002-01, 109 pagina's.
- Smaal, A. C. en J. W. M. Wijsman (2014) Kansen voor schelpdiercultuur in Grevelingen en Volkerak-Zoommeer bij ander waterbeheer. IMARES, Rapport nummer: C045/14, 32 pagina's.
- Spiteri, C. en A. J. Nolte (2010) Validatie van het 3D model van het Grevelingenmeer voor hydrodynamica, waterkwaliteit en primaire productie. Deltares, Rapport nummer: 1201650-000-ZKS-0015, 48 pagina's.
- Steckbauer, A., C. M. Duarte, J. Carstensen, R. Vaquer-Sunyer en D. J. Conley (2011) Ecosystem impacts of hypoxia: thresholds of hypoxia and pathways to recovery. *Environmental Research Letters* 6: 12pp.
- Vaquer-Sunyer, R. en C. M. Duarte (2008) Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *PNAS* 105: 15452-15457.
- Vaquer-Sunyer, R. en C. M. Duarte (2011) Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms. *Global Change Biology* 17: 1788-1799.
- W&B (2012) MIRT Verkenning Grevelingen. Milieueffectrapport. Witteveen & Bos, Rapport, 55 pagina's.
- Wattel, G. (1996) Grevelingenmeer: uniek maar kwetsbaar. RIKZ, Rapport nummer: RIKZ-96.014, 101 pagina's.
- Wetsteyn, L. P. M. J. (2011) Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingen voor de periode 1999 t/m 2008 - 2010 in vergelijking met de periode 1990 t/m 1998. RWS Waterdienst, Rapport, 163 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. (2002) Stratificatie en zuurstofdeficiëntie in het Grevelingenmeer. RIKZ Middelburg, Rapport nummer: RIKZ/AB/2002.819X, 64 pagina's.
- Wijsman, J. W. M., P. C. Goudswaard, M. J. J. Kotterman en A. C. Smaal (2014) Quick scan: Effecten zout getij Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer op visserij en aquacultuur. IMARES, Rapport nummer: C013/14, 52 pagina's.

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Verantwoording

Rapport : C022/15
Projectnummer : 4303000006-13 2014

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. P. Kamermans
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 3 februari 2015

Akkoord: Dr. Ing. R.E. Trouwborst
Hoofd afdeling Delta en Aquacultuur

Handtekening:



Datum: 3 februari 2015