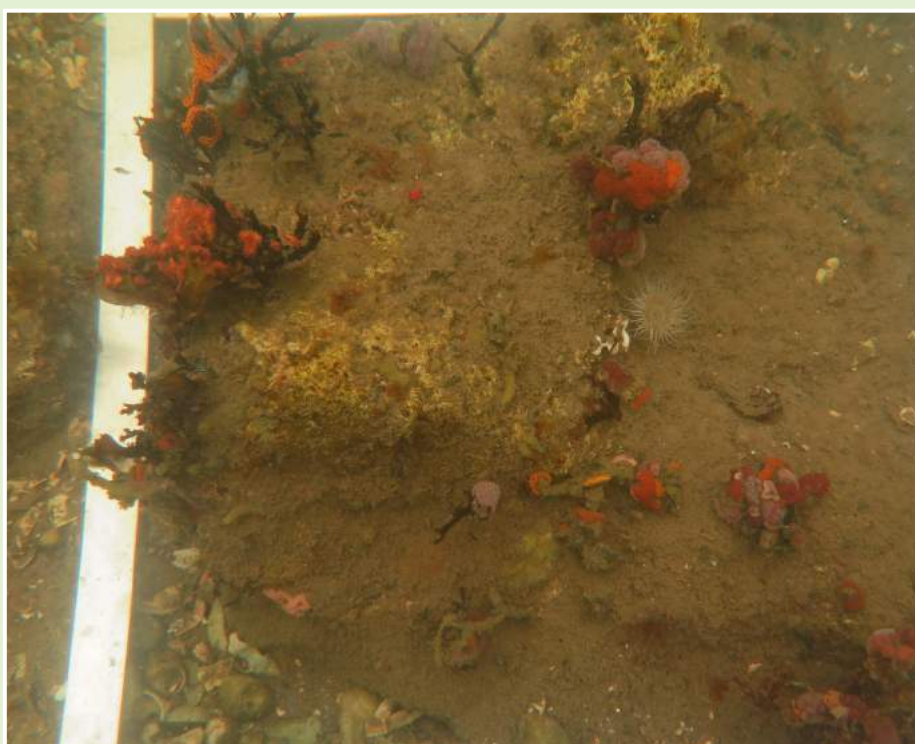
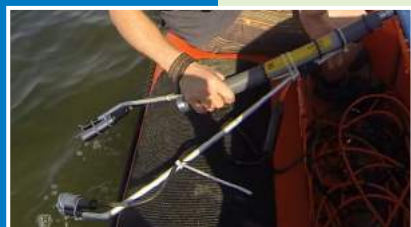


De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer IV

Zomer 2016

Nulmeting effect Flakkeese spuisluis (T0)



K. Dideren
J.H. Bergsma
F. Driessen
W. Lengkeek



Bureau Waardenburg bv
Adviseurs voor ecologie & milieu


De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer IV

Zomer 2016 - Nulmeting effect Flakkeese spuisluis (T0)

drs. K. Didderen, ir. J.H. Bergsma, F. Driessen M.Sc., dr. W. Lengkeek

Status uitgave: concept

Rapportnummer: 16-136
Projectnummer: 16-370
Datum uitgave: 7 november 2016
Projectleider: Drs. K. Didderen
Naam en adres opdrachtgever: Rijkswaterstaat Zee en Delta
Postbus 556 3000 AN Rotterdam
Referentie opdrachtgever: 16-370/16.04630/KarDi
Akkoord voor uitgave: drs. A.J.M. Meijer



Paraaf:

Graag citeren als: Didderen, K., F. Driessen, J.H. Bergsma & W. Lengkeek 2016. De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer IV. Zomer 2016 - Nulmeting effect Flakkeese spuisluis (T0). Bureau Waardenburg Rapportnr. 16-136. Bureau Waardenburg, Culemborg.

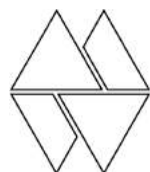
Trefwoorden: Grevelingenmeer, zuurstof, bacteriematten, Flakkeese spuisluis, onderwatermonitoring

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 hierboven aangegeven vrijwaart Bureau Waardenburg bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Bureau Waardenburg bv / Rijkswaterstaat Zee en Delta

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden vervaardigd 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.

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Bureau Waardenburg bv is door CERTIKED gecertificeerd overeenkomstig ISO 9001:2008.



Bureau Waardenburg bv
Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

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

Voorwoord

Rijkswaterstaat Zee en Delta heeft Bureau Waardenburg opdracht verleend om, in navolging van 2010, 2011 en 2013, in 2016 onderzoek te doen naar de bodemtoestand van het Grevelingenmeer, zodat de huidige toestand (T0) in de toekomst kan worden vergeleken met de toestand na openstelling van de Flakkeese spuisluis. Op 14 en 19 augustus 2016 is de bodem van het Grevelingenmeer geïnspecteerd met een Novasub videosysteem (drop-cam), waarbij op iedere locatie foto's zijn gemaakt en in het veld een beschrijving van de bodem is opgesteld aan de hand van de live videobeelden. Aanvullend is abundante fauna geïnventariseerd op basis van 'underwater visual census' transecten (UVC) en mobiele fauna gemeten op basis van stationaire video-observaties. De voorliggende rapportage bevat de resultaten van deze nulmeting.

Het onderzoek is uitgevoerd door een projectteam van Bureau Waardenburg bestaande uit:

Karin Dideren	projectleiding, veldwerk, rapportage
Joost Bergsma	veldwerk
Floor Driessen	videoanalyse
Lieuwe Anema	kaartvervaardiging
Wouter Lengkeek	veldwerk, rapportage

Vanuit Rijkswaterstaat is het project begeleid door Paul Paulus. Wij willen iedereen hartelijk bedanken voor hun bijdrage aan dit project.

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Nulmeting condities Grevelingenmeer (oostelijk deel).....	9
1.3 Doel.....	10
1.4 Leeswijzer.....	10
2 Materiaal en methoden.....	11
2.1 Uitvoeringsperiode en locaties 2016.....	11
2.2 Video inspecties van de bodem (drop-cam).....	12
2.3 Stationaire videokartering mobiele fauna	15
2.4 UVC transecten bodemgemeenschappen (epifauna).....	15
2.5 Uitwerking en analyse.....	16
3 Resultaten	19
3.1 Zuurstofcondities	19
3.2 Witte bacteriematten	22
3.3 Schade aan bodemleven.....	25
3.4 Levensgemeenschappen op de bodem.....	27
3.5 Aanwezigheid van mobiele fauna	28
4 Discussie	29
4.1 Variatie verspreiding witte bacteriematten	29
4.2 Effect van weer en periodes van zuurstofloosheid op de meting.....	29
4.3 Relatie met waterdiepte en afstand tot de spuisluis.....	30
4.4 Effecten op het bodemleven.....	31
5 Conclusies en aanbevelingen	33
5.1 Conclusies	33
5.2 Aanbevelingen.....	33
6 Literatuur.....	35

Samenvatting

In het voorjaar van 2017 wordt de Flakkeese spuisluis in werking gesteld. Hiermee wordt een tweezijdige verbinding tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer gerealiseerd. Het voorgestelde nieuwe sluisbeheer kan de zuurstofcondities nabij de spuisluis verbeteren en daarom positieve gevolgen hebben voor de zuurstofconcentratie nabij de bodem en de aanwezigheid van de thans verarmde gemeenschappen van mobiele fauna en bodemdieren in het Grevelingenmeer.

Om vast te stellen of de voorspelde effecten optreden en de zuurstofcondities aan de bodem verbeteren in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer, is het wenselijk in de toekomst deze effecten van de spuisluis op de bodemkwaliteit te monitoren. Het volgen van de ontwikkeling van de bodemfauna en witte bacteriematten is hierbij een goede graadmeter voor de zuurstofconditie en ecologische kwaliteit van de bodem. Om de toestand van de bodem na openstelling van de spuisluis te kunnen vergelijken met de toestand van de bodem in de huidige situatie, is het noodzakelijk over een goede nulmeting (T0) te beschikken: een toestandsbeschrijving vóór dat er effecten optreden.

In augustus 2016 is een video inspectie van de bodem uitgevoerd op 53 locaties in het Grevelingenmeer. Op elke locatie zijn foto's van de bodem gemaakt en is aan de hand van live videobeelden een beschrijving van de situatie onder water opgesteld. Zo is de verspreiding van de kenmerkende witte matten van *Beggiatoa* bacteriën in kaart gebracht, evenals andere vormen van zichtbare schade aan het bodemleven. Tevens is de zuurstofconcentratie nabij de bodem gemeten. Aanvullend is epifauna geïnterviewd op basis van onderwater visual census (UVC) transecten en mobiele fauna gemeten op basis van stationaire video observaties.

In augustus 2016 variëren de gemeten zuurstofconcentraties nabij de bodem van 0 tot 9,5 mg/l. Lage zuurstofconcentratie (<3 mg/ l O₂) werden overwegend in de diepe putten aangetroffen, terwijl de meeste locaties in directe omgeving van de spuisluis in 2016 werden gekenmerkt door goede zuurstofomstandigheden (> 6 mg/l O₂).

Witte bacteriematten zijn aangetroffen op 39 locaties (74%). Net als in eerdere jaren vertoont de verspreiding een 'patchy' patroon. In totaal is in 2016 op 35 locaties (66 %) schade aan het bodemleven zichtbaar. De zichtbare schade komt verspreid over het onderzochte gebied voor. Locaties met meer dan 50% bedekking met bacteriematten en locaties met geen enkel bodemleven zijn allen dieper gelegen (tussen 9,8 en 19,5 meter).

De UVC metingen richten zich op een inventarisatie van abundante en goed zichtbare taxa. Binnen drie transecten zijn in augustus 2016 29 taxa waargenomen verdeeld over in totaal negen soortgroepen. De abundante en goed zichtbare taxa binnen de levensgemeenschappen bestaan uit anemonen (4 taxa), mollusken (7 taxa), vis (2

taxa), geleedpotigen (5 taxa), sponzen (2 taxa) en zakpijpen (5 taxa), wieren, kiezelwieren en borstelwormen.

Er zijn zeven mobiele taxa waargenomen op stationaire onderwaterbeelden in de nabijheid van de Flakkeese spuisluis, te weten alikruik (*Littorina sp.*), geknikte aasgarnaal (*Praunus flexuosus*), zwemkrab (*Liocarcinus sp.*), strandkrab (*Carcinus maenas*), steurgarnaal (*Palaemon sp.*), grondels (*Pomaschistus sp.*) en kornaarvis (*Atherina presbyter*).

De gegevens die in dit rapport zijn beschreven dienen als basis en nulmeting (T0) voor een effectbepaling van de openstelling van de Flakkeese spuisluis. Wanneer de gegevens in de toekomst op dezelfde wijze worden verzameld kunnen ze gebruikt worden voor een effectbepaling van BA (Before After, voor na) of BACI (Before After, Control Impact) analyses.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het Grevelingenmeer komt zuurstofdeficiëntie voor in zowel de waterkolom als in de bodem (Hoeksema 2002; Lengkeek *et al.* 2007). Duidelijk is, dat de zuurstofhuishouding in het Grevelingenmeer niet voldoet aan de gestelde beheersdoelstellingen (Hoeksema 2002; Bouma *et al.* 2008; Wetsteijn 2011). Daarnaast zijn er in het Grevelingenmeer neergaande ecologische trends gesignaleerd die mogelijk gerelateerd zijn aan de zuurstofproblematiek (Bouma *et al.* 2008) en wordt er een steeds verdere verspreiding van de witte *Beggiatoa* matten geconstateerd (Nolte & Basch 2011). In de waterkolom lijkt het proces van zuurstofloosheid voornamelijk veroorzaakt te worden door gecombineerde zout- en temperatuurstratificatie en geringe dynamiek gedurende de zomermaanden.

Na een zuurstofarme periode vindt snel kolonisatie van witte bacteriematten (*Beggiatoa*) plaats. *Beggiatoa* is een bacterie die voor zijn metabolisme gebruik maakt van zowel zuurstof als waterstofsulfide. Wanneer het grensvlak van sulfide en zuurstof boven het sediment oppervlak komt te liggen, kunnen de bacteriën witte matten op de bodem vormen. De bacteriën in de matten vangen van onder zwavelwaterstof in en van boven zuurstof dat zich in de waterkolom bevindt. Door het gebruik van zuurstof kunnen de bacteriën zorgen voor een toename van zuurstofloze condities. *Beggiatoa* matten kunnen worden gezien als een indicator van organische belasting en (tijdelijke) zuurstofarme of zuurstofloze omstandigheden (Nolte & Basch 2011).

Openstelling Flakkeese spuisluis

In het voorjaar van 2017 wordt de Flakkeese spuisluis in werking gesteld. Hiermee wordt een tweezijdige verbinding tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer gerealiseerd.

Het voorgestelde nieuwe sluisbeheer kan de zuurstofcondities nabij de spuisluis verbeteren en daarom positieve gevolgen hebben voor de zuurstofcondities en de aanwezigheid van de thans verarmde gemeenschappen van mobiele fauna en bodemdieren in het Grevelingenmeer.

1.2 Nulmeting condities Grevelingenmeer (oostelijk deel)

Om vast te stellen of de voorspelde effecten optreden en de zuurstofcondities aan de bodem verbeteren in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer, is het wenselijk in de toekomst deze effecten van de spuisluis op de bodemkwaliteit te monitoren. Het volgen van de ontwikkeling van de bodemfauna en witte bacteriematten is hierbij een goede graadmeter voor de zuurstofconditie en ecologische kwaliteit van de bodem. Om de toestand van de bodem na openstelling van de spuisluis te kunnen vergelijken met de toestand van de bodem in de huidige situatie, is het noodzakelijk over een

goede nulmeting (T0) te beschikken: een toestandsbeschrijving vóór dat er effecten optreden.

1.3 Doel

De doelstelling van het onderzoek is:

- Het vastleggen van de toestand van de bodem (zuurstofcondities, verspreiding van witte bacteriematten en andere, zichtbare schade aan het bodemleven, aanwezige fauna) in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer voorafgaand aan de openstelling van de Flakkeese spuisluis (nulmeting)

De vastlegging dient als nulsituatie (T0) voor het Grevelingenmeer voorafgaand aan de openstelling van de Flakkeese spuisluis. Deze nulmeting kan in de toekomst worden vergeleken met de toestand na openstelling van de Flakkeese spuisluis waarna kan worden vastgesteld of er veranderingen optreden en de zuurstofcondities aan de bodem verbeteren.

1.4 Leeswijzer

Voorliggende rapportage beschrijft een onderzoek waarin 53 locaties zijn onderzocht ten bate van een nulmeting. De te verwachten effecten van de opening van de Flakkeese spuisluis beperken zich tot het oostelijke deel van het Grevelingenmeer. 40 locaties vallen binnen de invloedssfeer van de spuisluis. Daarnaast zijn er 'referentielocaties' onderzocht die buiten de voorspelde invloedssfeer zijn gelegen.

De volgende aspecten zijn onderzocht:

- De zuurstofcondities nabij de waterbodem (§3.1).
- Aanwezigheid van en bedekkingspercentages van witte bacteriematten (*Beggiatoa*) (§3.2).
- Zichtbare schade (t.g.v. zuurstofdeficiëntie) aan het bodemleven (§3.3).
- Toestand en samenstelling van de abundante levensgemeenschappen op de bodem (epifauna) middels gestandaardiseerde transecten (§3.4).
- Kwantitatieve maat voor mobiele fauna middels stationaire videomonitoring (§3.5).

Om de resultaten van de metingen in 2016 goed te kunnen vergelijken met de eerder uitgevoerde onderzoeken, en deze plus eerdere onderzoeken in samenhang als nulsituatie te kunnen beschouwen, zijn in 2016 locaties bezocht die in 2010 of in 2013 zijn geïnspecteerd.

Op basis hiervan is de toestand in 2016 (T0) van de onderwaterbodem in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer vastgesteld.

2 Materiaal en methoden

2.1 Uitvoeringsperiode en locaties 2016

Uitvoeringsperiode

Zuurstofarme condities in en nabij de waterbodem kunnen het hele jaar voorkomen, maar zijn het meest nadrukkelijk aanwezig na een warme periode in de zomer. Het onderzoek in 2016 is gericht op het in beeld brengen van de situatie waarbij de omvang van de zuurstofproblematiek naar verwachting het grootst is. De inspectie is dan ook uitgevoerd na een warme periode in de zomer van 2016, op 14 en 19 augustus 2016 uitgevoerd. Op 14 augustus was er een vrij krachtige wind (NW5), op 19 augustus een matige zuiden wind (ZZO3).

Aanvullende stationaire beelden nabij de spuisluis (§2.3) zijn verzameld na de baggerwerkzaamheden in augustus en september, op 30 september en 1 oktober. Omdat de omstandigheden in de zomer van jaar tot jaar verschillen zijn deze nieuwe gegevens in samenhang met de gegevens uit 2010 en 2013 (Lengkeek & Bouma 2010; Didderen *et al.*, 2013) gerapporteerd en zodanig als nulmeting beschreven.

Locaties

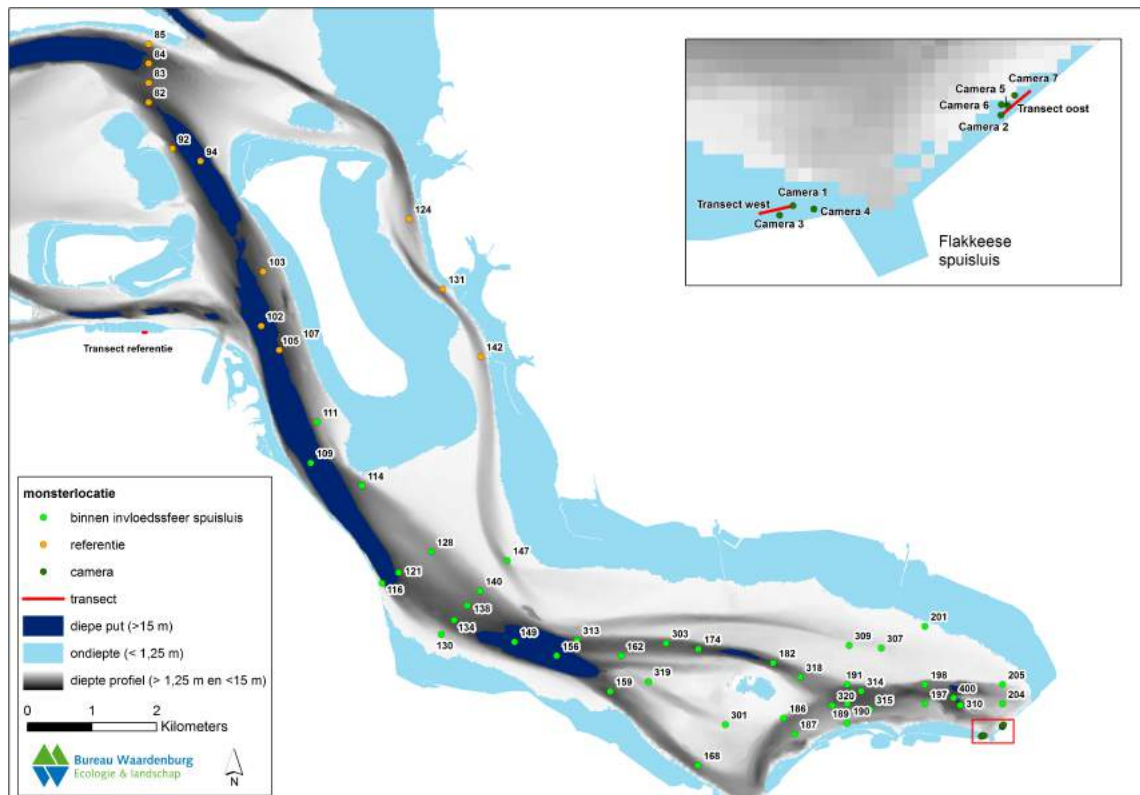
Video inspecties op 53 locaties zijn uitgevoerd met een NOVASUB videosysteem (drop-cam) (§2.2). Aanvullend is de aanwezigheid van mobiele fauna gekwantificeerd op basis van stationaire video observaties op 8 locaties (§2.3) en abundante soorten van de bodemgemeenschap (epifauna) op basis van 3 UVC transecten (§2.4) (Figuur 2.1).

Invloedsfeer, referentiegebied

Er zijn twee groepen van locaties

1. Invloedsfeer spuisluis: De te verwachten effecten van de opening van de Flakkeese spuisluis beperken zich tot het oostelijke deel van het Grevelingenmeer. Er zijn 40 locaties binnen de voorspelde invloedsfeer van de spuisluis geselecteerd. De invloedsfeer omvat alle locaties ten zuiden en oosten van de Veermansplaat (Figuur 2.1; groen).
2. Referentie. Er zijn 13 'referentielocaties' gekozen buiten de invloedsfeer. Deze locaties zijn identiek aan locaties die zijn bezocht in 2010 en 2013 (Figuur 2.1; oranje).

De grens tussen de twee gebieden is bepaald aan de hand van het rapport Zijl & Nolte (2006, en pers com. A. Nolte 2016).



Figuur 2.1 Locaties 2016 (zie ook Bijlage 1).

2.2 Video inspecties van de bodem (drop-cam)

Het gebruikte vaartuig is een zeven meter lange RIB (Rigid Inflatable Boat) die slechts 60 cm diep steekt en daardoor ook ondiepe locaties kan bereiken. Het vaartuig beschikt ook over een dieptemeter die op 0,1 meter nauwkeurig is. Voor het uitvoeren van de video inspecties is een NOVASUB drop-cam videosysteem gebruikt. Dit is een onderwater videocamera met verlichting die door middel van een kabel aan een laptop is verbonden. De camera kan zowel foto's als videobeelden maken en kan dankzij de lengte van de kabel (75 meter) op elke gewenste diepte in het Grevelingenmeer ingezet worden. De camera en verlichting zijn aan een statief bevestigd en vanaf een vaartuig naar de bodem gelaten. Op elke locatie zijn meerdere foto's van de bodem gemaakt voor archivering. In het veld is de conditie van de bodem direct bepaald aan de hand van de live videobeelden. Een zuurstofmeter van Rijkswaterstaat (YSI instruments) is aan het systeem bevestigd en opgelost zuurstof is nabij de bodem gemeten in mg/l.

Het gebruik van deze methode voor het onderzoeken van de (zee)bodem en bodemdieren is eerder met succes toegepast (Lengkeek *et al.* 2010a, b, Lengkeek & Bouma 2011; Didden *et al.* 2013).



Figuur 2.2 Links: De camera, verlichting en zuurstofmeter. Rechts: opstelling met beeldscherm en videosysteem op de RIB.

2.2.1 Registratie en analyse beelden

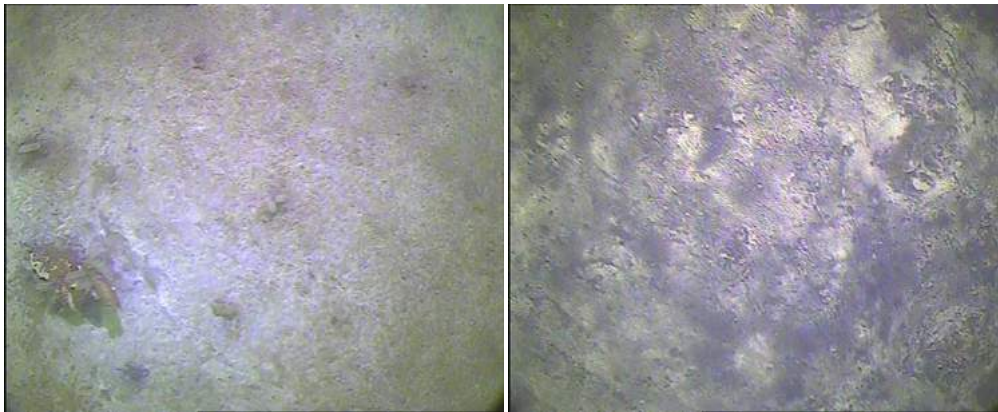
In het veld is aan de hand van de live videobeelden een beschrijving en kwantificering van de bodem opgesteld. De meting richt zich in eerste instantie op de aanwezigheid en het bedekkingspercentages van witte bacteriematten en eventueel zichtbare schade (t.g.v. zuurstof deficiëntie) aan het bodemleven.

Diverse parameters die per locatie zijn opgenomen (Bijlage 7) zijn:

1. diepte
2. zuurstof
3. aanwezigheid van witte bacterie matten (*Beggiatoa*)
4. aanwezigheid van bodemleven
5. zichtbare schade aan het bodemleven.

Ad 1. Op locaties met een steil talud bleek het moeilijk om aan de hand van GPS-posities op exact dezelfde diepte uit te komen als in het vorige onderzoek. Een horizontale afwijking van enkele meters kan in zulke gevallen al een forse diepteafwijking veroorzaken. Op die locaties is een traject met verschillende dieptes geïnspecteerd, met daar binnen in ieder geval de diepte die bekeken is in 2013.

Ad 2. Aan het statief van de camera is tevens een zuurstofmeter (YSI instruments) vastgemaakt, 20 cm boven de camera. Op elke locatie is het percentage (%) en de concentratie (mg/l) opgelost zuurstof nabij de bodem bepaald.



Figuur 2.3 Verschillende verschijningsvormen van witte bacteriematten in 2016. Links: witte bacteriemat egaal Rechts: witte bacteriemat onregelmatig.

Ad 3. De aanwezigheid van witte bacteriematten is geregistreerd, waarbij het percentage bedekking (afgerond op 5%) is geschat aan de hand van de camerabeelden (Figuur 2.3).

Ad 4. Het aanwezige bodemleven is geregistreerd, waarbij determinatie op hoofdgroepniveau heeft plaatsgevonden. De volgende groepen konden op de camerabeelden worden onderscheiden: anemonen (oa zeeanjelier, wedueroos), krabben (oa strandkrab, noordzeekrab), zakpijpen (oa ruwe zakpijp, doorschijnende zakpijp, druipzakpijp, slingerzakpijp), schelpdieren (gaten van oa. *Ensis* sp.), wormen (oligocheata en polychaeta), muiltjes, japanse en platte oesters, wieren (oa zeesla), sponzen, zeesterren (o.a. gewone zeester), garnalen (o.a. strandgarnaal), grondels (o.a. brakwatergrondel, dikkopje en zwarte grondel).

Ad 5. Met betrekking tot schade aan het bodemleven is een indeling gemaakt in gezonde bodemdier-gemeenschap/ beperkte bodemdier-gemeenschap/ geen bodemdier-gemeenschap (Figuur 2.3; zie ook Lengkeek *et al.* 2007 en 2010b).

Een **gezonde bodemdier-gemeenschap** in het Grevelingenmeer bevat zeker tot op 20 meter diepte verschillende diersoorten waaronder (slib)anemonen, schelpdieren en vooral veel wormachtigen (te zien aan hoopjes uitwerpselen) in het zand. Ook op harde substraten groeien anemonen samen met andere zichtbare soorten zoals sponzen en oesters.

Een **beperkte bodemdier-gemeenschap** wordt bij recente sterfte gekenmerkt door aanwezigheid van dode dieren, zoals bijvoorbeeld zeesterren. Op deze locaties zijn tevens geen (hoopjes uitwerpselen van) wormen meer waarneembaar, zijn (slib)anemonen een zeldzaamheid en zijn alleen nog zakpijpen en muiltjes als levende dieren te herkennen. Oesters zijn niet betrokken bij het bepalen van deze toestand, omdat met het videosysteem vaak moeilijk te zien is of deze dood of levend zijn.

Bij **geen bodemdier-gemeenschap** is duidelijk te zien dat er helemaal niets meer in leven is. Concreet is dat zichtbaar doordat de muiltjes niet meer aan elkaar kleven, er

geen zakpijpen meer te vinden zijn en er geen sporen van leven onder het zand zijn te herkennen.



Figuur 2.4 Links: gezonde bodem met anemoon, wormenhoopjes en bruine diatomeeën-mat. Midden: 'zeer beperkt bodemleven'; alleen levende zakpijpen aanwezig. Rechts: 'geen bodemleven'; geen zichtbare levende organismen aanwezig.

2.3 Stationaire videokartering mobiele fauna

Doorgaans worden arbeidsintensieve, selectieve en/of destructieve methodes gebruikt om een representatieve indruk te krijgen van de mobiele fauna (zoals korvisserij of bevissing op basis van fuiken of ankerkuilen). Met voldoende doorzicht kan dit ook anders: Omdat het doorzicht in de (oostelijke) Grevelingen meestal redelijk goed is, is een stationaire video-opname van de bodem en waterkolom uitgevoerd voor de inventarisatie van mobiele fauna.

Het gebruikte videosysteem is op meerdere locaties op de waterbodem geplaatst waarbij gedurende een aantal uren videodata is verzameld van een vast bodemoppervlak inclusief de waterzone boven de bodem (ca 1 x 1 m, afhankelijk van het doorzicht). Door analyse van deze videobeelden is beeld verkregen van mobiele fauna op en boven de bodem zoals grote kreeftachtigen en vissen.

Binnen de geplande meetperiode zijn op 10 meetlocaties videodata verzameld (Bijlage 1). Hierbij zijn zowel overdag als in de schemering data verzameld zodat ook nachtactieve soorten aangetroffen konden worden. De meting kan op gelijke wijze herhaald worden na openstelling van de spuisluis waarna de gegevens (voor en na) kunnen worden vergeleken. De gegevens zijn geschikt voor diverse monitoringsdoeleinden en als nulmeting.

Er is 3:10 uur beeldmateriaal geanalyseerd, verspreid over 6 locaties en aan beide zijden (oost en west) van de spuisluis met zowel dag- als schemeropnamen.

2.4 UVC transecten bodemgemeenschappen (epifauna)

Naast stationaire videobeelden voor mobiele fauna en vis, zijn in de ondiepe zone (0-2 m) 3 UVC (Underwater Visual Census) transecten van de bodemgemeenschappen uitgevoerd (Figuur 2.1, Bijlage 1, Bijlage 6).

Een transect is 50 meter lang, en is onderzocht door ervaren mariene biologen met snorkeluitrusting. Binnen een transect is op 10 locaties middels een foto opname in een kwadrant van 50 x 50 cm de toestand en de samenstelling van de abundante levensgemeenschappen op de bodem (epifauna) vastgesteld. De bodem kan bestaan uit bodemdiergemeenschappen van zachte of harde substraten. Mariene soorten die tijdens de UVC worden waargenomen zijn waar mogelijk tot soort niveau geïdentificeerd en bijgehouden op watervaste veldformulieren. De dichtheid en bedekking van soorten (totaal aantal waargenomen per locatie of transect) is geschat in procenten. Er is een zo compleet mogelijk beeld verkregen van de zichtbare soortgroepen zoals tweekleppigen, grote kreeftachtigen, stekelhuidigen, bloemdieren, sponzen, zakpijpen, hydroïden, wormen en algen. Taxa zijn hierbij zoveel mogelijk tot op soortniveau gedetermineerd, voor zover mogelijk in het veld. Bij sommige groepen is echter alleen identificatie tot op hoger taxonomisch niveau mogelijk (bijv. wormen, hydroïden en algen). Op deze manier wordt zonder monsternamen een goed beeld verkregen van zichtbare en abundante soorten. De praktijk leert dat dit bruikbare data geeft om bijvoorbeeld verschuivingen in abundantie te kwantificeren. Er zijn twee UVC transecten gepositioneerd nabij de spuisluis (Figuur 3.1, uitsnede) en een transect buiten het gebied dat effect gaat ondervinden van het nieuwe sluisbeheer (Figuur 3.1, transect referentie).

2.5 Uitwerking en analyse

2.5.1 Uitwerking in GIS kaarten, grafieken en tabellen

De verspreiding van de witte bacteriematten en de zichtbare schade aan het bodemleven zijn inzichtelijk gemaakt door middel van een GIS-kaart. Daarnaast zijn de gegevens vergeleken met gegevens uit 2013 en 2016 (voor zover de locaties ook in eerdere jaren zijn onderzocht). Er is per jaar slechts gebruik gemaakt van de locaties die overeenkomen met de locaties die zijn bezocht in 2016.

Er zijn twee groepen van locaties gedefinieerd, te weten 1. invloedssfeer, met locaties die binnen de invloedssfeer van de spuisluis vallen en 2. referentie, locaties die hierbuiten vallen.

De gegevens van de videokartering zijn uitgedrukt in soortfrequentie tabellen waarbij aantallen per soort zijn uitgedrukt per oppervlakte en tijdseenheid. De soortentabellen van de UVC transecten zijn uitgedrukt in een abundantieklasse per transect. De meetlocaties van de videokartering en UVC transecten zijn in GIS format op kaart aangeleverd.

Er is gebruik gemaakt van de onderstaande klassenindeling voor de diverse kaarten.

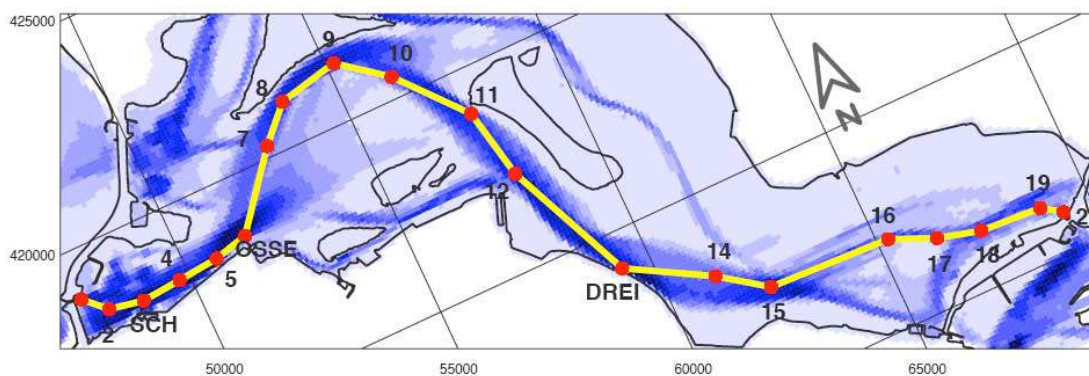
Tabel 2.1 Klassenindeling voor kaartvervaardiging.

	0	1	2
Zuurstofconcentratie	Laag < 40% of 3 mg/l	40-60% of 3-6 mg/l	Goed > 60% of 6 mg/l
Witte bacteriematten	bacteriemat afwezig	bedekking bacteriemat 1-50%	bedekking bacteriemat 51-100%
Schade aan bodemleven	geen schade aan bodemleven/ gezond bodemleven	beperkt bodemleven	geen bodemleven

2.5.2 Zuurstofcondities ten tijde van inspectie

Om te beoordelen in welke mate er stratificatie in de waterkolom heeft plaatsgevonden voorafgaande aan de inspectie, zijn GTSO metingen (Figuur 2.4) geraadpleegd via de website https://waterberichtgeving.rws.nl/nl/monitoring_waterkwaliteit_tso-metingen_grevelingenmeer.htm#

Deze metingen laten zien hoe de zuurstofloosheid in de waterkolom zich over het Grevelingenmeer heeft verspreid in 2016 en hoe de situatie was ten tijde van de inspectie (TSO metingen, Bijlage 1). Bovendien zijn de TSO gegevens gebruikt om een vergelijking te maken met eerder jaren en inspecties.



Figuur 2.4 TSO meetpunten in het Grevelingenmeer.

2.5.3 Samenhang eerdere studies verspreiding witte bacteriematten en schade aan bodemleven (2010 en 2013)

In augustus 2010, na een periode van zuurstofstratificatie, is onderzocht hoe omvangrijk de effecten op de bodem en het bodemleven is en hoe witte bacteriematten (*Beggiatoa spp.*) zich verspreiden over het Grevelingenmeer

De inspectie in 2010 (25 augustus tot en met 1 september) is uitgevoerd op 198 locaties verspreid over het Grevelingenmeer. Uit het onderzoek in 2010 komt naar voren dat na een periode van zuurstofloosheid van de waterkolom, zowel witte bacteriematten als zichtbare schade aan het bodemleven verspreid over het Grevelingenmeer voorkomen, met name vanaf 6 meter en dieper. De verspreiding van bacteriematten is patchy en bovendien komt schade aan het bodemleven op meer locaties voor dan witte bacteriematten (Lengkeek *et al.* 2010b).

In augustus 2013 is deze werkwijze herhaald voor 100 locaties. De bodem is onderzocht op de locaties die in de studie van 2010 zijn aangemerkt als probleemlocaties. Dit betreft 77 locaties verspreid over het Grevelingenmeer (Lengkeek *et al.* 2010b). Additioneel zijn 23 locaties onderzocht die overeenkomen met locaties waar benthos bemonsteringen plaatsvinden in het kader van Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL).

Omdat de omstandigheden in de zomer van jaar tot jaar verschillen zijn deze nieuwe gegevens in samenhang met de gegevens uit 2010 en 2013 (Lengkeek & Bouma 2010; Didderen *et al.*, 2013) gerapporteerd en zodanig als nulmeting beschreven. Er is gebruik gemaakt van de locaties die in 2016 zijn bemonsterd: waarnemingen in 2010 en 2013 op deze locaties zijn toegevoegd aan de dataset en weergegeven in diverse kaarten en gemiddelden.

3 Resultaten

3.1 Zuurstofcondities

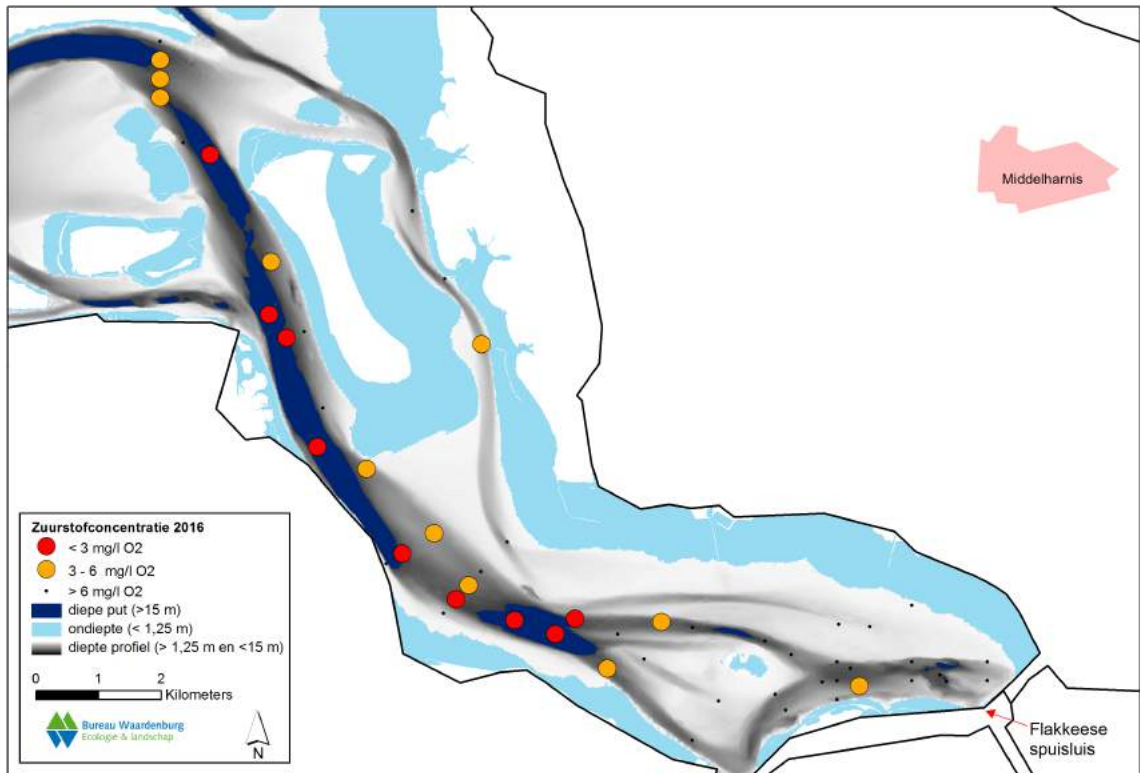
3.1.1 Seizoensverloop en ruimtelijk beeld 2016

GTSO

In 2016 bereikte de gemeten zuurstofdeficiëntie in het meer een maximum in september (Bijlage 2; Figuur II.1). Eind mei nam de zuurstofconcentratie af naar 10-30% in de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse (dieper dan 15-20 meter), maar was nog > 50 % in de overige delen van het meer. Eind juni waren de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse zuurstofloos (<1 mg/l) en de diepe delen in het oosten bij de Hompelvoet, Dreischor en Bruinisse laag in zuurstof (<5 mg/l) (Figuur II.1). Op 24 juli waren alle diepe delen (>15 meter) zuurstofloos of laag in zuurstof (< 1 mg/l; < 3 mg/ l), en alleen de bovenste waterlaag bevatte zuurstofconcentraties >6 mg/l. Vooral in het oosten was de zuurstofconcentratie ook laag vanaf 5-10 meter en dieper (figuur II.1). In augustus verbeterde de zuurstofconditie licht en werden vanaf 10 meter en ondieper zuurstofconcentraties van >6 mg/l gemeten. In september was het meer laag in zuurstof <3 mg/l in alle diepe delen en het gehele oostelijk deel. Alleen in delen vanaf 5 meter en ondieper werden zuurstofconcentraties van > 6 mg/l gemeten (Figuur II.1). De GTSO metingen wijzen uit dat in september lage zuurstofconcentraties (<2 mg/l) tot op een gemiddelde (on)diepte van circa 5 meter in het gehele oostelijke deel van het meer (vanaf Dreischor) voorkwamen.

Meting zuurstofconcentratie op 53 locaties

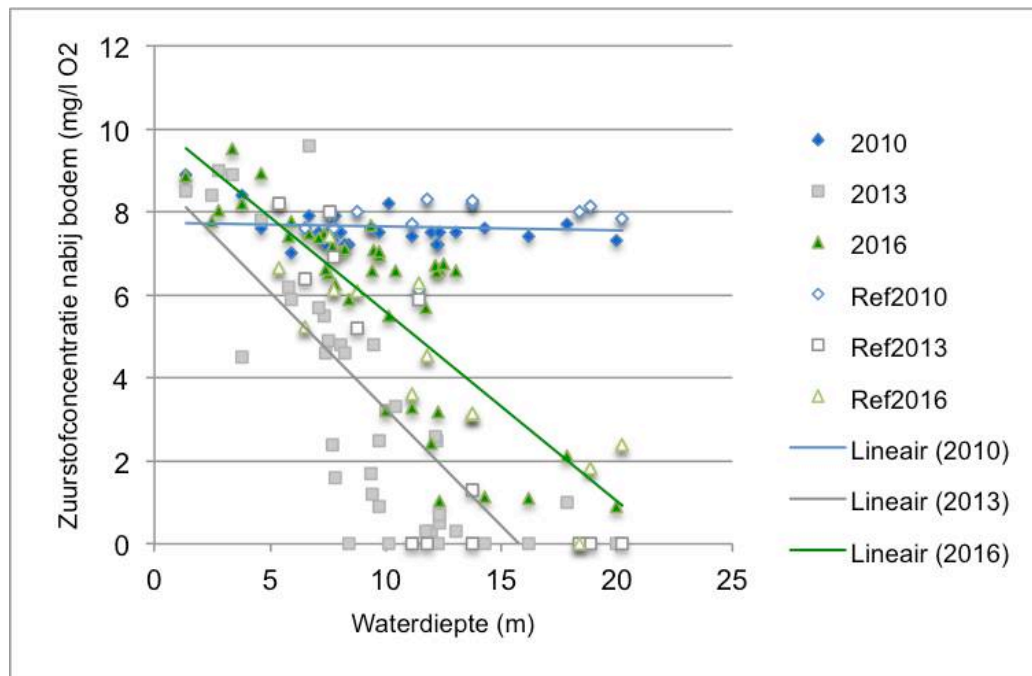
In augustus 2016 varieerde de gemeten zuurstofconcentraties nabij de bodem van 0 tot 9,5 mg/l O₂. De zuurstofconcentratie nabij de bodem was lager op locaties met grotere waterdiepten (Figuur 3.1 en 3.2, aangegeven in groen). Lage zuurstofconcentratie (<3 mg/ l O₂) werden overwegend in de diepe putten aangetroffen (12,3 - 20,5 meter diep). De meeste locaties in directe omgeving van de spuisluis werden in 2016 gekenmerkt door goede zuurstofomstandigheden (> 6 mg/l O₂) met uitzondering van één locatie nabij de spuisluis (locatie 315, 10 meter diep).



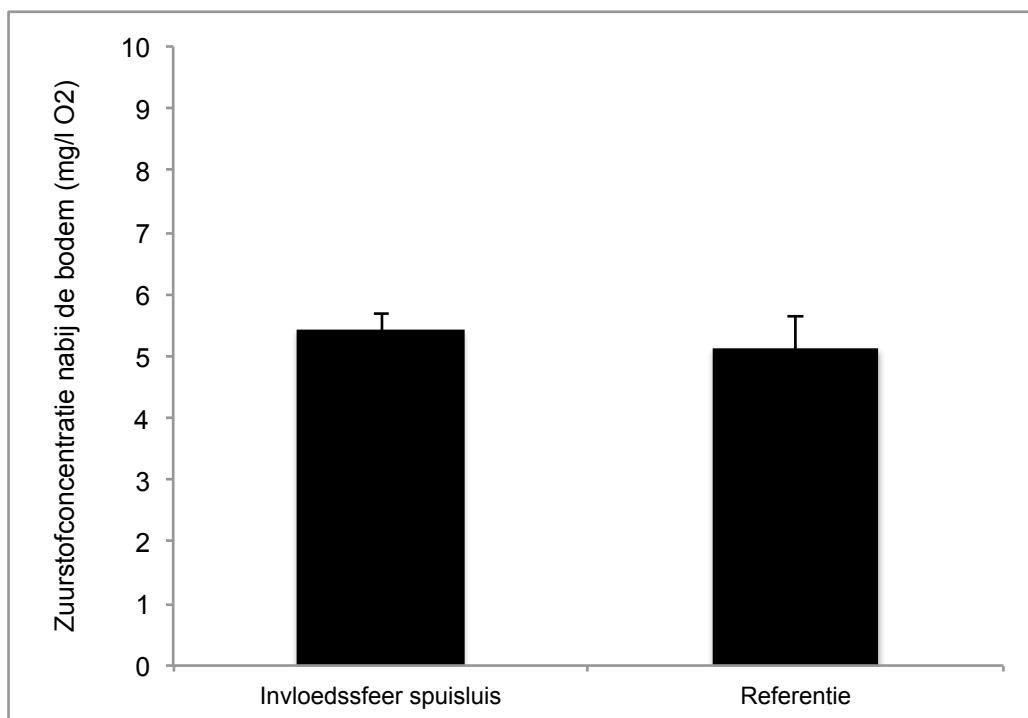
Figuur 3.1 Zuurstofconcentraties nabij de bodem op 53 locaties in het Grevelingenmeer, augustus 2016 (klasse 0 = >6 mg/l O₂; 1 = 3-6 mg/l O₂ (oranje); 2 = <3 mg/l O₂ (rood)).

3.1.2 Zuurstofcondities 2010, 2013 en 2016

De zuurstofconcentratie die is gemeten nabij de bodem verschilt van jaar tot jaar (Figuur 3.2). In 2010 was de zuurstofconcentratie overwegend hoog met weinig variatie (7-9 mg/l O₂), terwijl 2013 en 2016 werden gekenmerkt door veel variatie (0-10 mg/l O₂). Bovendien werden in 2013 en 2016 op diverse locaties zuurstofloosheid of lage zuurstofconcentraties waargenomen.



Figuur 3.2 De relatie tussen de zuurstofconcentratie (mg/l O₂) nabij de bodem en de diepte. De lijnen betreffen een illustratie van het verband per jaar.

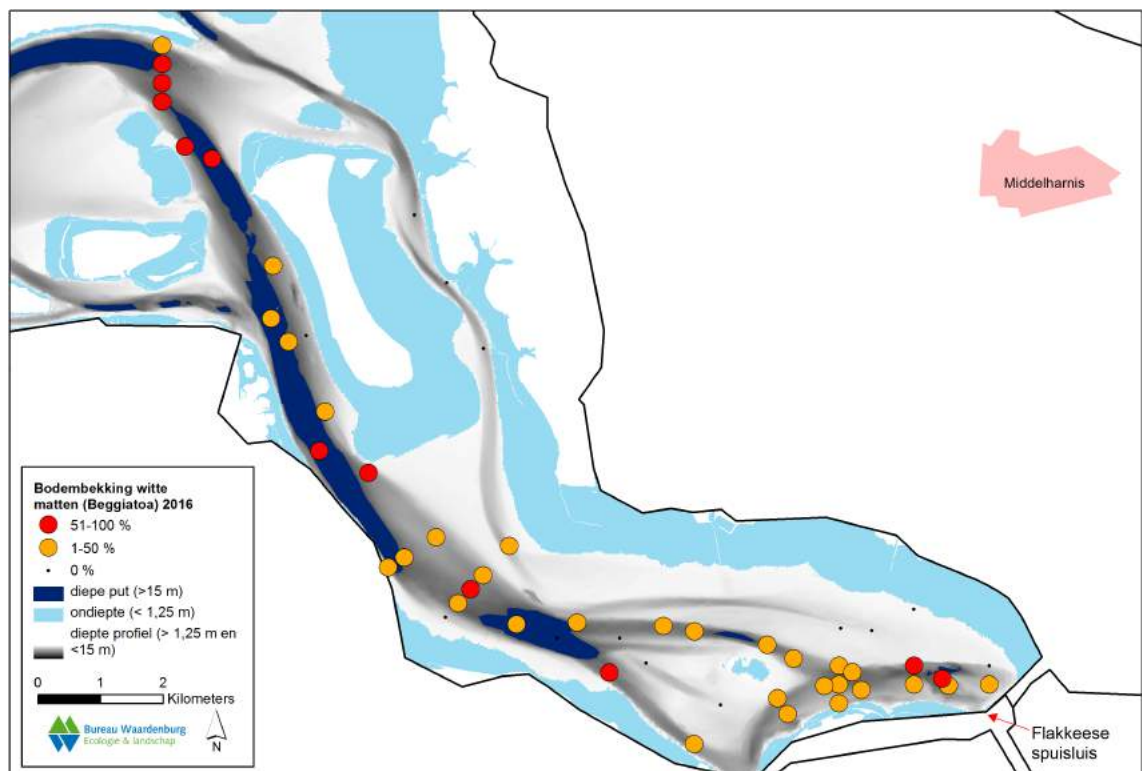


Figuur 3.3 Nulmeting zuurstof nabij de bodem: Zuurstofconcentratie (gemiddelde \pm standaard fout) nabij de bodem op 40 locaties binnen de invloedssfeer van de Flakkeese spuisluis (invloedssfeer spuisluis) en 13 locaties daarbuiten (referentie) in het Grevelingenmeer voor de jaren 2010, 2013 en 2016.

Een vergelijking van de locaties binnen de invloedssfeer van spuisluis met 'referentie' locaties laat zien dat voor beide groepen van locaties de zuurstofconcentratie *gemiddeld* en over de jaren 2010, 2013 en 2016 tussen de 5 en 6 mg/l O₂ ligt, met enige spreiding (Figuur 3.3).

3.2 Witte bacteriematten

3.2.1 Ruimtelijk beeld 2016



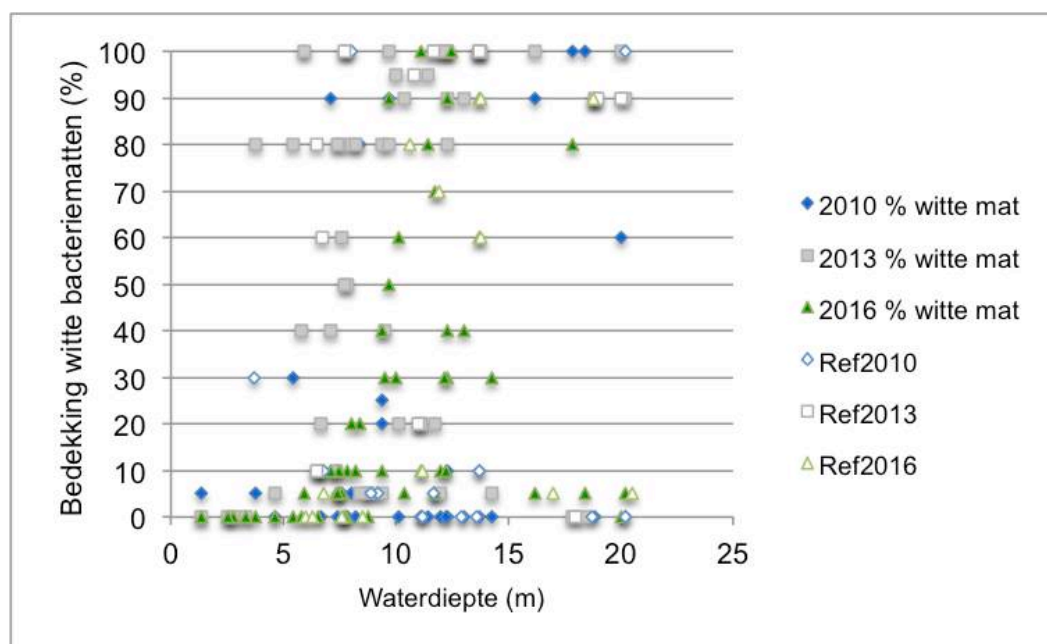
Figuur 3.4 Verspreiding van witte bacteriematten op de bodem op 53 locaties in het Grevelingenmeer, augustus 2016 (klasse 0 = 0%; 1 = 1-50% (oranje) ; 2 = >50% (rood) bedekking met witte bacteriematten).

In augustus 2016 werden witte bacteriematten aangetroffen op 39 locaties (74%). Net als in eerdere jaren vertoont de verspreiding een patchy patroon waarbij locaties met en zonder witte bacteriematten op korte afstand van elkaar werden aangetroffen. Op 11 locaties (20%) bedroeg de bedekking van witte bacteriematten op de bodem meer dan 50%. Deze locaties waren wat dieper gelegen, tussen 9,8 en 19,5 meter diepte en verspreid over het hele gebied met een concentratie (5 locaties) tussen de Veermansplaat en de Hompelvoet. De 14 locaties zonder witte bacteriematten zijn verspreid over het onderzochte gebied waargenomen en ondieper gelegen, op 1,4 – 8,5 meter diepte en op één locatie van 18,8 meter diep (Figuur 3.4 en 3.5). De locaties in de directe omgeving van de spuisluis zijn overwegend witte bacteriematten

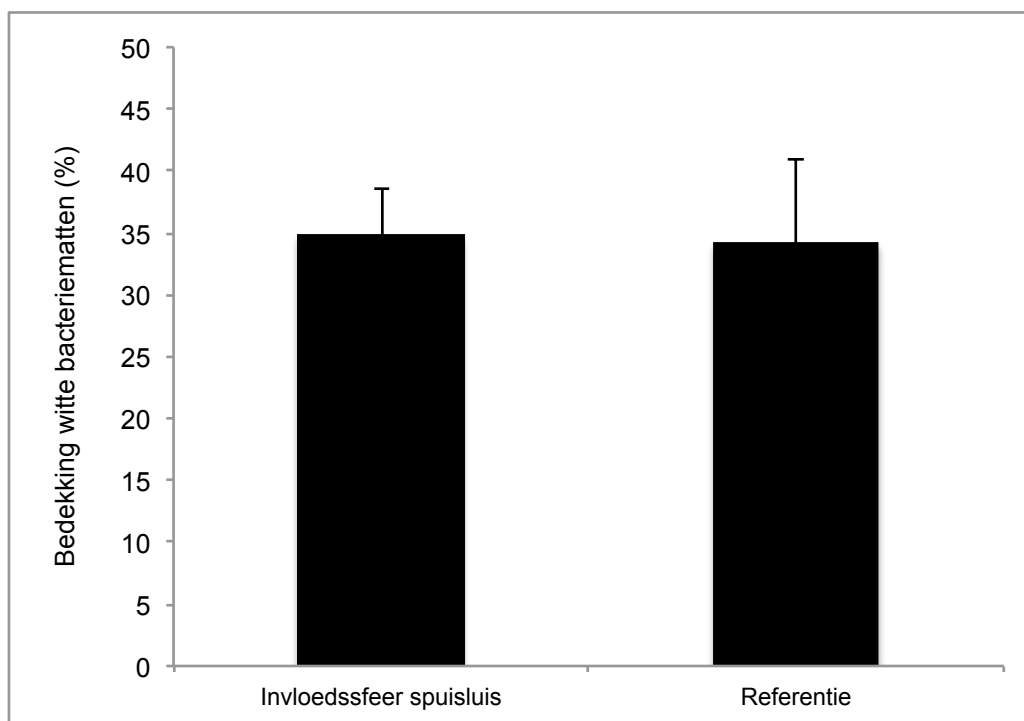
waargenomen. Op de locaties ten oosten van de Veermansplaat zijn *geen* witte bacteriematten waargenomen.

3.2.2 Witte bacteriematten 2010, 2013 en 2016

De bedekking van de bodem met witte bacteriematten verschilt van jaar tot jaar en vertoont ook van locatie tot locatie een grillig (patchy) patroon (Figuur 3.2, Bijlage 4). In 2010, 2013 en 2016 werd op respectievelijk 85% en 90% en 74% van de locaties witte bacteriematten aangetroffen. Vanaf 8 meter (2010), 4,3 meter (2013) en 9,8 meter (2016) werden hoge bedekkingspercentages (>50%) aangetroffen. Tevens zijn er ook in elk jaar diepe locaties onderzocht, waar geen witte bacteriematten (0%) zijn aangetroffen.



Figuur 3.5 De bedekking van de bodem met witte bacteriematten (%) afgezet tegen de diepte voor de jaren 2010, 2013 en 2016.

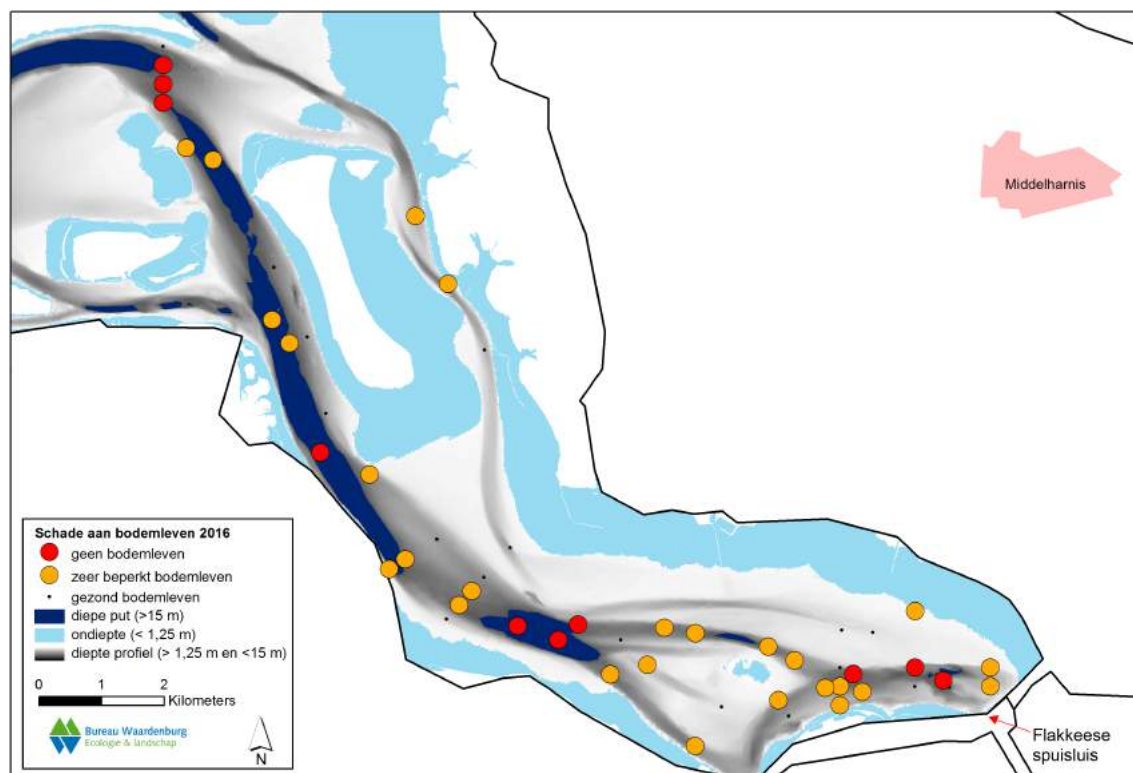


Figuur 3.6 Nulmeting witte bacteriematten: Bedekking (%) van de bodem met witte bacteriematten (gemiddelde ± standaard fout) nabij de bodem op 40 locaties binnen de invloedssfeer van de Flakkeese spuisluis (invloedssfeer spuisluis) en 13 locaties daarbuiten (referentie) in het Grevelingenmeer voor de jaren 2010, 2013 en 2016.

Een vergelijking van de locaties binnen de invloedssfeer van spuisluis met 'referentie' locaties laat zien dat voor beide groepen van locaties de bedekking met witte bacteriematten *gemiddeld* en over de jaren 2010, 2013 en 2016 rond de 34-35% ligt, met enige spreiding (Figuur 3.6).

3.3 Schade aan bodemleven

3.3.1 Ruimtelijk beeld 2016



Figuur 3.7 Verspreiding van zichtbare schade aan het bodemleven op 53 locaties in het Grevelingenmeer, augustus 2016. (klasse 0 = geen schade; 1 = zichtbare schade aan bodemleven (oranje); 2 = geen bodemleven (rood)).

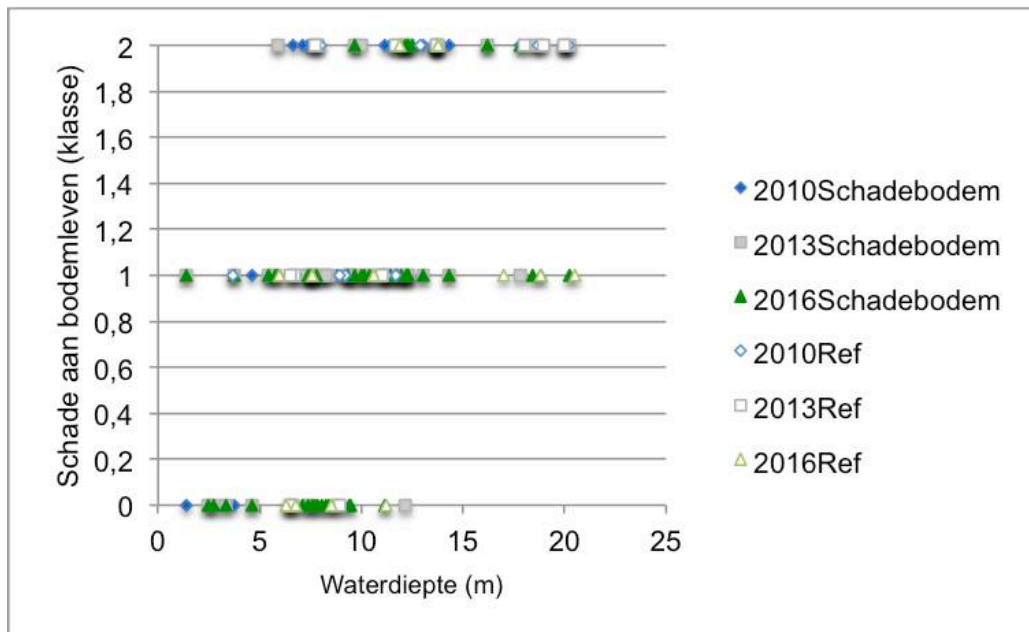
In augustus 2016 was op 35 locaties (66 %) schade aan het bodemleven zichtbaar. De zichtbare schade kwam verspreid over het onderzochte gebied voor (Figuur 3.4). Op 10 locaties (19 %) was er geen enkel bodemleven aanwezig. Deze locaties waren dieper gelegen, tussen 9,8 en 19,5 meter. Op 25 locaties (47 %) is er sprake van beperkt bodemleven. De 18 locaties met een gezond bodemleven kwamen verspreid over het onderzochte gebied voor en op dieptes van 2,6 tot 11,2 meter (Figuur 3.7 en 3.8 in groen).

Op diverse locaties in de directe omgeving van de spuisluis werd schade aan het bodemleven waargenomen, inclusief drie locaties met geen enkele vorm van bodemleven op 10 en 12,5 meter.

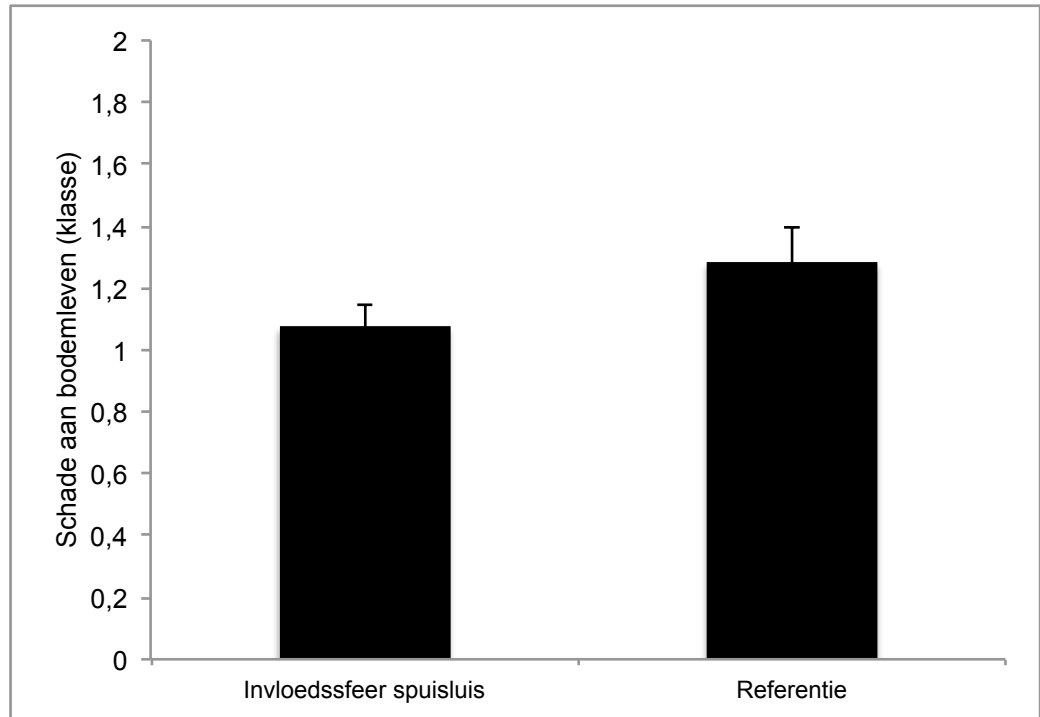
3.3.2 Schade aan bodemleven 2010, 2013 en 2016

De zichtbare schade aan het bodemleven verschilt van jaar tot jaar. In 2010, 2013 en 2016 werd op respectievelijk 95% en 83% en 66% van de locaties schade aan het bodemleven waargenomen. Vanaf 6,5 meter (2010), 4,6 meter (2013) en 9,8 meter

(2016) werd de categorie 'geen enkel leven zichtbaar' (klasse 2) aangetroffen. 'Gezond bodemleven' (klasse 0) is aangetroffen tot een diepte van 3,2 meter (2010), 11,8 meter (2013) en 11,2 meter (2016).



Figuur 3.8 Schade aan bodemleven in klassen ten opzichte van de waterdiepte (klasse 0 = geen schade; 1 = zichtbare schade; 2 = geen enkel leven zichtbaar).



Figuur 3.9 Nulmeting schade aan bodemleven: Klasse van schade aan bodemleven (gemiddelde \pm standaard fout) nabij de bodem op 40 locaties binnen de invloedssfeer van de Flakkeese spuisluis (invloedssfeer spuisluis) en 13 locaties daarbuiten (referentie) in het Grevelingenmeer voor de jaren 2010, 2013 en 2016. (klasse 0 = geen schade; 1 = zichtbare schade; 2 = geen enkel leven zichtbaar).

Een vergelijking van de locaties binnen de invloedssfeer van spuisluis met 'referentie' locaties laat zien dat voor beide groepen van locaties de schade aan het bodemleven *gemiddeld* en over de jaren 2010, 2013 en 2016 rond de 1.1-1,2 ligt, met enige spreiding (Figuur 3.9).

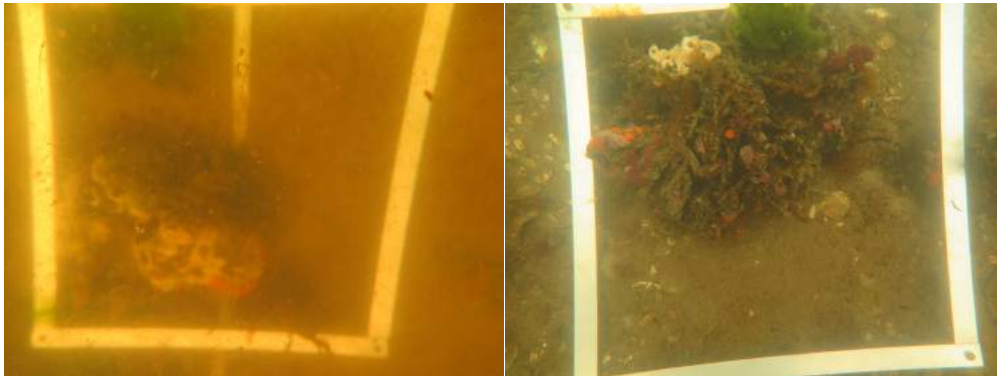
3.4 Levensgemeenschappen op de bodem

Binnen de drie transecten zijn in augustus 2016 29 taxa waargenomen verdeeld over in totaal negen soortgroepen (Bijlage 6, Figuur 3.10). De abundante en goed zichtbare taxa binnen de levensgemeenschappen bestaan uit anemonen (4 taxa), mollusken (7 taxa), vis (2 taxa), geleedpotigen (5 taxa), sponzen (2 taxa) en zakpijpen (5 taxa), wieren, kiezelwieren en borstelwormen.

Binnen elk van de drie transecten zijn zowel opnamen met hard substraat (oesters, stenen) als zachtsubstraat (zand) aanwezig, alsmede een combinatie van beide.

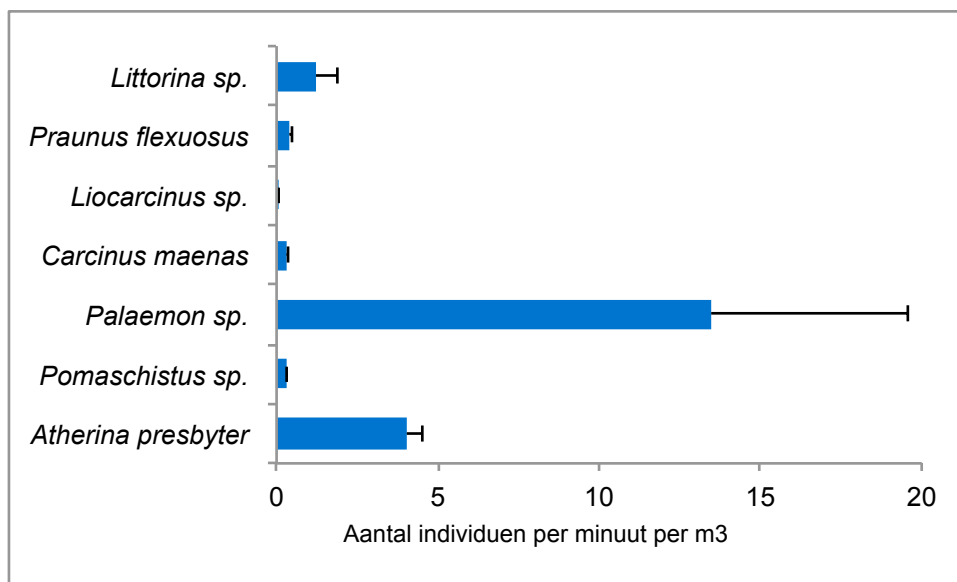
Binnen de transecten nabij de spuisluis zijn respectievelijk 19 en 20 taxa aangetroffen, in het referentietransect 21.

De gegevens dienen als basis voor een effectbepaling (nulmeting T0).



Figuur 3.10 Nulmeting levensgemeenschappen: Illustratie van aangetroffen gemeenschappen rondom de spuisluis (links) en in een referentiegebied (rechts).

3.5 Aanwezigheid van mobiele fauna



Figuur 3.11 Nulmeting mobiele fauna: Aantal individuen (gemiddelde \pm standaard fout) per minuut en per m³ dat is waargenomen op stationaire camerabeelden in de nabijheid van de Flakkeese spuisluis.

Er zijn zeven mobiele taxa waargenomen op stationaire onderwaterbeelden in de nabijheid van de Flakkeese spuisluis, te weten alikruik (*Littorina sp.*), geknikte aasgarnaal (*Praunus flexuosus*), zwemkrab (*Liocarcinus sp.*), strandkrab (*Carcinus maenas*), steurgarnaal (*Palaemon sp.*), grondels (*Pomaschistus sp.*) en kornaarvis (*Atherina presbyter*) (Figuur 3.11).

4 Discussie

4.1 Variatie verspreiding witte bacteriematten

De resultaten laten zien dat in augustus 2016, net als in augustus 2010 en 2013, witte bacteriematten verspreid over het onderzochte gebied binnen het Grevelingenmeer zijn waargenomen. In samenhang met de gegevens uit 2010 en 2013 kan gesteld worden dat er sprake is van jaar tot jaar en locatie tot locatie verschillen.

Daar witte bacteriematten worden gevormd op het *grensvlak* van zuurstofloze en zuurstofarme omstandigheden en enige tijd nodig hebben om te ontstaan, zijn ze niet aanwezig:

- Op het moment dat zuurstofloosheid van de bodem optreedt, maar enige tijd later.
- Wanneer een locatie gedurende lange periode zuurstofloos is. Dit is bijvoorbeeld het geval in diepe putten waar 0% witte bacteriematten zijn waargenomen, maar kan ook zorgen voor een vermindering van de bedekking met bacteriematten bij aanhoudende zuurstofloosheid in ondiepe delen.
- Wanneer er voldoende menging optreedt en er voldoende zuurstof nabij de bodem aanwezig is.

Bij de interpretatie van gegevens over zowel aan- als afwezigheid van witte bacteriematten dient rekening te worden gehouden met de ontstaanswijze, kolonisatie en grote variabiliteit in de manifestatie. In combinatie met de bedekking met zuurstofconcentraties nabij de bodem en tekenen van schade aan het bodemleven kan een meer compleet beeld worden geschilderd.

4.2 Effect van weer en periodes van zuurstofloosheid op de meting

Uit een beschrijving van de TSO metingen die maandelijks in het Grevelingenmeer worden uitgevoerd (Bijlage 2, zomermaanden van 2010, 2013, 2016) blijkt dat de zuurstofcondities in het meer van jaar tot jaar verschillen. De maand waarin een maximale zuurstofdeficiëntie wordt gemeten verschilt van jaar tot jaar en ook de hoedanigheid (minima) van de lage zuurstofomstandigheden wisselt (Bijlage 1, tabel 4.1). Een patroon dat echter voor diverse jaren vergelijkbaar is, is:

- De zuurstofcondities verslechteren in het voorjaar (mei) al in de diepe putten in het westen (>15-20m),
- Lage zuurstofconcentraties ontstaan pas in de zomermaanden in het hele meer, inclusief de ondiepere delen en in het oosten van het meer.
- De lage zuurstofconcentraties worden in de zomermaanden met name gemeten in de diepe delen en in het oostelijke deel van het Grevelingenmeer.

Tabel 4.1 Karakteristieken van inspecties van witte bacteriematten metingen Grevelingenmeer in de jaren 2010, 2013, 2016.

	2010	2013	2016
inspectie bacteriematten	augustus 25 aug-1 sep	augustus 1-2 aug	augustus 14 -19 aug
weer tijdens inspectie	ZW 3 NO 2	ZO 3	NW 5
wind week voor inspectie	ZW 4-5 NW 7	ZW 3-4 NO 2	NO 4 O 3
max zuurstof deficiëntie	juli	juli	september
diepte zuurstofloze condities in het oosten	>10 m	>10 m	>5 m

Verder is uit de tabel op te maken dat in de jaren 2010 en 2013 een inventarisatie heeft plaatsgevonden *na afloop* van een periode van maximale zuurstofdeficiëntie, terwijl in 2016 de inventarisatie heeft plaatsgevonden *voorafgaand* aan deze periode (maximale zuurstofdeficiëntie in september 2016, onverwacht laat door lage temperaturen in augustus en tropische temperaturen in september). Ook is uit de tabel op te maken dat de bemonstering in 2010 heeft plaatsgevonden na een week met sterke wind, terwijl de wind voorafgaand aan de opnames in 2013 en 2016 zwak tot matig was. De hoge zuurstofconcentraties die in 2010 nabij de bodem zijn waargenomen (§3.1.2) kunnen mogelijk verklaard worden doordat de harde wind zeer kort (NW 7) voorafgaand aan de meting in dat jaar. Harde wind kan zorgen voor menging van de waterkolom waarbij de zuurstofcondities nabij de bodem verbeteren. De aanwezigheid van NW5 ten tijde van de bemonstering in 2016 kan mogelijk de gunstige zuurstofconcentraties nabij de bodem in het zuidoosten van het Grevelingenmeer verklaren. Met noordwestelijke windrichting ontstaat er met name in de zuidoosthoek flinke golfslag en menging van zuurstof in de waterkolom. Omdat zuurstofcondities sterk afhankelijk zijn van het weertype, is het geen geschikte parameter om als enige graadmeter van de bodemomstandigheden te dienen. In combinatie met de bedekking met witte bacteriematten en signalen van schade aan het bodemleven kan een meer compleet beeld worden geschetst.

4.3 Relatie met waterdiepte en afstand tot de spuisluis

De laagste zuurstofconcentraties, hoogste bedekking met witte bacteriematten en grootste schade aan het bodemleven worden aangetroffen op diepe locaties. In de jaren 2010 en 2013 zijn er tevens significante verbanden aangetoond voor de diepte en de bedekking met witten bacteriematten en schade aan het bodemleven (Lengkeek *et al.* 2010 b; Didderen *et al.* 2013). Door bovengenoemde variatie in manifestatie van witte bacteriematten (§4.1) en weersafhankelijkheid van zuurstofconcentraties (§4.2) is er echter geen eenduidig verband tussen de diverse parameters en diepte voor de diverse jaren samen.

In de huidige rapportage zijn de gegevens gebundeld voor de locaties binnen de invloedssfeer van de spuisluis en daarbuiten. Het is echter aannemelijk dat effecten optreden in een gradiënt, waarbij er dichtbij de spuisluis een groter effect van de wateruitwisseling kan worden verwacht dan op grotere afstand.

Het effect van diepte en afstand tot de spuisluis moet bij een toekomstige effectbepaling meegenomen worden als verklarende parameter.

4.4 Effecten op het bodemleven

De videoinspecties laten zien dat op het merendeel van de locaties het effect van zuurstofloosheid op het bodemleven negatief is (§3.3). In sommige gevallen is er geen enkel bodemleven zichtbaar op andere locaties alleen grondels, enkele strandkrabben (beide beweeglijke dieren) en een enkele (slib)anemoon. Deze situatie verschilt wezenlijk van wat verwacht kan worden van een systeem zonder problemen met stratificatie en zuurstofdeficiëntie. Zeker tot op dieptes van 15 meter hoort het zachte substraat een bodemdierengemeenschap te bevatten met hoge dichtheden van anemonen, tweekleppigen, huisjesslakken en wormachtigen. In de relatief luwe arm van de Oosterschelde 'Het Zijpe' werden bijvoorbeeld gemiddeld ongeveer 1900 wormachtigen en 8700 wadslakjes per vierkante meter gevonden (Escaravage *et al.* 2003). Deze arm grenst aan het Grevelingenmeer, maar is hiervan afgescheiden door de Grevelingendam en zal na openstelling van de Flakkeese spuisluis in verbinding staan met het Grevelingenmeer

De vergelijking met de locaties in het Grevelingenmeer met schade aan het bodemleven en locaties zonder tekenen van zuurstofarme condities is interessant. Op deze 'gezonde' locaties werden op het slib anemonen, wormenhoopjes, grondels, tweekleppigen en huisjesslakken gevonden. Dit verschilt van de locaties waar zuurstofdeficiëntie zichtbaar negatieve effecten op het bodemleven heeft.

De aantallen taxa die gevonden zijn in de transecten en tijdens de videokartering zijn in de toekomst te vergelijken met de situatie na openstelling van de spuisluis. Soorten die gedijen in dynamische omstandigheden en met goede zuurstofcondities, zoals mosselen, huisjesslakken en zeeanjielieren, zijn slechts incidenteel aangetroffen. De verwachting is dat deze soorten kunnen profiteren van de openstelling en in aantal toenemen.

Historische data van bodemfauna in het Grevelingenmeer laten zien dat tot 1990 de waterbodem met name werd bevolkt door schelpdieren zoals mosselen en kokkels en allerlei slakjes, waaronder wadslakjes en alikruiken. Daarna zijn de aantallen afgenomen, enkele soorten zijn zelfs helemaal verdwenen. Het MWTL-meetprogramma (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands, RWS) in het Grevelingenmeer laat zien dat het aantal waargenomen soorten in de periode 1990 t/m 2008 varieert in het westelijk deel tussen 50 en 75 en in het oostelijk deel tussen 35 en 65. Over het algemeen zijn de trends van aantallen en biomassa in het westelijk

en oostelijk deel licht dalend. Bovendien vertoont verworming (aantal wormen/aantal wormen + aantal weekdieren) over de gehele periode 1990 t/m 2008 een significante stijgende trend (Wetsteijn 2011).

Het is interessant om de MWTL gegevens (benthische fauna zachte substraten) ook te betrekken bij een effectbepaling van de openstelling. Als nulmeting kunnen de gegevens tot en met 2016 worden gebruikt, deze komen in 2017 beschikbaar. Onderzocht kan worden of de bodemfauna in de invloedssfeer van de spuisluis verandert ten opzichte van de gegevens tot en met 2016. Daar er sprake is van een driejarige cyclus, zal de eerstvolgende MWTL bemonstering naar verwachting in 2019 plaatsvinden.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In augustus 2016 variëren de gemeten zuurstofconcentraties nabij de bodem van 0 tot 9,5 mg/l. Lage zuurstofconcentraties (<3 mg/ l O₂) werden overwegend in de diepe putten aangetroffen, terwijl de meeste locaties in directe omgeving van de spuisluis in 2016 werden gekenmerkt door goede zuurstofomstandigheden (> 6 mg/l O₂).

In augustus 2016 zijn witte bacteriematten aangetroffen op 39 locaties (74%). Net als in eerdere jaren vertoont de verspreiding een patchy patroon. In totaal is in 2016 op 35 locaties (66 %) schade aan het bodemleven zichtbaar. De zichtbare schade komt verspreid over het onderzochte gebied voor. Locaties met meer dan 50% bedekking met bacteriematten en locaties met geen enkel bodemleven zijn dieper gelegen (tussen 9,5 en 19,5 meter).

Binnen drie transecten zijn in augustus 2016 29 taxa waargenomen, verdeeld over in totaal negen soortgroepen. De abundante en goed zichtbare taxa binnen de levensgemeenschappen bestaan uit anemonen (4 taxa), mollusken (7 taxa), vis (2 taxa), geleedpotigen (5 taxa), sponzen (2 taxa) en zakpijpen (5 taxa), wieren, kiezelwieren en borstelwormen.

Er zijn zeven mobiele taxa waargenomen op stationaire onderwaterbeelden in de nabijheid van de Flakkeese spuisluis, te weten alikruik (*Littorina sp.*), geknikte aasgarnaal (*Praunus flexuosus*), zwemkrab (*Liocarcinus sp.*), strandkrab (*Carcinus maenas*), steurgarnaal (*Palaemon sp.*), grondels (*Pomaschistus sp.*) en kornaarvis (*Atherina presbyter*).

De gegevens die in dit rapport zijn beschreven dienen als basis en nulmeting (T0) voor een effectbepaling van de openstelling van de Flakkeese spuisluis. Wanneer de gegevens in de toekomst op dezelfde wijze worden verzameld kunnen ze gebruikt worden voor een effectbepaling van BA (Before After, voor na) of BACI (Before After, Control Impact) analyses.

5.2 Aanbevelingen

Door variatie in manifestatie van witte bacteriematten (§4.1) weersafhankelijkheid van zuurstofconcentraties (§4.2) en jaar tot jaar verschillen in het verband van diverse parameters met de diepte van de locaties is het belangrijk om bij een toekomstige monitoring en effectbepaling:

- Gebruik te maken van dezelfde methodieken.
- De parameters zuurstofconcentraties, bedekking met witte bacteriematten en schade aan bodemleven in samenhang te beschouwen.

- Het effect van diepte en afstand tot de spuisluis mee te nemen als verklarende parameter.

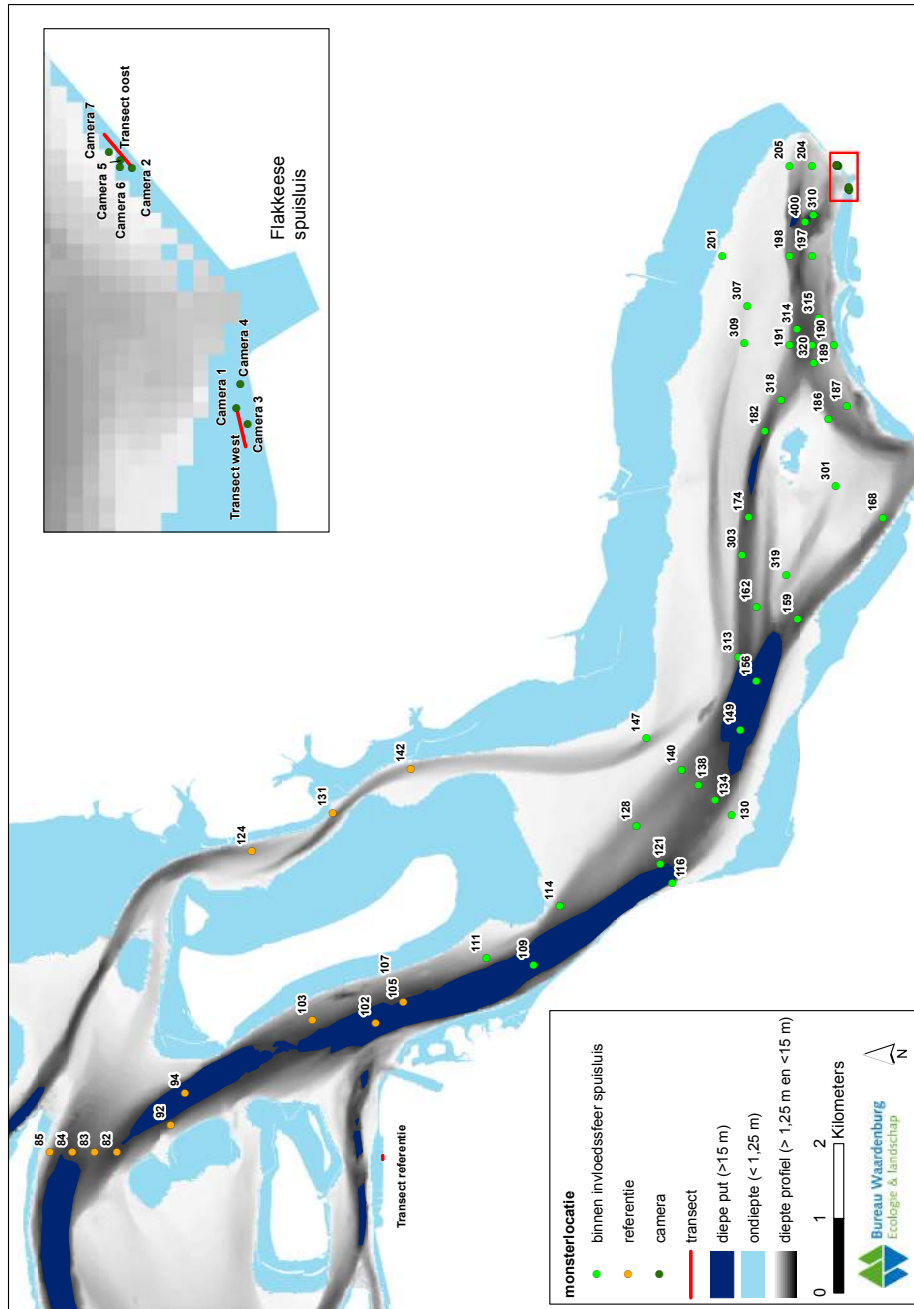
Het is interessant om de gegevens van MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) (benthische fauna zachte substraten) ook te betrekken bij een effectbepaling van de openstelling. Onderzocht kan worden of de bodemfauna in de invloedssfeer van de spuisluis verandert ten opzichte van de gegevens tot en met 2016.

6 Literatuur

- Bouma, S., W. Lengkeek, T.J. Boudewijn, L.G. Turlings, R. Abma & R.L.J. Nieuwkamer, 2008. Notitie knelpunten autonome ontwikkeling. Onderdeel Verkenning Grevelingen.
- Didderen, K., S. Bouma & W. Lengkeek, 2011. Onderwater videobeelden van de zeebodem ten noorden van Ameland - Een test van een videoteknik als quick scan methode om benthos te inventariseren. Rapport 11-140. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Didderen, K., W. Lengkeek & S. Bouma, 2013. De verspreiding van witte bacteriematten aan het bodemleven in het Grevelingenmeer III. Onderzoek naar effecten van zuurstofloosheid, zomer 2013 Rapport 13-147. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Escaravage, V., T. Ysebaert, M. Bos & H. Hummel, 2003. Karakteristieken van het macrobenthos in de Oosterschelde in verband met actuele beheersvragen. Rapp. nr. 2003-06, NIO-CEMO, Werkgroep Ecosysteem Studies, Yerseke
- Hoeksema, H.J., 2002. Grevelingenmeer van kwetsbaar naar weerbaar? Een beschrijving van de ontwikkelingen van 1996 tot 2001 en een toetsing aan het beleid. RIKZ/2002.033 incl. cd-rom. RWS RIKZ, Middelburg.
- Lengkeek, W., S. Bouma & H.W. Waardenburg, 2007. Het effect van zuurstofdeficiëntie op het bodemleven in het Grevelingenmeer. Een blik onder water. Rapport 07-186. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Lengkeek, W., S. Bouma & B. van den Boogaard, 2010a. Onderwater video als 'quick-scan' methode voor natuurwaarden op de zeebodem (concept). Methodeontwikkeling in de Voordelta en de Zeeuwse banken. Rapport 10-036. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Lengkeek, W., S. Bouma & B. van den Boogaard, 2010b. De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer. Onderzoek naar de effecten van zuurstofloosheid. Rapport 10-187. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Zijl F. & A. Nolte, 2006. Effect van ingebruikname Flakkeese spuisluis op de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingenmeer. Rapport WL Delft Hydraulics
- Nolte A., T. Troost, G. de Boer, C. Spiteri & B. van Weesenbeeck, 2008. Verkenning oplossingsrichtingen voor een betere waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer. Rapport Z4576. Deltares Delft.
- Nolte, A.L. & L.V. Basch, 2011. Onderzoek naar de oorzaak en oplossing voor witte *Beggiatoa* matten op de bodem van het Grevelingenmeer. Rapport 1201650-000-ZKS-0038. Deltares, Delft.
- Oorthuysen, W. & C.W. Iedema, 1992. Analyse Waterbeheer Grevelingenmeer. Onderbouwing voor het waterhuishoudkundig beheer Grevelingenmeer. Nota Rijkswaterstaat directie Zeeland, AX 92.036: 68p.
- Rosenberg, R., S. Agrenius, B. Hellman, H. C. Nilsson & K. Norling, 2002. Recovery of marine benthic habitats and fauna in a Swedish fjord following improved oxygen conditions. Marine Ecology Progress Series 234: 43-53.
- Schulz, H.N., T.G. Brinkhoff, M. Ferdelman, A. Hernandez Marine & B.B. Jorgenson, 1999. Dense populations of giant sulfur bacterium in Namibian shelf sediments. Science 284: 493-495.

- Turlings L.G., R.L.J. Nieuwkamer, S. Bouma, W. Lengkeek, T.J. Boudewijn & R. Abma, januari 2009. Notitie bouwstenen en kansrijke oplossingsrichtingen. Onderdeel Verkenning Grevelingen.
- Turlings, L.G. & R.L.J. Nieuwkamer, 2009. Verkenning Grevelingen water en getij. Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Rapport Witteveen en Bos: 40p.
- 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. RWS Waterdienst, Lelystad.
- van Wesenbeeck, B., A. Nolte, S. Bouma, W. Lengkeek, A. Joosten & P. Herman, 2009. Witte bacteriematten als indicator voor de achteruitgang van de Grevelingen. *De Levende Natuur* 110(7): 357-360.

Bijlage 1 Locaties 2016



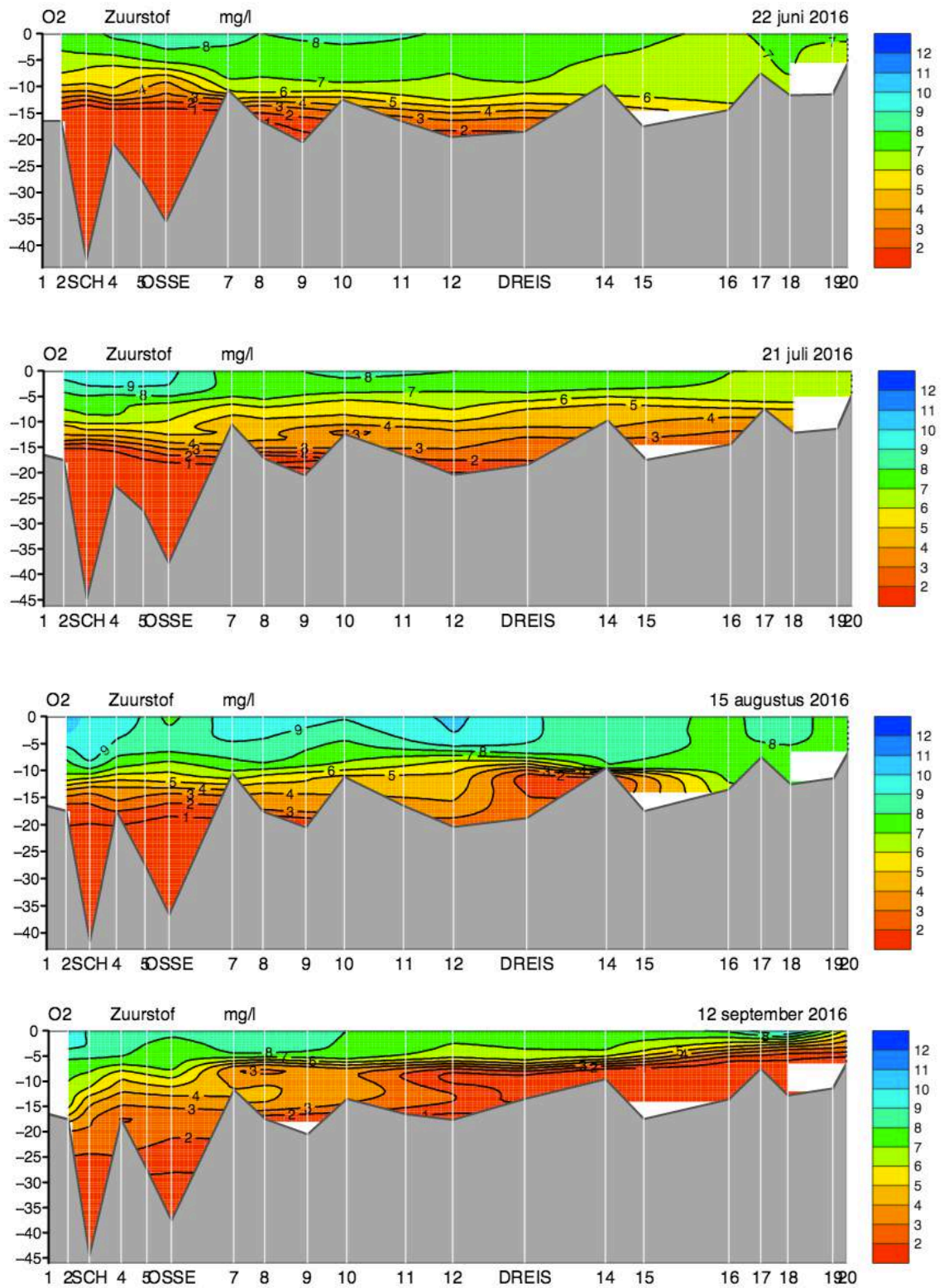
Locatie	Locatie	x	y	diepte	Uit de kant	Datum	Tijd	Bijzonderheden
Transect 1	Westzijde spuisluis	69172	410825	1 meter	3 meter	19-08-16	13:00	richting west
Transect 2	Oostzijde spuisluis	69494	410960	1 meter	5 meter	19-08-16	14:20	richting oost
Transect 3	Referentie	56204	417048	1 meter	10 meter	19-08-16	16:00	richting west
Camera 1	Westzijde spuisluis	69172	410825	1 meter	10 meter	14-08-16	19:30	21:15 eind
Camera 2	Oostzijde spuisluis	69477	410957	1 meter	10 meter	19-08-16	14:30	16:30 eind
Camera 3	Oostzijde spuisluis	69152	410811	1 meter	10 meter	19-08-16	14:45	15:05 eind
Camera 4	Oostzijde spuisluis	69203	410820	1 meter	10 meter	19-08-16	15:00	geen bruikbaar beeld
Camera 5	Oostzijde spuisluis	69487	410972	1 meter	10 meter	30-09-16	17:30	19:15 zon onder
Camera 6	Oostzijde spuisluis	69478	410973	1 meter	10 meter	30-09-16	17:45	19:15 zon onder
Camera 7	Oostzijde spuisluis	69497	410987	1 meter	10 meter	01-10-16	10:15	14:00 eind
Camera 8	Westzijde spuisluis	69170	410820	1 meter	10 meter	19-08-16	12:00	geen bruikbaar beeld
Camera 9	Westzijde spuisluis	69172	410825	1 meter	10 meter	19-08-16	12:15	geen bruikbaar beeld
Camera 10	Westzijde spuisluis	69175	410819	1 meter	10 meter	19-08-16	12:30	geen bruikbaar beeld

Bijlage 2 TSO Grevelingen

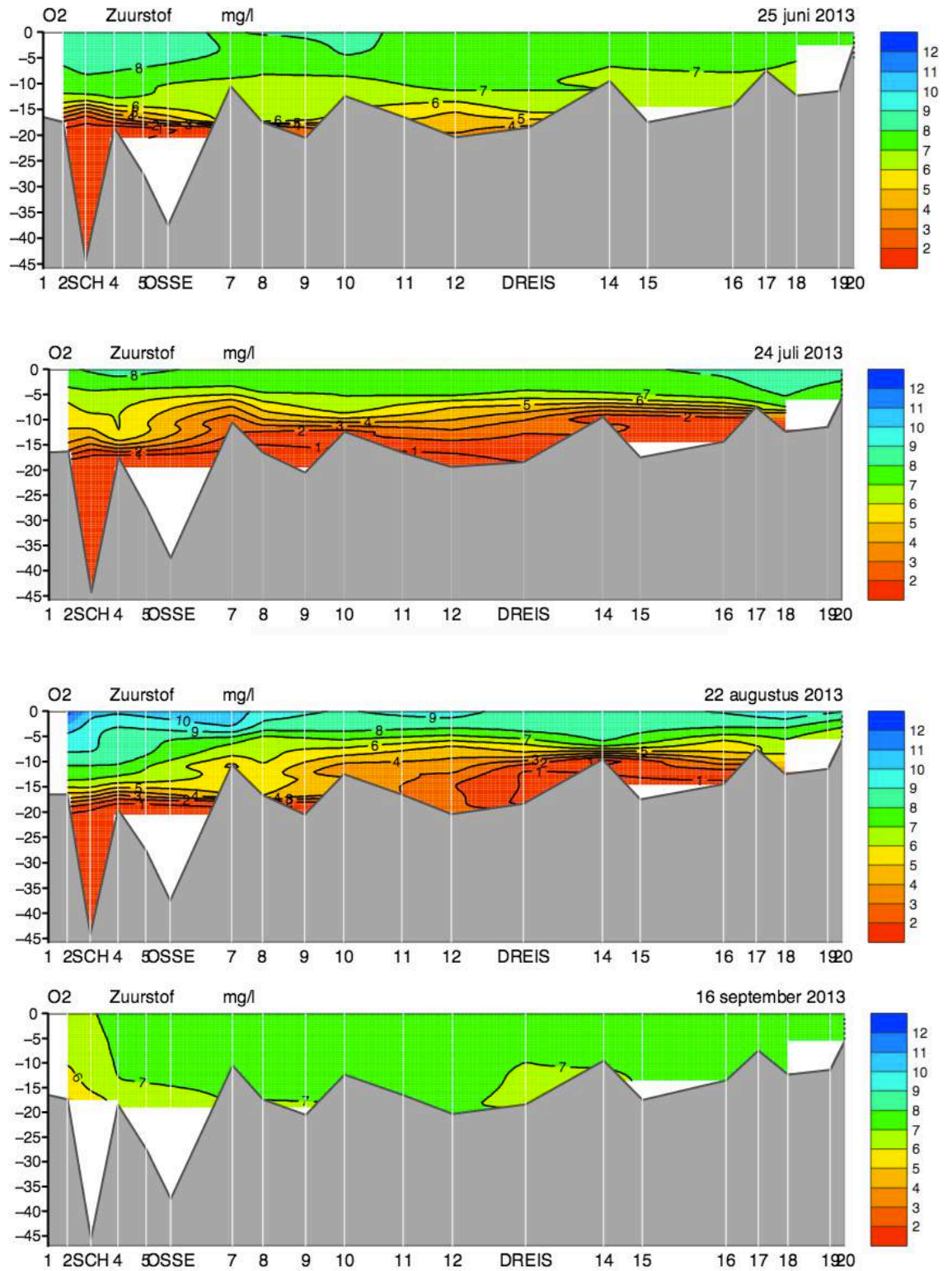
In 2016 bereikte de gemeten zuurstofdeficiëntie in het meer een maximum in september (Figuur II.1). Eind mei nam de zuurstofconcentratie af naar 10-30% in de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse (dieper dan 15-20 meter) en > 50 % in de overige delen van het meer. Eind juni waren de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse zuurstofloos (<1 mg/l) en de diepe delen in het oosten bij de Hompelvoet, Dreischor en Bruinisse laag in zuurstof (<5 mg/l) (Figuur II.1). Op 24 juli waren alle diepe delen (>15 meter) zuurstofloos of laag in zuurstof (< 1 mg/l; < 3 mg/l), en alleen de bovenste waterlaag bevatte zuurstofconcentraties >6 mg/l. Vooral in het oosten was de zuurstofconcentratie ook laag vanaf 5-10 meter en dieper (figuur II.1). In augustus verbeterde de zuurstofconditie licht en werden vanaf 10 meter en ondieper zuurstofconcentraties van >6 mg/l gemeten. In september was het meer laag in zuurstof <3 mg/l in alle diepe delen en het gehele oostelijk deel. Alleen in delen vanaf 5 meter en ondieper werden zuurstofconcentraties van > 6 mg/l gemeten (Figuur II.1). De GTSO metingen wijzen uit dat zuurstofloosheid (<2 mg/l) tot op een gemiddelde (on)diepte van circa 5 meter in het gehele oostelijke deel van het meer (vanaf Dreischor) voorkomt.

In 2013 bereikte de gemeten zuurstofdeficiëntie in het meer een maximum in juli (Figuur II.2). De zuurstofconcentratie nam eind mei af naar 3 - 4 mg/l in de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse en 7-9 mg/l in de overige delen van het meer. Eind juni waren de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse zuurstofloos (<2 mg/l) en de diepe delen in het oosten bij de Hompelvoet en Dreischor laag in zuurstof (<4 mg/l) en 7-9 mg/l in de overige delen van het meer (Figuur II.2). Op 24 juli waren alle diepe delen (>15 meter) zuurstofloos (< 1 mg/l), en alleen de bovenste waterlaag bevatte zuurstofconcentraties >6 mg/l. Vooral in het oosten was de zuurstofconcentratie ook laag vanaf 5-10 meter (figuur II.2). De GTSO metingen wijzen uit dat zuurstofloosheid (<2 mg/l) tot op een gemiddelde (on)diepte van circa 10 meter in het gehele oostelijke deel van het meer (vanaf Dreischor) voorkomt.

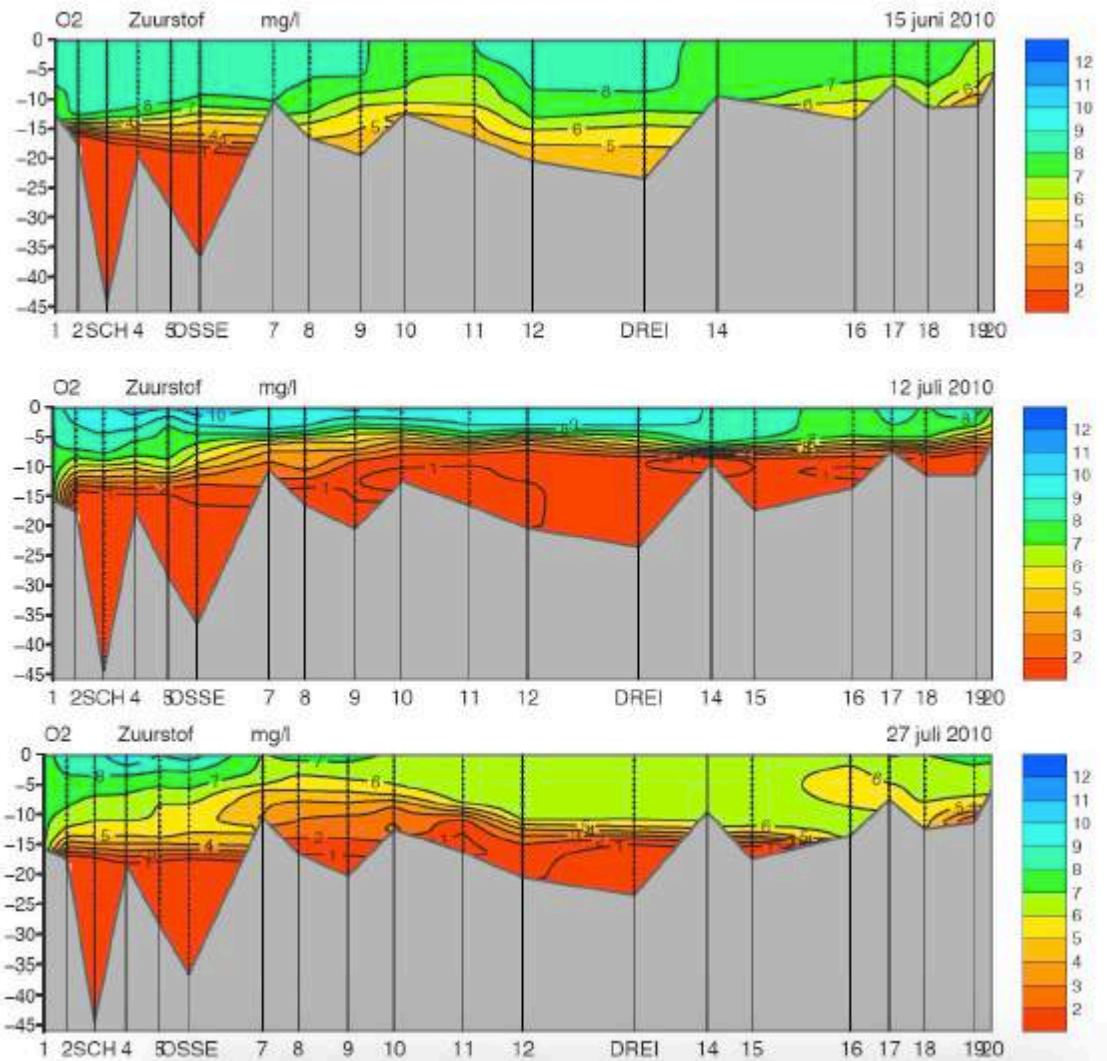
In 2010 bereikte de gemeten zuurstofdeficiëntie in het meer een maximum in juli (Figuur II.3). In begin mei werden als eerste de diepe putten bij Scharendijke en Den Osse zuurstofloos (<2 mg/l;). In juni werden ook iets ondiepere (maar dieper dan 10m) delen van het meer langzaam zuurstofarmer. In juli werd over het gehele meer op dieptes van circa 6-7 meter of meer zuurstofloosheid (<2 mg/l) vastgesteld (Figuur II.3). De GTSO metingen wijzen uit dat zuurstofloosheid tot op een gemiddelde (on)diepte van circa 6-7 meter verspreid over het gehele meer voorkomt.



Figuur II.1 TSO metingen Grevelingenmeer 2016, zomermaanden juni-september.

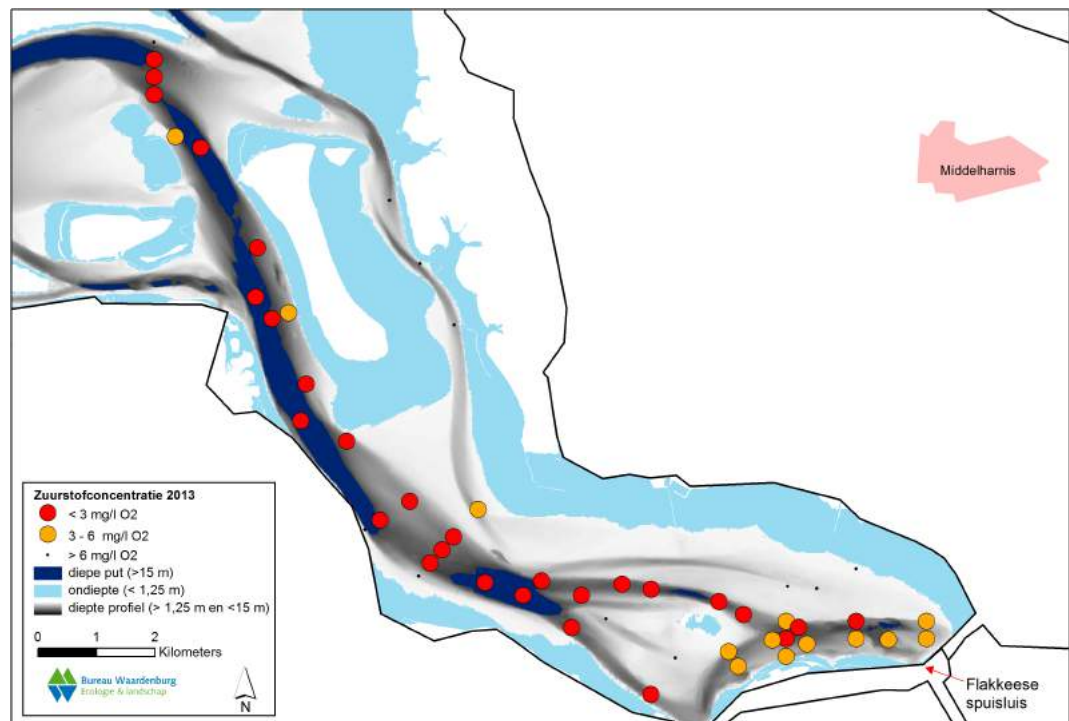
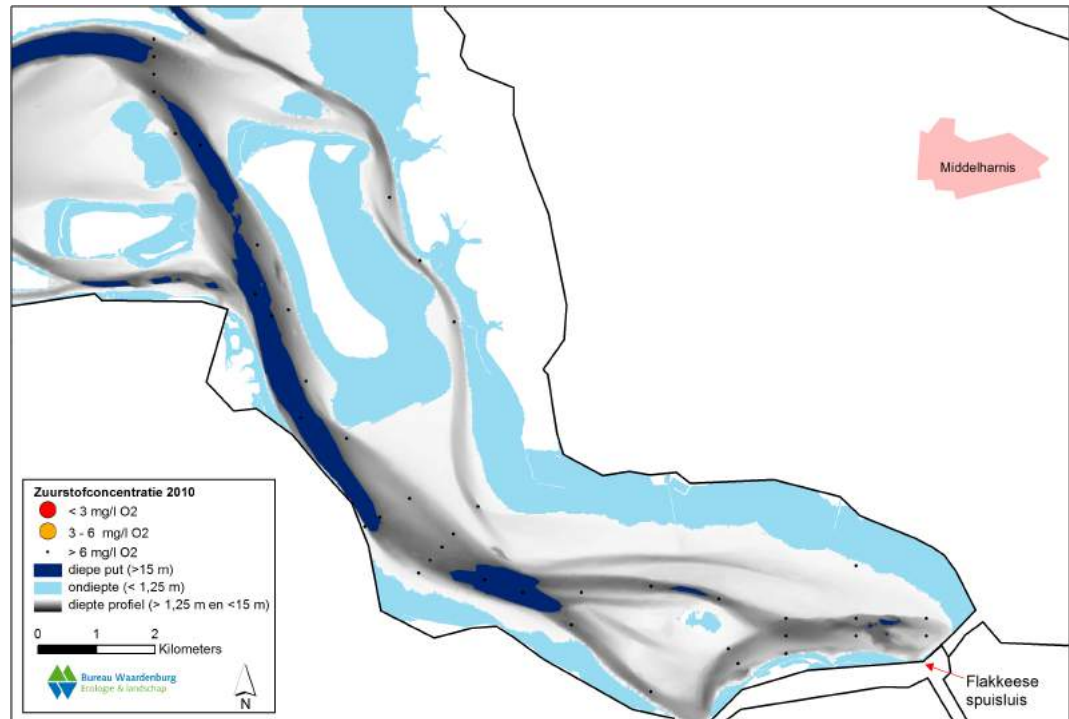


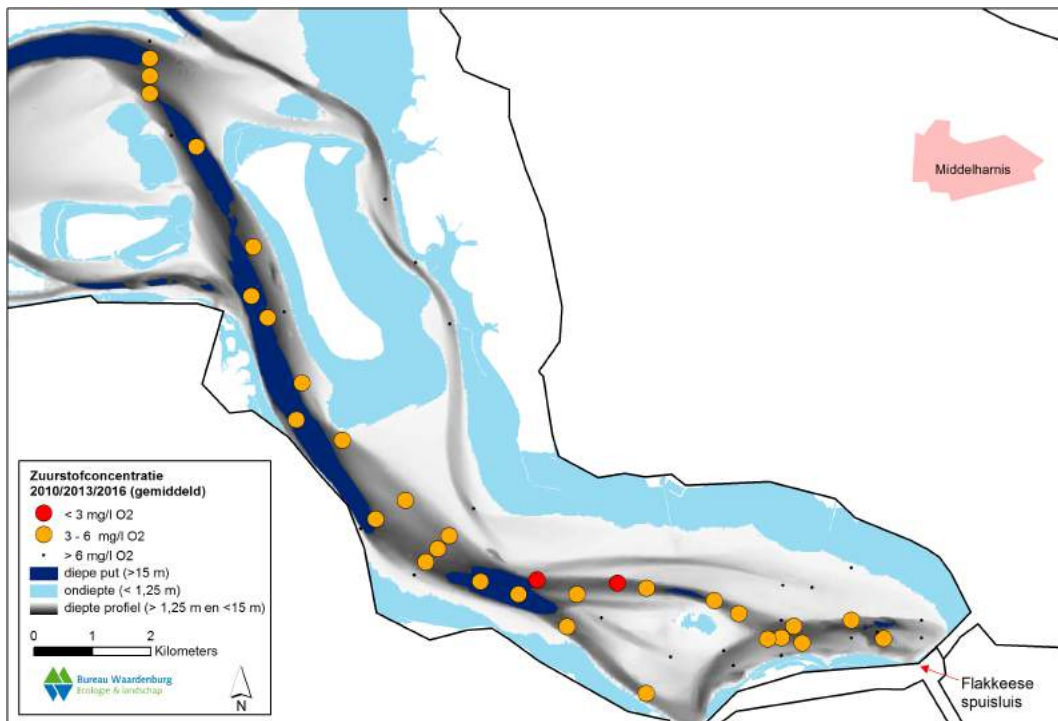
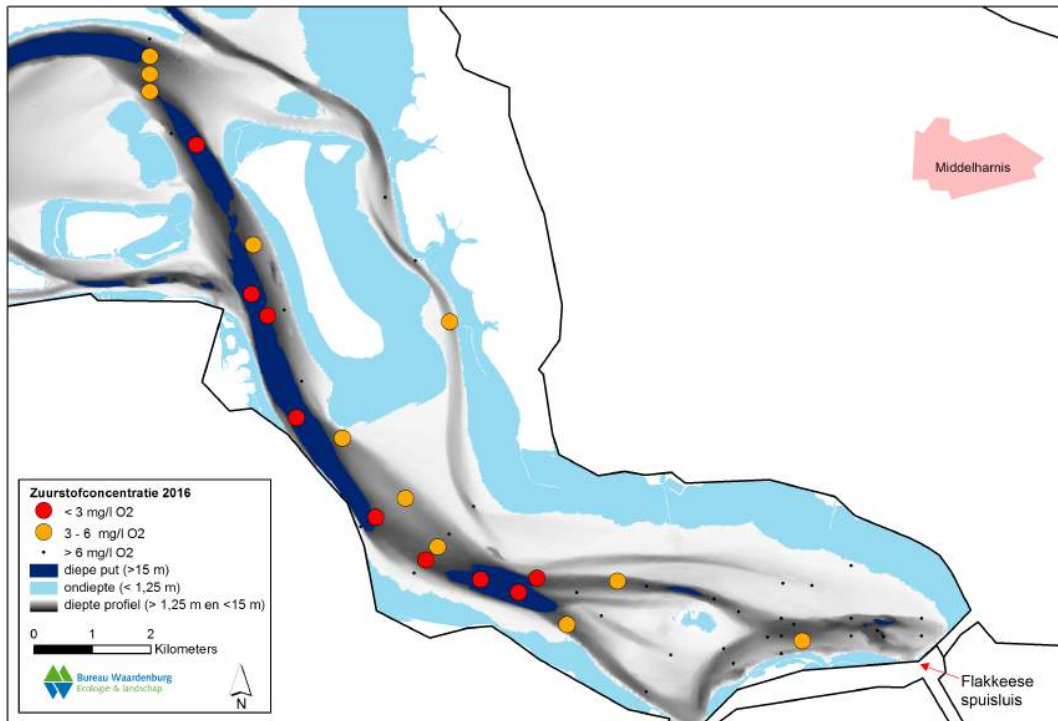
Figuur II.2 TSO metingen Grevelingenmeer 2013, zomermaanden juni-september.



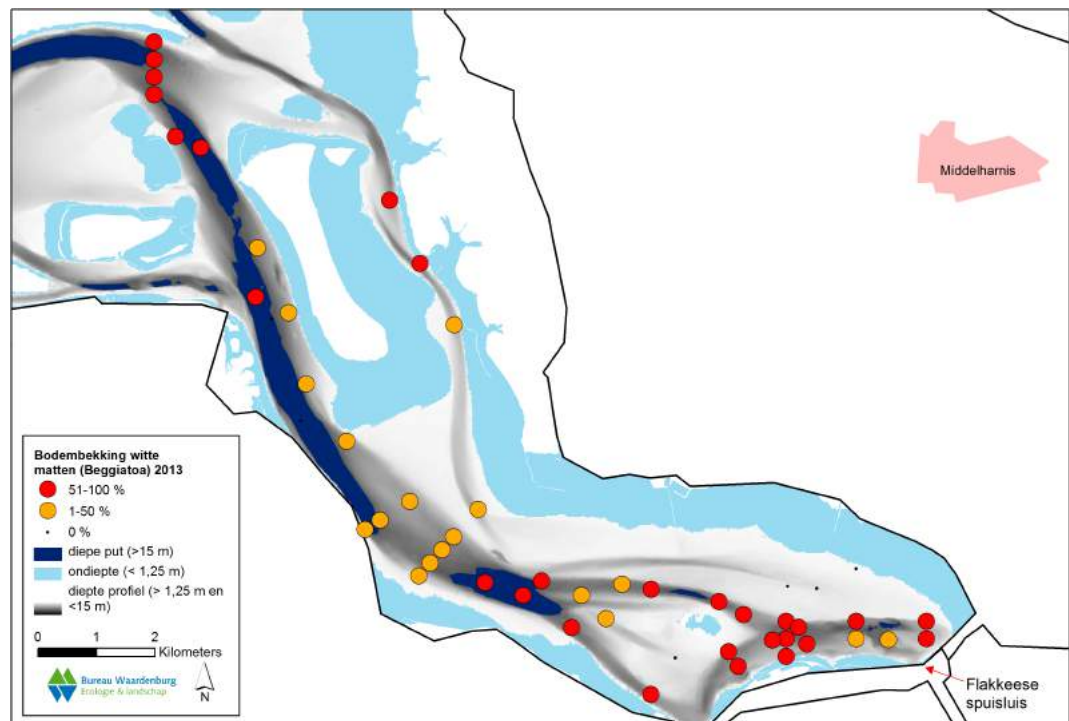
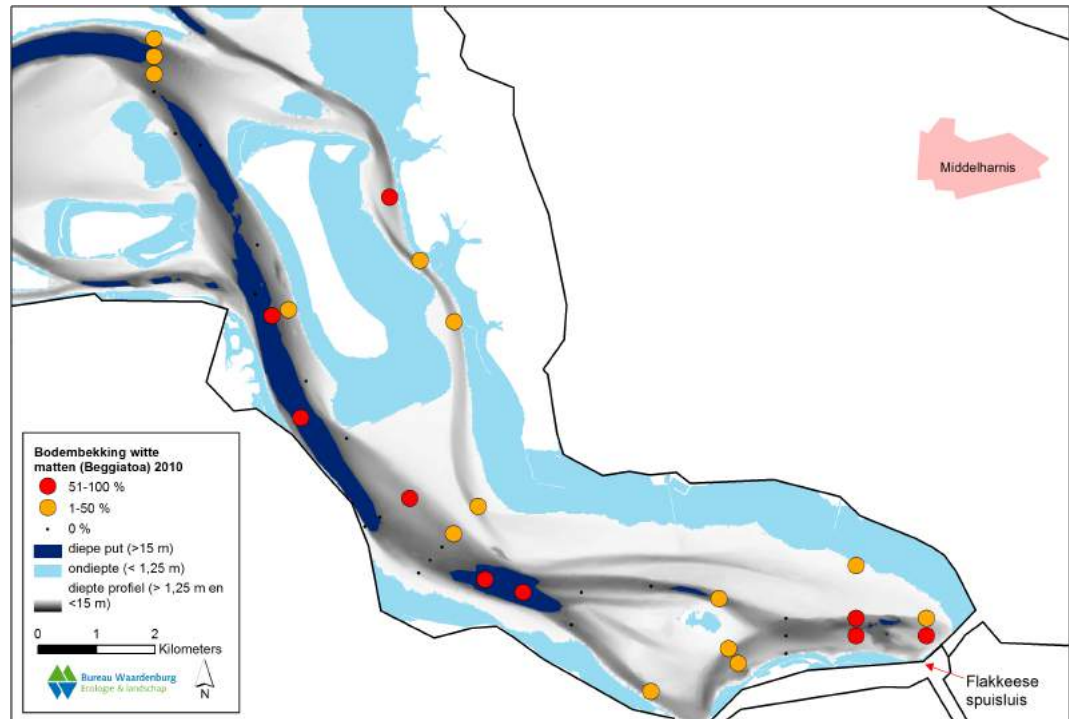
Figuur II.3 TSO metingen Grevelingenmeer 2010, zomermaanden juni-juli.

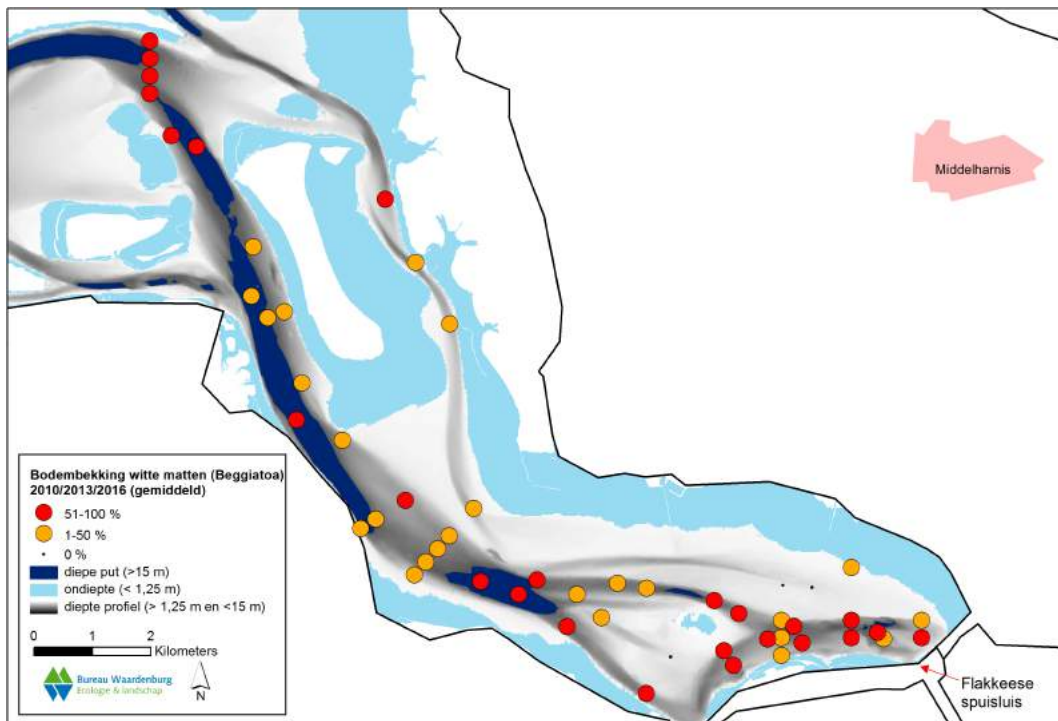
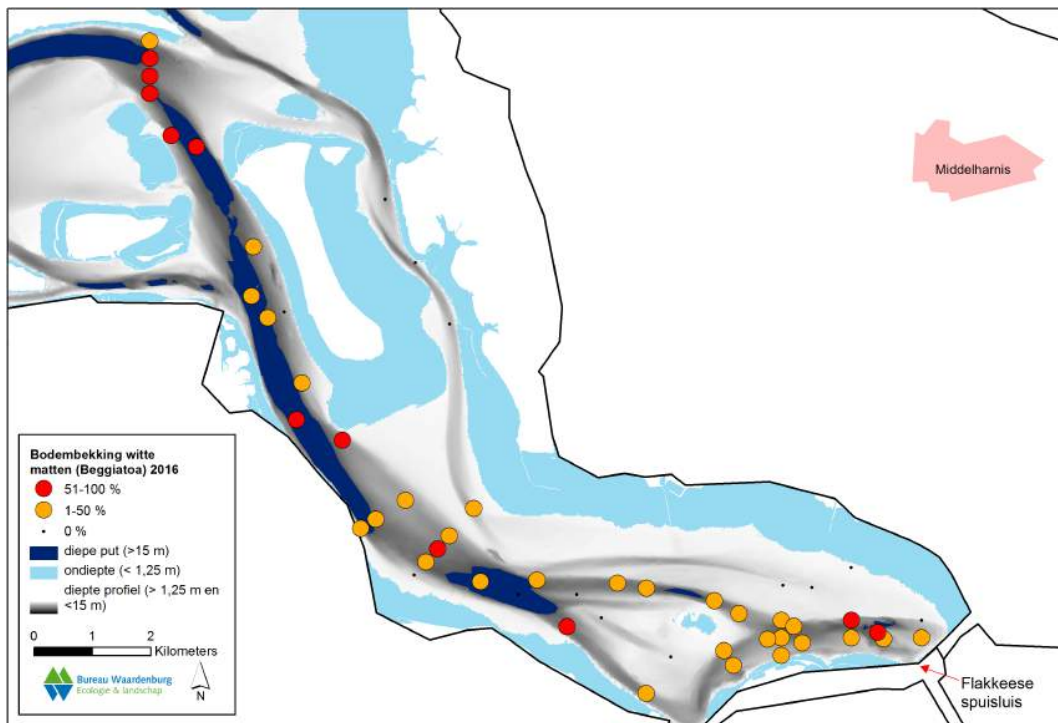
Bijlage 3 Kaarten zuurstofconcentratie



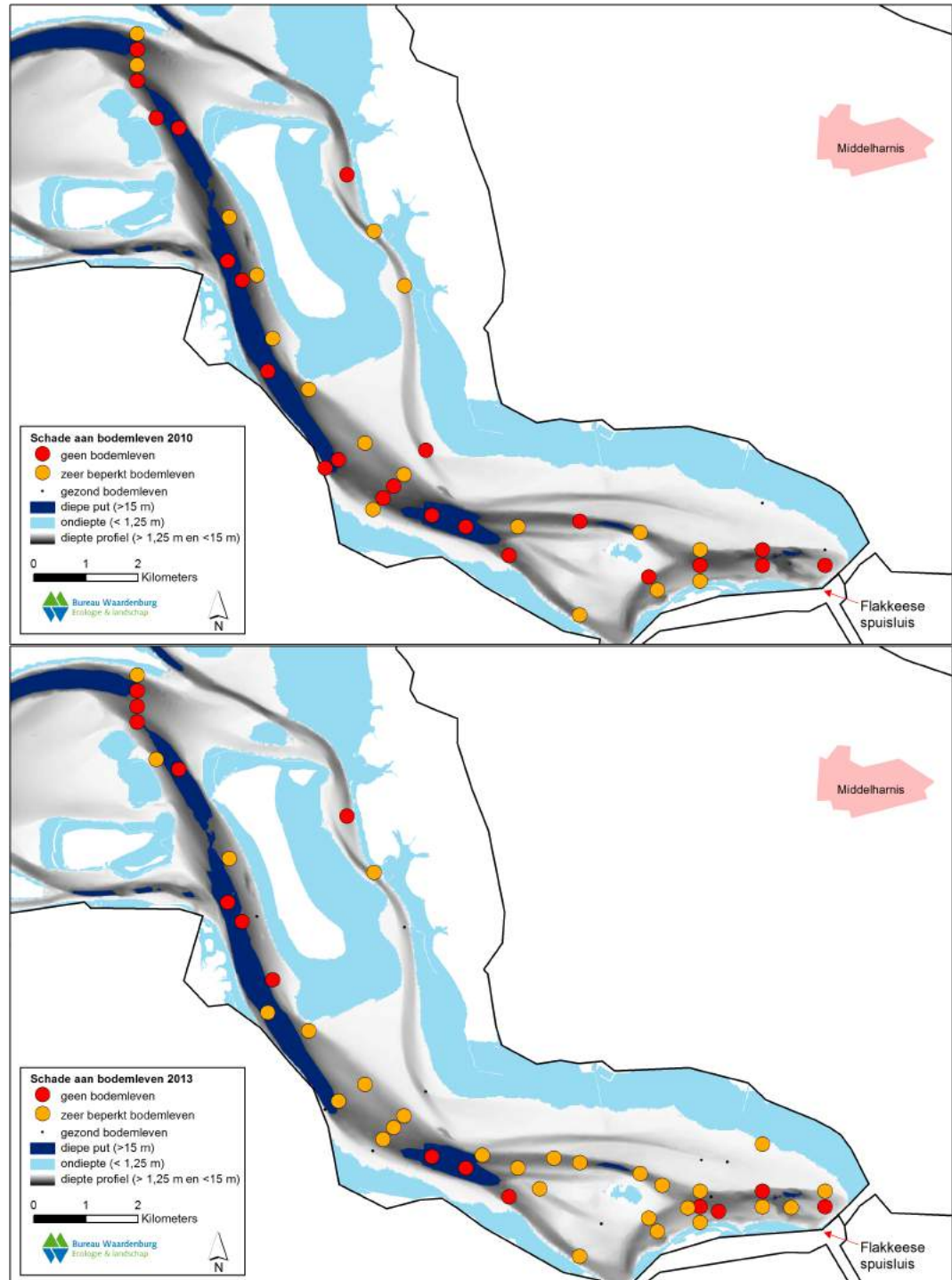


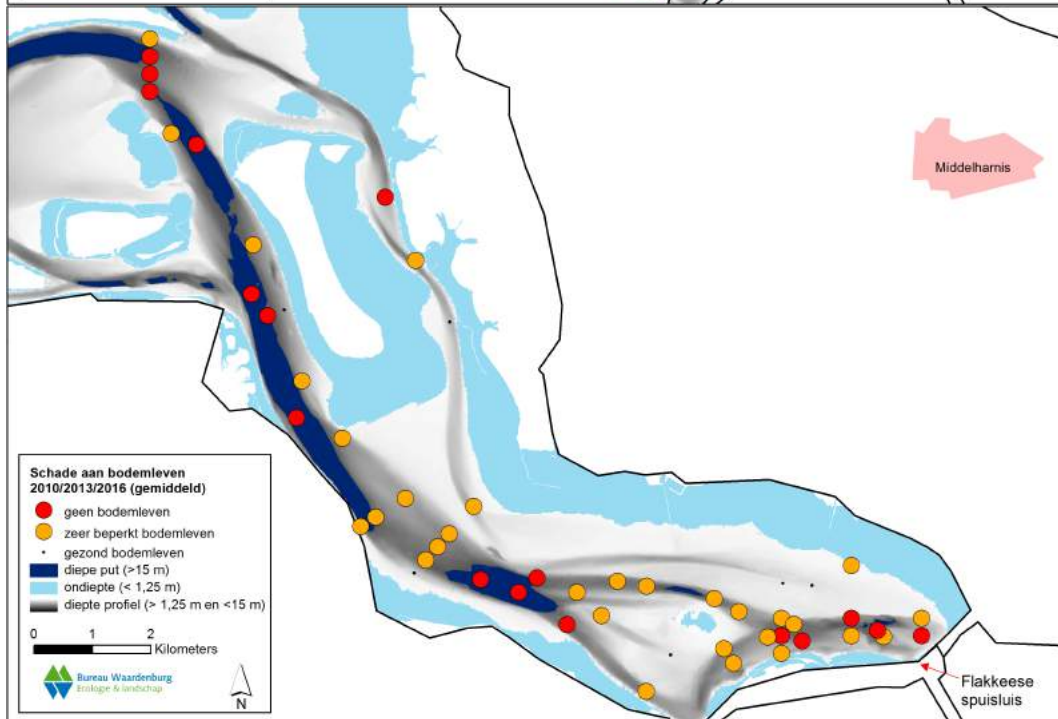
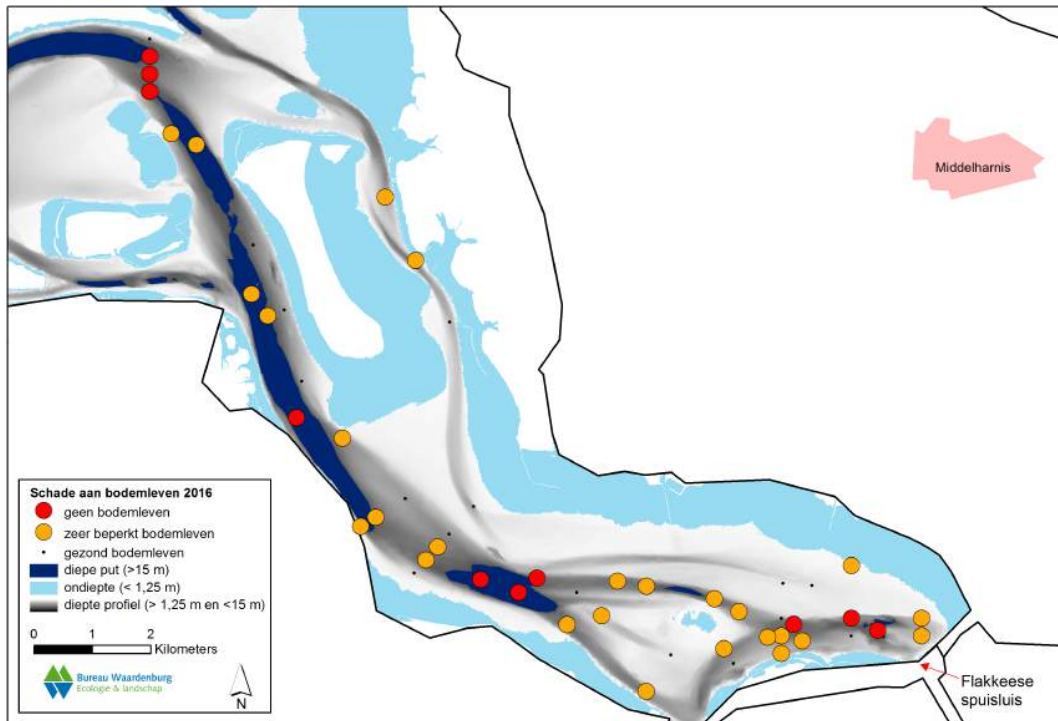
Bijlage 4 Kaarten witte bacteriematten





Bijlage 5 Kaarten schade aan bodemleven





Bijlage 7 Gegevens bodeminspectie

Locatie	X- coördina at	Y- coördina at	Diepte	Zuurstof concentratie mg/l	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ja welke	Overige fauna zichtbaar, zo ja welke	Bedekking oesters, %	Schade aan bodemleven (0 = geen schade/ gezond bodemleven, 1 = beperkt 2 = veel schade/ geen bodemleven)	Overige opmerkingen
82	56282	420613	13,8	3,12	60				2	dood muljtje, veel silb
83	56282	420913	11,9	4,55	70	silbanemoon	jeanase oester, zakcip		2	dood, veel silb, krabbensporen
84	56282	421213	13,8	3,16	90	silbanemoon			2	dode krab, veel silb
85	56282	421513	6,8	7,41	5	wadpierenhoopjes	jeanase oester, strandkrah, gewisspors, doorschijnende zakcip	30	0	oesterbank met tussen oesters begijnende mat
92	56649	419895	10,6	6,3	80		jeanase oester	50	1	dode oesters en muljtjes
94	57081	419702	18,8	1,81	90		weduweros, silbanemoon, druipzakcip	1	1	dode oesters, veel silbanemomen
102	58019	417153	20,5	2,4	5	Polydora sp.	anemomen		1	
103	58051	417995	11,2	3,6	10	ensis, infauna gaten	zakcip, krab, platte oester, weduweros, druipzakcip, spors	10	0	platte oesters
105	58298	416781	17	0	5	Polydora sp., silbanemomen			1	
107	58579	416886	8,5	6,09	0	wadpierenhoopjes, infauna gaten	silbanemoon, weduweros, zakcip, krab, platte oester	10	0	mossel scheipen (dood), dode muljtjes
109	58788	415037	19,5	2,12	80	Polydora sp.			2	dode muljtjes, veel silb
111	58882	415669	7,6	6,25	10	infauna gaten	weduweros, silbanemoon, druipzakcip, gonade, platte oester, bayulus	50	0	weinig leven op bodem, veel op hardsub
114	59578	414686	10,2	5,5	60		jeanase oester, zakcip, weduweros	5	1	veel silb
116	59890	413179	4,5	7,46	10	silbanemoon	krab, oesters	5	1	veel silb
121	60143	413340	14,4	1,12	30	infauna gaten, silbanemoon	platte oester, druipzakcip	10	1	veel silb, beggiatoc onder oppv
124	60309	418808	7,6	6,12	0	infauna gaten, silbanemoon			1	veel silb
128	60650	413661	8,3	5,9	20	infauna gaten, silbanemoon	muljte, platte oester, druipzakcip, doorschijnende zakcip	10	0	
130	60803	412386	4,8	8,93	0		krab, jeanase oester, druipzakcip, doorschijnende zakcip	80	0	oesterbank
131	60828	417726	6	6,65	0	wadpierenhoopjes, infauna gaten	krab, jeanase oester, druipzakcip, doorschijnende zakcip	1	1	veel silb, dode muljtjes
134	61003	412609	12,3	2,42	10	Polydora sp., silbanemomen			1	veel silb, aangeleaste anemoon, dode worm, beggiatoc onder oppv
138	61203	412833	11,3	3,28	100	infauna gaten, silbanemoon			1	veel silb
140	61403	413057	9,8	6,57	10	wadpierenhoopjes	krab, jeanase oester, druipzakcip, doorschijnende zakcip, muljtje	5	0	

Locatie	X- coördina at	Y- coördina at	Diepte	Zuurstof concentratie mg/l	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ia welke	Overige fauna zichtbaar, zo ia welke	Bedekking oesters %	Schade aan bodemleven (0 = geen schade/ gezond bodemleven, 1 = beperkt 2 = veel schade/ geen bodemleven)	Overige opmerkingen
142	61414	416679	6,3	5,24	0	infauna gaten, wadpiereinhoopjes	krab, wedluweos, doorschijnende zakcip, buljesspons	5	0	gezond bodemleven
147	61823	413527	7,9	7,47	5	infauna gaten, wadpiereinhoopjes	krab, wedluweos, doorschijnende zakcip, buljesspons	10	0	veel mulliges, af en toe oester
149	61938	412271	16,1	1,1	5				2	dode anemonen, dode wormen
156	62588	412055	18,8	0,9	0				2	dode wormen
159	63416	411503	12,0	3,19	90	dode worm, dode anemoon	japanse oester, zakcip, wedluweos	1	1	dode anemonen, dode wormen
162	63586	412054	7,6	7,18	0		krab, wedluweos, doorschijnende zakcip, buljesspons	40	0	
168	64771	410361	9,6	7,66	40		krab, japanse oester, zakcip, mullige	5	1	veel silb
174	64778	412161	13,1	6,58	40	silbanemoon	japanse oester, zakcip, wedluweos	5	1	veel silb
182	65935	411945	12	6,6	30		japanse oester, zakcip, duipzakcip, grondb, wedluweos	5	1	veel silb
186	66099	411093	7,9	6,51	10	infauna gaten	grondb, anemoon		1	veel silb
187	66267	410844	8	7,06	20	silbanemoon	japanse oester, zakcip, wedluweos	20	0	andere matten tussen oesters, afbraakmateriaal en silb
189	67082	411013	7,4	6,6	5	infauna gaten, silbanemoon	mullige, japanse oester	10	1	veel silb, ook andere matten
190	67082	411313	12	6,54	10	infauna gaten, silbanemoon	japanse oester, wedluweos	1	1	veel silb
191	67082	411613	8,7	7,1	10	infauna gaten, silbanemoon	japanse oester, wedluweos, zakcip, mullige	40	0	silb?
197	68282	411313	6,7	7,38	10	infauna gaten	japanse oester, zakcip, anemonen	30	0	silb tussen oesters bedekt met witte matten
198	68282	411613	9,8	6,96	90			0	2	veel silb
201	68282	412513	1,4	8,85	0	infauna gaten, wadpiereinhoopjes	krab, wedluweos, Botryllus sp	5	1	silb?
204	69482	411313	4,9	7,78	5	infauna gaten, wadpiereinhoopjes	krab		1	dode krab
205	69482	411613	3,8	8,19	0	infauna gaten, wadpiereinhoopjes	krab		1	dode worm



Bureau Waardenburg bv
Adviseurs voor ecologie & milieu
Postbus 365, 4100 AJ Culemborg
Telefoon 0345-512710, Fax 0345-519849
E-mail info@buwa.nl, www.buwa.nl