

De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer II (concept)

Metingen van de nazomer 2010 en het eind van de winter 2011

W. Lengkeek
S. Bouma

De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer II (concept)

Metingen van de nazomer 2010 en het eind van de winter 2011

W. Lengkeek
S. Bouma



Bureau Waardenburg bv
Adviseurs voor ecologie & milieu

Postbus 365 4100 AJ Culemborg
Telefoon 0345 51 27 10, Fax 0345 51 98 49
info@buwa.nl www.buwa.nl

opdrachtgever: Natuur- en Recreatieschap de Grevelingen

22 juni 2011

rapport nr. 0x-0xx

Status uitgave: concept

Rapport nr.: 00-0xx

Datum uitgave: 22 juni 2011

Titel: De verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer II (concept)

Subtitel: Metingen van de nazomer 2010 en het eind van de winter 2011

Samenstellers: dr. W. Lengkeek
Drs. S. Bouma

Aantal pagina's inclusief bijlagen: 000

Project nr.: 11-101

Projectleider: dr. W. Lengkeek

Naam en adres opdrachtgever: Natuur- en Recreatieschap de Grevelingen
Postbus 341, 3100AH Schiedam

Referentie opdrachtgever: Brief met kenmerk 2011-293294044

Akkoord voor uitgave: Teamleider Aquatische Ecologie, Bureau Waardenburg bv
drs. A. Bak

Paraaf:

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

© Bureau Waardenburg bv / Natuur- en Recreatieschap de Grevelingen

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder vooraf-gaande 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
Adviseurs voor ecologie & milieu

Postbus 365 4100 AJ Culemborg
Telefoon 0345 51 27 10, Fax 0345 51 98 49
info@buwa.nl www.buwa.nl

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding.....	7
1.1 Aanleiding.....	7
1.2 Doel.....	8
2 Materiaal en methoden	9
2.1 Locaties	9
2.2 Cameramethode	10
2.3 Registratie en analyse	11
2.4 Aanvullende registratie Japanse oesters / ophopingen van zeesla	14
3 Resultaten	15
3.1 Verspreiding witte bacteriematten	15
3.2 Schade aan bodemleven	17
3.3 Verschil nazomer 2010 en voorjaar 2011.....	18
3.4 GTSO zuurstofmetingen: Zuurstofcondities in winter en voorjaar 2011	21
4 Discussie	23
4.1 Verspreiding en afname	23
4.2 Resultaten in relatie tot beheer en oplossingen.....	23
5 Conclusies en aanbevelingen.....	25
5.1 Conclusies.....	25
5.2 Aanbevelingen.....	25
6 Literatuur.....	27

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek is om meer inzicht te krijgen in de verspreiding van witte bacteriematten en andere schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer (beide mogelijke gevolgen van zuurstofloosheid). In de nazomer van 2010 is een visuele inspectie van de bodem uitgevoerd op 198 locaties in het meer. Dit gaf een goed beeld van de toestand na een zomerperiode waarin stratificatie van de waterkolom is opgetreden. De resultaten staan verwoordt in Lengkeek *et al.*, (2010b). In voorliggend onderzoek zijn de aangemerkte 'probleemlocaties' van 2010 nogmaals geïnspecteerd. Ditmaal vond de inspectie plaats aan het einde van de winter in 2011, na een periode zonder stratificatie en zonder zuurstofloosheid in de waterkolom.

Op elke locatie zijn foto's van de bodem verzameld en is aan de hand van live videobeelden een beschrijving van de situatie onder water opgesteld. De verspreiding van de kenmerkende witte matten van *Beggiatoa spp.* bacteriën zijn in kaart gebracht evenals andere vormen van zichtbare schade aan het bodemleven en tekenen van herstel.

Op 64% van de onderzochte locaties is de bodembedekking met witte *Beggiatoa spp.* bacteriën afgenomen of geheel verdwenen. Op 51% van de onderzochte locaties zijn tekenen van herstel van bodemdieren zichtbaar. Dit wordt waargenomen door de aanwezigheid van wormenhoopjes, schelpdieren in het zand of sponzen op harde structuren, op locaties waar dit leven in de nazomer van 2010 niet werd waargenomen. Op enkele locaties is herstel zichtbaar terwijl de witte matten nog niet helemaal verdwenen zijn.

Er is duidelijk sprake van een verbetering van de toestand ten opzichte van de nazomer van 2010, maar er is nog geen sprake van volledig herstel. De witte matten zijn niet overal verdwenen en het bodemleven is niet overal aan het herstellen. Uit wetenschappelijke literatuur blijkt dat volledig herstel van bodemdiergemeenschappen in het Noordzee ecosysteem meer dan zes jaar kunnen duren.

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). In de waterkolom lijkt dit proces voornamelijk veroorzaakt te worden door stratificatie gedurende de zomermaanden. Processen in de bodem zijn minder goed bekend. Duidelijk is wel, dat de zuurstofhuishouding in het Grevelingenmeer niet voldoet aan de gestelde beheersdoelstellingen (Hoeksema, 2002; Bouma *et al.*, 2008; Wetsteijn, 2011). Ook zijn er in het Grevelingenmeer neergaande ecologische trends gesignaleerd die mogelijk gerelateerd zijn aan de zuurstofproblematiek (Bouma *et al.*, 2008).

In de Verkenning Grevelingen zijn mogelijkheden verkend om de problemen in het meer op te lossen door het invoeren van een (gedempt) getij (Turlings *et al.* 2009). Uit modelberekeningen werd duidelijk dat verschillende vormen van getij het probleem van zuurstofdeficiëntie in de waterkolom goed op kunnen lossen (Nolte *et al.* 2008). Het is vooralsnog echter onzeker wat er met de bodem zal gebeuren onder invloed van getij. Het oplossen van de zuurstofdeficiëntie in de waterkolom hoeft namelijk niet direct te leiden tot verbetering van de zuurstofhuishouding in de bodem. Uit een persoonlijke observatie (Lengkeek, maart 2008) bleek namelijk, dat witte bacteriematten (*Beggiatoa spp.*) die gezien worden als indicator voor zuurstofarme condities in en nabij de bodem, ook in de winter tijdens stormachtige omstandigheden in de Grevelingen aangetroffen worden; ofwel op momenten dat er geen stratificatie en zuurstofarme condities in de waterkolom aanwezig zijn.

De zuurstofproblematiek in het Grevelingenmeer is tot nu toe nog niet helemaal doorgrond. Over het stratificatieproces in de waterkolom bestaat inmiddels voldoende inzicht, maar over de processen in de bodem is veel minder bekend. Daarom is in 2010 onderzocht hoe groot de omvang van het bodemprobleem is en hoe de witte bacteriematten zich verspreiden over het Grevelingenmeer (Lengkeek *et al.*, 2010b). Dit onderzoek werd uitgevoerd na een warme zomer met veel stratificatie. Dit resulteerde in een gedetailleerde momentopname van de omvang van het bodemprobleem. Het is vooralsnog niet duidelijk in hoeverre de effecten van zuurstofloosheid, zoals de vorming van de witte bacteriematten, variëren over de seizoenen. Verdwijnen ze weer na een (winter)periode zonder stratificatie? Het beantwoorden van deze vraag is belangrijk voor het inschatten van de effectiviteit van mogelijke oplossingsrichtingen.

Voorliggende rapportage beschrijft een onderzoek waarin de locaties die in 2010 (Lengkeek *et al.*, 2010b) zijn aangemerkt als 'probleemlocatie', nogmaals geïnspecteerd worden, maar nu in het vroege voorjaar. Het betreft locaties waar in 2010 witte bacteriematten en / of andere schade aan het bodemleven werd aangetroffen.

1.2 Doel

De primaire doelstelling van het onderzoek is:

- Bepalen of er op de 'probleemlocaties' van 2010 nog steeds witte bacteriematten en / of andere schade aan het bodemleven zichtbaar zijn / is na een periode zonder stratificatie.

Hiermee wordt de seizoensvariatie van het bodemprobleem inzichtelijk gemaakt en onderzocht of een periode zonder stratificatie leidt tot een afname van de witte bacteriematten.

2 Materiaal en methoden

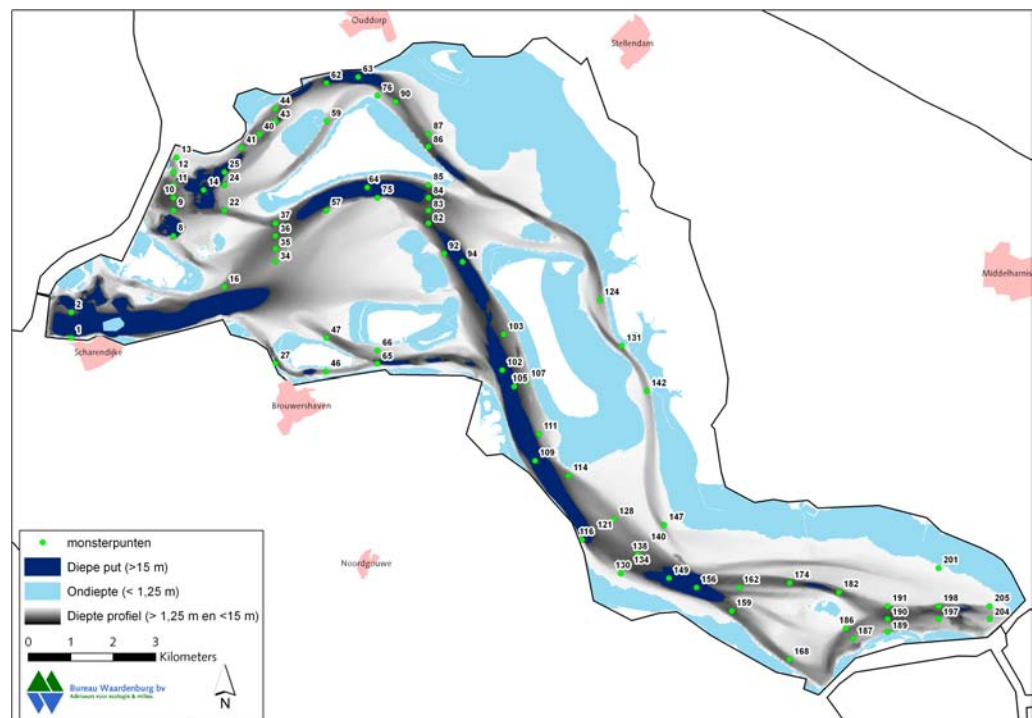
Het veldonderzoek voor de tweede inspectie is uitgevoerd in de periode van 17-22 maart 2011.

2.1 Locaties

De bodem is onderzocht op de locaties die in de studie van 2010 (Lengkeek *et al.*, 2010b) zijn aangemerkt als probleemlocaties. Dit betreft 77 locaties verspreid over het Grevelingenmeer (Figuur 2.1).

Op elk punt zijn beelden verzameld van de bodem en is genoteerd of er witte bacteriematten zichtbaar waren of schade aan het bodemleven zichtbaar was (zie tekstkader 1 voor toelichting). Daarnaast is ook genoteerd of er duidelijk tekenen van herstel van de bodemdiergemeenschap zichtbaar waren (zie tekstkader 2 voor toelichting). Ook is de diepte vastgelegd en is genoteerd of er Japanse oesters en / of ophopingen van zeesla aanwezig waren.

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 2010.



Figuur 2.1 De inspectielocaties verspreid over het Grevelingenmeer.

2.2 Cameramethode

Voor het uitvoeren van de inspecties is een Novasub videosysteem gebruikt. Dit is een onderwater videocamera met verlichting die door middel van een kabel aan een laptop computer 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 de Grevelingen ingezet worden. De camera en verlichting zijn aan een statief bevestigd en het geheel werd met een kraan vanaf een vaartuig naar de bodem gelaten (Figuur 2.2). Het gebruikte vaartuig is een zeven meter lange RIB (Rigid Inflatable Boat) die slechts 75 cm diep steekt en daardoor ook ondiepe locaties kon bereiken. Het vaartuig beschikt ook over een dieptemeter die op 0,1 meter nauwkeurig is. Het gebruik van deze methode voor het onderzoeken van de zeebodem en bodemdieren is eerder met succes toegepast in Lengkeek *et al.* (2010a, b).

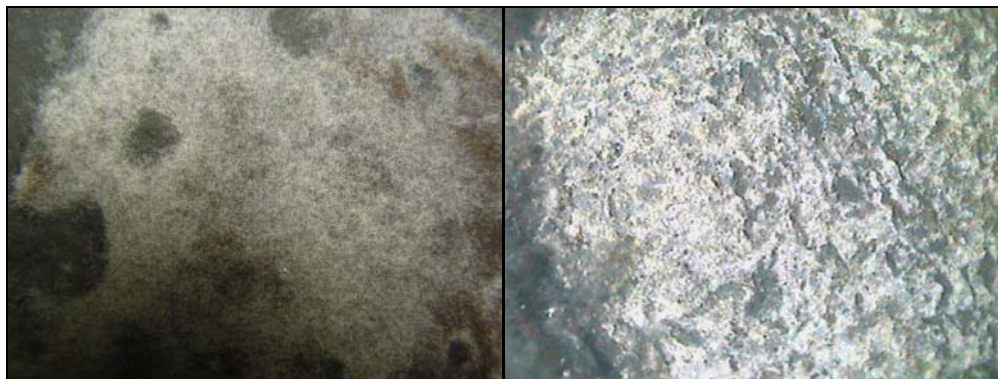
De beelden die met het videosysteem verzameld worden, zijn van mindere kwaliteit dan videobeelden die door een duiker met een handcamera verzameld kunnen worden. Het voordeel van het videosysteem is echter, dat er veel sneller en meer locaties bezocht kunnen worden dan door duikers. Dit is bij het onderzoeken van 77 locaties een groot voordeel. Voor het vastleggen van de verspreiding van witte bacteriematten in de Grevelingen is de kwaliteit van de beelden van het videosysteem ruim voldoende. Zie ook figuur 2.3.



Figuur 2.2. Links: Het vaartuig met kraan en videosysteem. Rechts: Het statief met camera en verlichting aan de kraan.

2.3 Registratie en analyse

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. Met behulp van deze beelden is ter plaatse een veldformulier ingevuld. Op dit veldformulier zijn verschillende parameters ingevuld, zoals bijvoorbeeld diepte, aanwezigheid van witte matten, aanwezigheid van bodemleven en zichtbare schade aan het bodemleven. Het ingevulde veldformulier, waarin ook alle opgenomen parameters staan vermeld, is bijgevoegd in Bijlage 3.



Figuur 2.3. Witte bacteriematten. Links: genomen door duiker met handcamera. Rechts: genomen met het Novasub videosysteem.

Tekstkader 1. Zichtbare schade aan het bodemleven

De witte matten zijn niet de enige zichtbare indicatie voor ecologische problemen op de bodem van de Grevelingen. Op veel locaties was duidelijk zichtbaar dat de bodemdiergemeenschap beschadigd of onvolledig was. Een gezonde bodemdiergemeenschap in de Grevelingen bevat zeker tot op 20 meter diepte verschillende diersoorten waaronder (slib)anemonen, schelpdieren en vooral veel wormachtigen (te zien aan uitwerpselen) in het zand (Figuur 2.3; zie ook Lengkeek *et al.*, 2007). Deze soorten zijn op een gezonde bodem in de Grevelingen goed waar te nemen met de camera. Ook op harde substraten groeien anemonen samen met andere zichtbare soorten zoals sponzen en oesters.

Op probleemlocaties werden vaak dode dieren aangetroffen, zoals bijvoorbeeld zeesterren. Dit getuigt van recente sterfte. Op deze locaties zijn tevens geen (hoopjes van) wormen meer waarneembaar, zijn (slib)anemonen een zeldzaamheid en zijn alleen nog zakpijpen en muiltjes als levende dieren te herkennen. Deze locaties zijn geregistreerd als 'zeer beperkt bodemleven' (Figuur 2.3). 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.

In andere gevallen was duidelijk te zien dat er helemaal niks meer in leven was. 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. Deze locaties werden geregistreerd als 'geen bodemleven' (Figuur 2.3).

Van wormen is bekend dat ze een lichte mate van verstoring van het ecosysteem goed kunnen overleven. In zeebodems met een verstoring nemen wormen juist vaak toe (en nemen schelpdieren af). Men spreekt dan van 'verworming'. De afwezigheid van wormachtigen duidt wellicht op een zeer ernstige verstoring.



Figuur 2.3. Links: gezonde bodem met slikanemoon, wormenhoopjes en bruine diatomeeën-mat. Midden: 'zeer beperkt bodemleven'; alleen levende zakpijpen aanwezig. Rechts: 'geen bodemleven'; geen zichtbare levende organismen aanwezig.

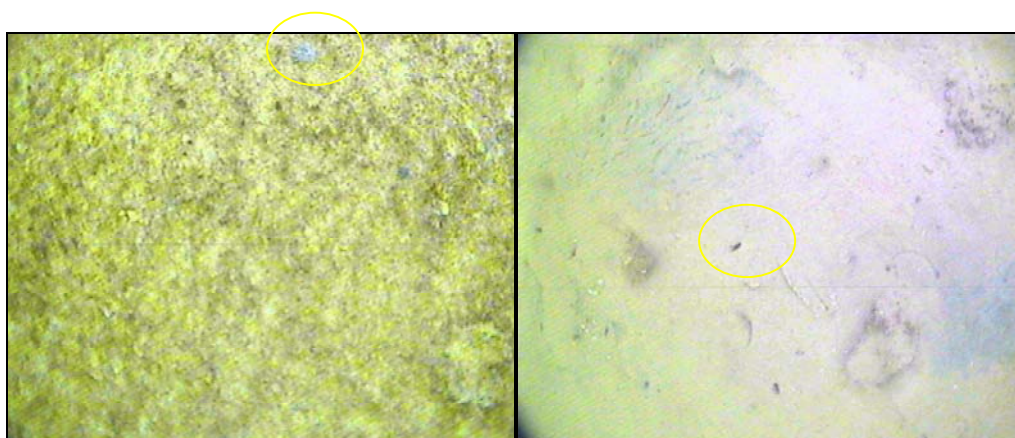
Tekstkader 2. Zichtbare tekenen van herstel van het bodemleven

In het onderzoek van 2010 (Lengkeek *et al.*, 2010b) werd de afwezigheid van wormen (te zien aan uitwerpselen) gebruikt als indicator voor schade aan het bodemleven. Ook schelpdieren in de bodem en sponzen op de oesters werden op de 'probleem' locaties niet aangetroffen.

Tijdens de inspectie in 2011 werden op een deel van de voormalige 'probleem' locaties kleine uitwerpselen van wormen aangetroffen (Figuur 2.4). Ook waren er locaties waar duidelijk schelpdieren (zoals bijvoorbeeld *Ensis sp.*) in de bodem zaten en locaties waar kleine geweisponzen op oesters groeide waar deze in 2010 niet werden aangetroffen (Figuur 2.4).

Locaties waar in 2011 wormen, schelpdieren in de bodem of sponzen werden aangetroffen, terwijl dit in 2010 niet zo was, zijn aangemerkt als locaties waar 'tekenen van herstel' zijn waargenomen.

NB 'tekenen van herstel' betekent niet dat de bodemdiergemeenschap volledig hersteld is. Het betekent dat er tekenen van herstel zichtbaar zijn.



Figuur 2.4. Links: foto van voormalige probleemlocatie waar nu enkele kleine wormenhoopjes zijn aangetroffen. Rechts: foto van voormalige probleemlocatie waar nu schelpdieren onder het zand zichtbaar zijn.

De verspreiding van de witte bacteriematten, schade aan het bodemleven en tekenen van herstel zijn inzichtelijk gemaakt door middel van een GIS-kaart. De relatie met diepte is onderzocht met behulp van het statistiekpakket SPSS 18 voor Windows. GTSO metingen zijn geraadpleegd via de website www.hmcz.nl om te achterhalen hoe de zuurstofloosheid in de waterkolom zich over het meer heeft verspreid in de zomer van 2010 en hoe de situatie was ten tijde van de meting in 2011.

2.4 Aanvullende registratie Japanse oesters / ophopingen van zeesla

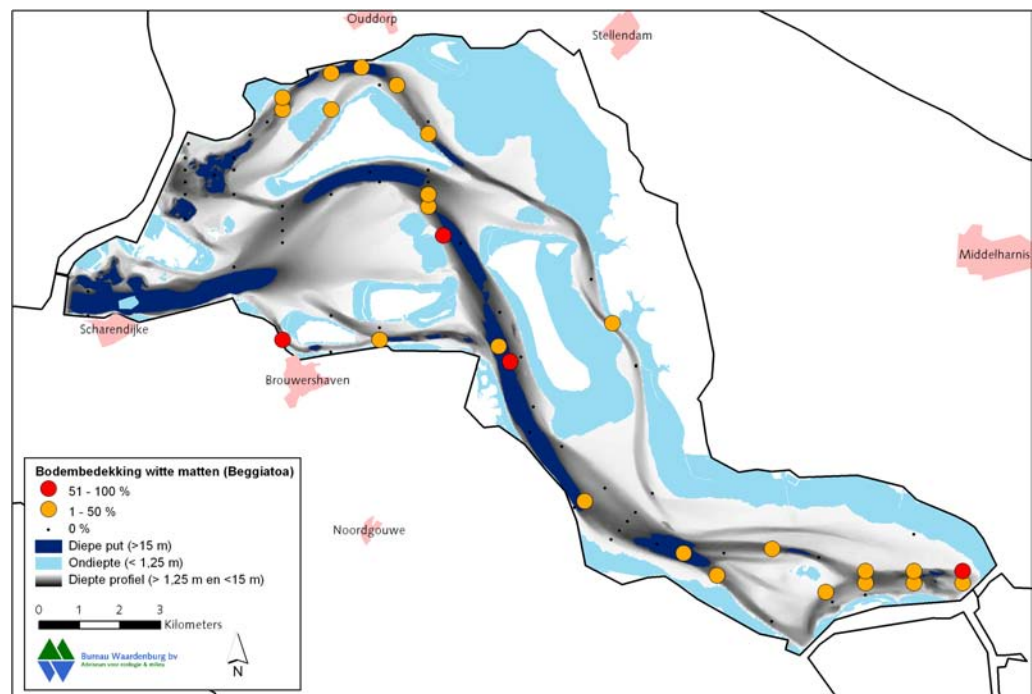
Het onderzoek richt zich in eerste instantie op de effecten van de zuurstofproblematiek. Daarnaast geeft het beeldmateriaal ook informatie over andere geïdentificeerde kennisleemtes voor de Grevelingen, zoals bijvoorbeeld een gebrek aan informatie ten aanzien van het voorkomen van Japanse oesters en ophopingen van zeesla. Deze informatie is in voorliggende rapportage gedocumenteerd in tabelvorm (Bijlage 5). Analyse en interpretatie van deze resultaten vallen niet binnen dit onderzoek.

3 Resultaten

3.1 Verspreiding witte bacteriematten

Voorjaar 2011

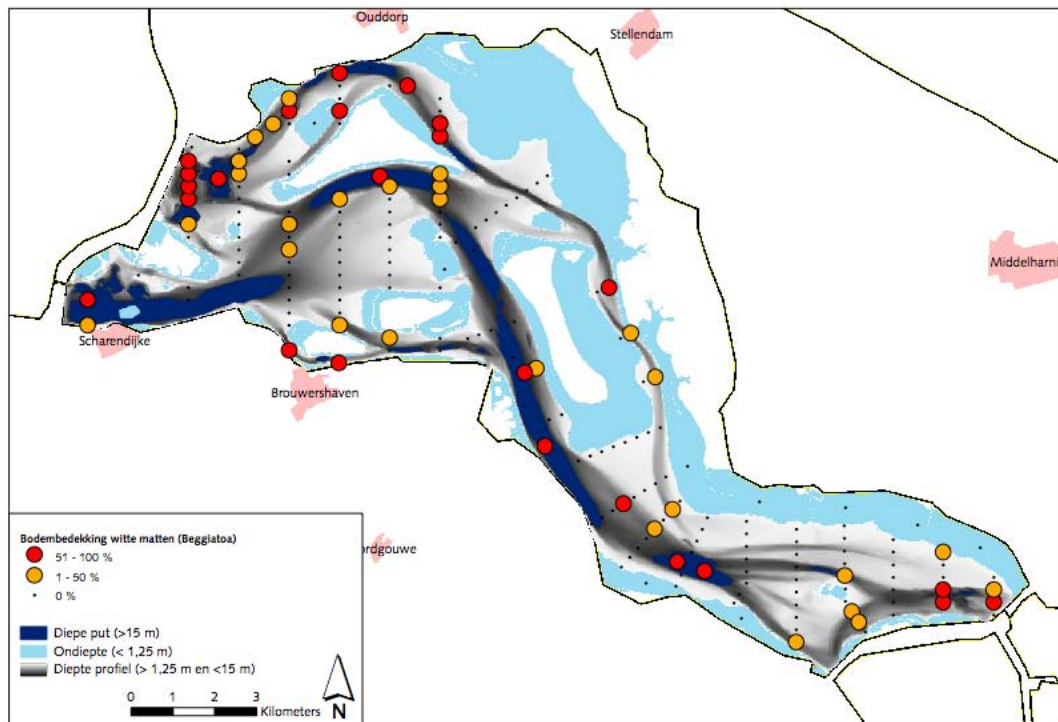
De witte matten van *Beggiatoa spp.* bacteriën zijn in het voorjaar van 2011 op 26 van de 77 onderzochte locaties aangetroffen (Figuur 3.1, Bijlage 1). Er zijn nog maar 4 locaties waar de bodem voor meer dan 50% bedekt is met witte matten. De meeste witte matten zijn aangetroffen in de Noordgeul (Springersdiep) en de zuid-oosthoek (Bocht van St. Jacob).



Figuur 3.1 Verspreiding witte matten (*Beggiatoa spp.*) in het Grevelingenmeer in het voorjaar van 2011.

Nazomer 2010

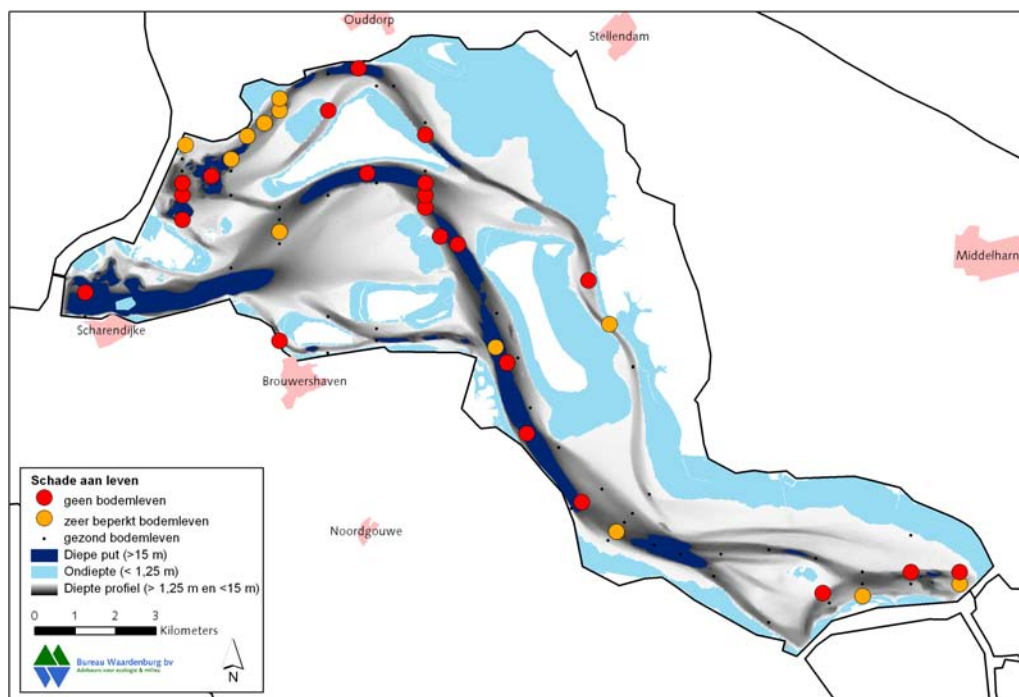
Ter vergelijking is ook de verspreiding van de witte matten in de nazomer 2010 weergegeven (Bron: Lengkeek *et al.*, 2010b).



Figuur 3.2 Verspreiding witte matten (*Beggiatoa* spp.) in het Grevelingenmeer in de nazomer van 2010.

3.2 Schade aan bodemleven

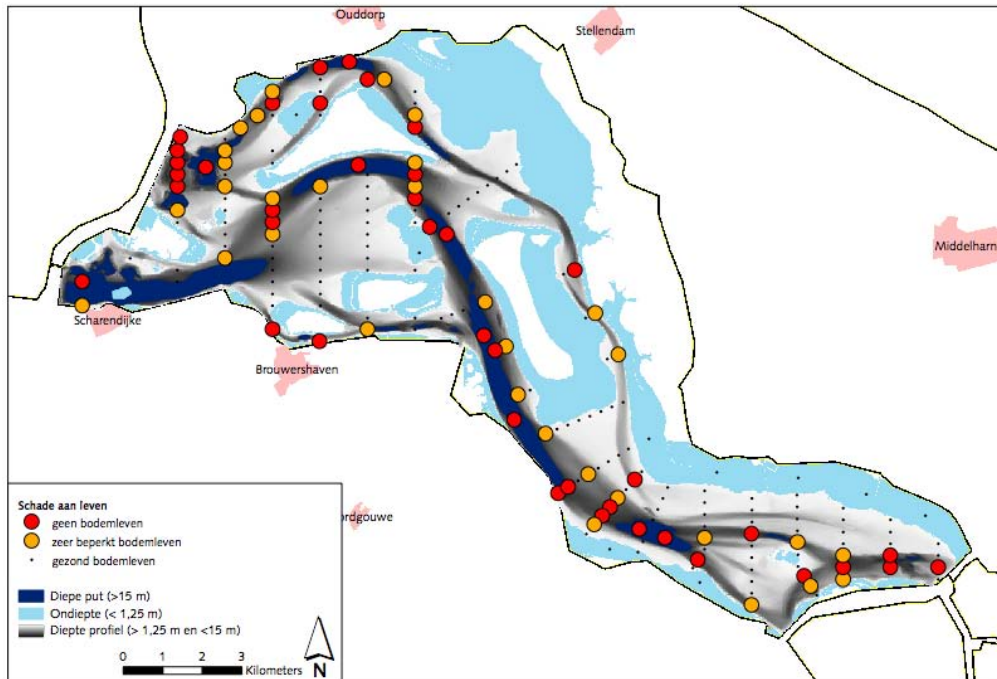
Locaties waar 'schade aan het bodemleven' zichtbaar was (zie tekstkader 1) komen in het voorjaar van 2011 op 34 van de 77 onderzochte locaties voor (Figuur 3.3, Bijlage 2). Op 22 locaties komt helemaal geen bodemleven voor. De hoogste concentratie locaties met zichtbare schade komt voor in de Noordgeul (Springersdiep).



Figuur 3.3 Verspreiding zichtbare schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer in het voorjaar van 2011.

Nazomer 2010

Ter informatie is ook de verspreiding van zichtbare schade aan het bodemleven in de nazomer van 2010 weergegeven (Bron: Lengkeek *et al.*, 2010b).

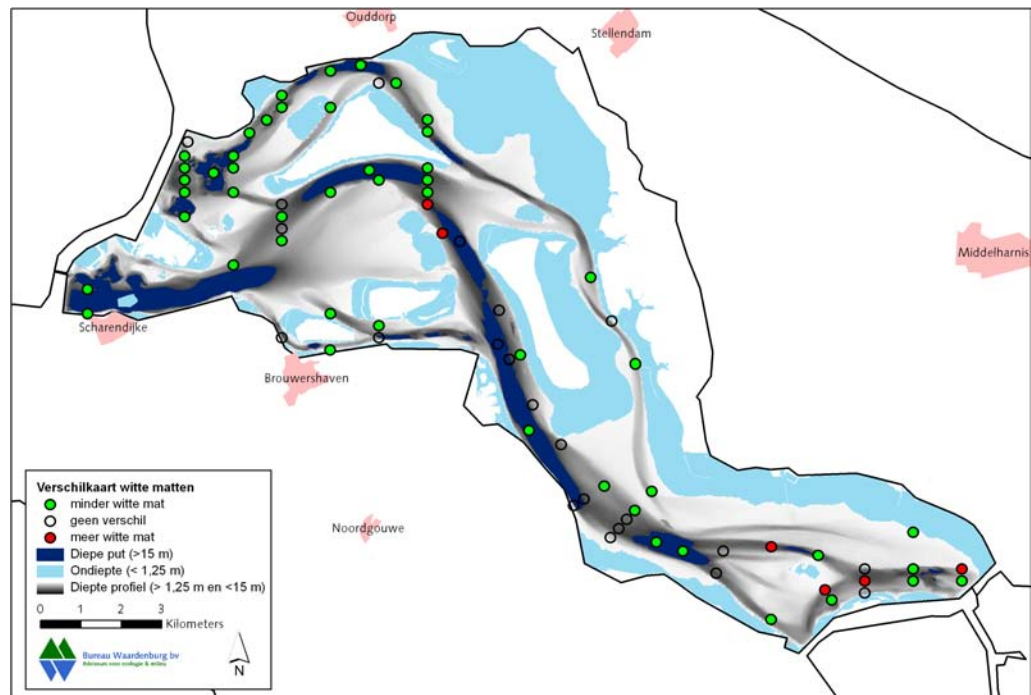


Figuur 3.4 Verspreiding zichtbare schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer in de nazomer van 2010.

3.3 Verschil nazomer 2010 en voorjaar 2011

Witte bacteriematten

De aanwezigheid van witte bacteriematten op de bodem is sterk afgenomen ten opzichte van de nazomer in 2010. In 2011 was er op 49 locaties sprake van een afname van de bedekking van de bodem met witte bacteriematten (Figuur 3.5 en 3.7, Bijlage 3). Opmerkelijk is dat er ook zes locaties zijn waar de bedekking van witte matten juist toegenomen is (zie figuur 3.5).

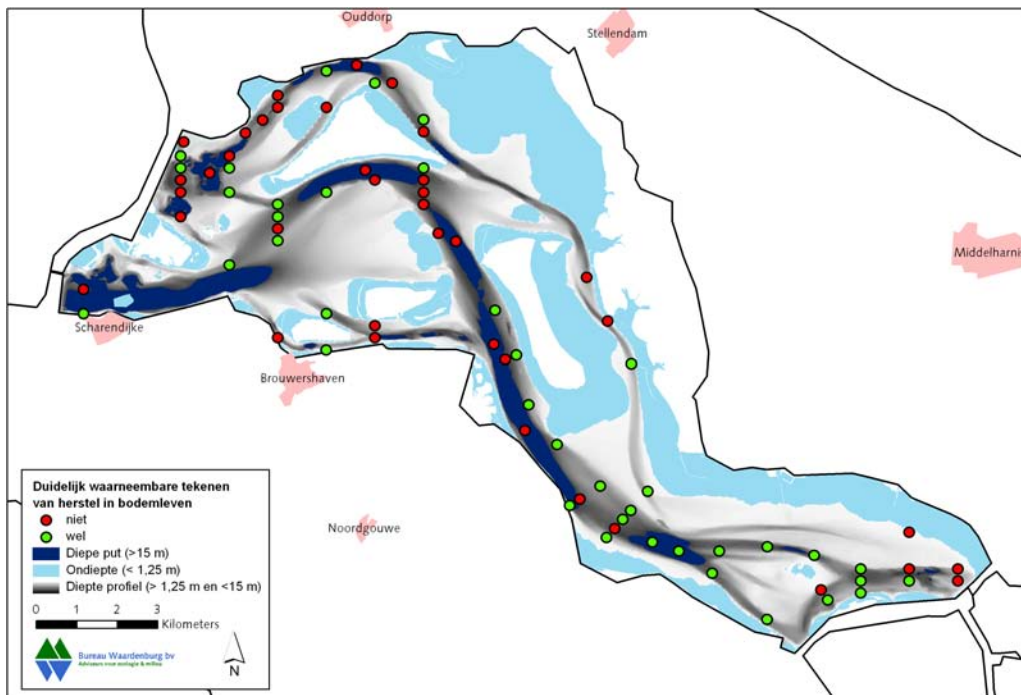


Figuur 3.5 Verschilkaart witte matten (*Beggiatoa* spp.) tussen nazomer 2010 en voorjaar 2011. Groen gemarkeerd zijn locaties waar minder witte matten zichtbaar zijn dan in 2010.

Schade aan bodemleven

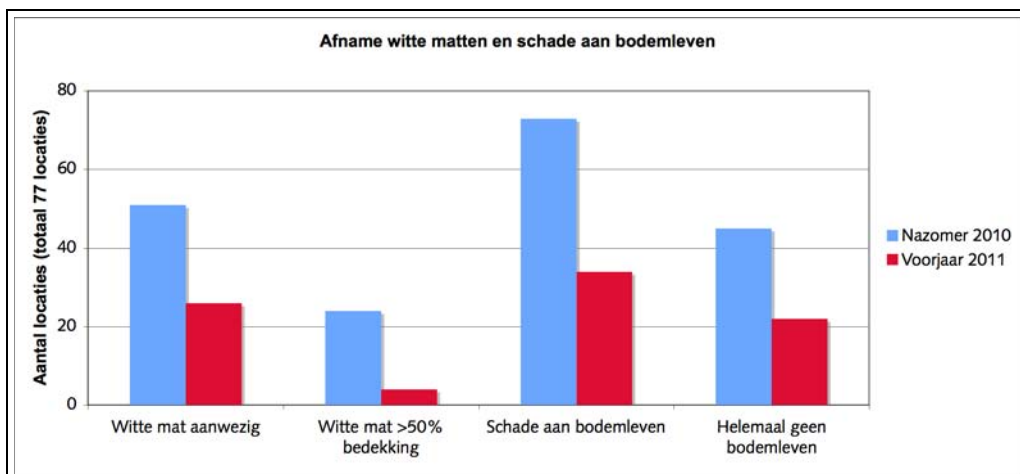
Op 39 van de 77 onderzochte locaties waar in 2010 sprake was van 'zichtbare schade aan het bodemleven' was in het voorjaar 2011 enige mate van herstel van de bodemdiergemeenschap zichtbaar (Figuur 3.6 en 3.7, Bijlage 4) (zie tekstkader 2 voor definitie). Op de meeste van deze locaties was in de nazomer van 2010 geen enkel bodemleven zichtbaar en in 2011 wel. Dit was zichtbaar door de aanwezigheid van kleine wormenhoopjes, kleine sponzen of gaten in het sediment van schelpdieren van wisselend formaat (zie tekstkader 1). Op deze locaties werden slechts 'eerste tekenen' van herstel waargenomen, er was geen sprake van een gezonde bodemdiergemeenschap.

Opmerkelijk is dat op enkele locaties herstel van bodemleven zichtbaar is, terwijl de witte matten nog niet helemaal verdwenen zijn.



Figuur 3.6 Herstel van het bodemleven in voorjaar 2011 ten opzichte van de nazomer 2010. Groen gemarkeerd zijn locaties waar tekenen van herstel zichtbaar zijn. Zie tekstkader 2 voor een verklaring van 'tekenen van herstel'.

Samengevat kan gesteld worden dat er voor elke parameter die in 2010 is aangemerkt als mogelijk symptoom van zuurstofloosheid, in het voorjaar 2011 sprake is van een sterke afname (Figuur 3.7, Tabel 3.1). Daarbij moet wel opgemerkt worden dat geen van de mogelijke symptomen overal verdwenen is.



Figuur 3.7 Verschillen in het aantal locaties waar 'witte matten', 'witte matten >50%', 'schade aan bodemleven', 'helemaal geen bodemleven' werd aangetroffen tussen 2010 en 2011.

Tabel 3.1 Overzicht verschillen tussen nazomer 2010 en voorjaar 2011.

	Aantal locaties		% van totaal n = 77	
	2011	2010	2011	2010
Witte mat aanwezig	26	51	34%	66%
Witte mat >50% bedekking	4	24	5%	31%
Schade aan bodemleven	34	73	44%	95%
Helemaal geen bodemleven	22	45	29%	58%
	2011 vs 2010			
In 2011 minder witte matten	49		64%	
In 2011 meer witte matten	6		8%	
In 2011 tekenen van herstel	39		51%	

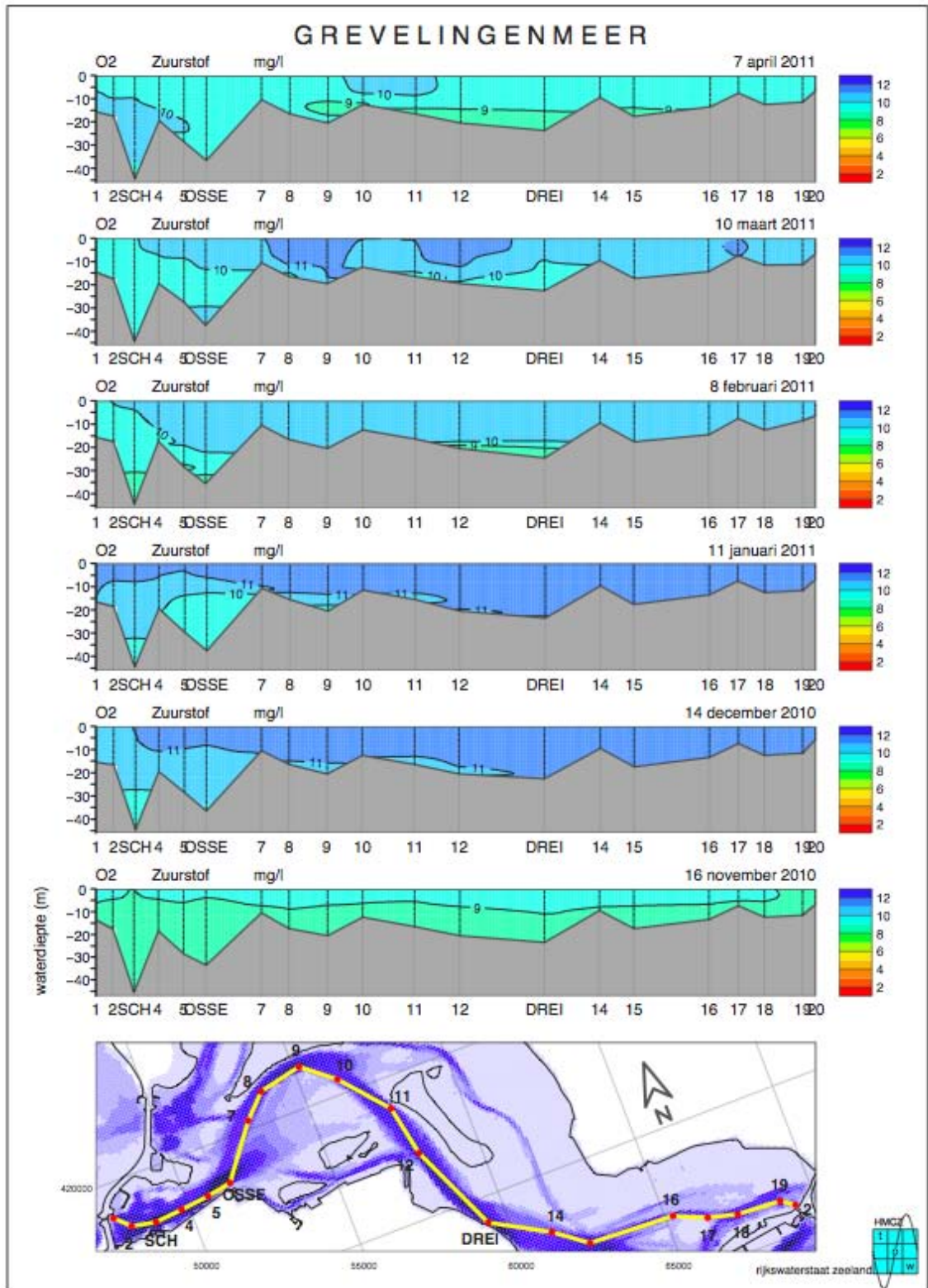
Relatie van herstel met diepte

Er kon niet statistisch aangetoond worden dat diepte van invloed is op de afname van de bodembedekking met witte bacteriematten. Er bestaat geen correlatie tussen de diepte van de onderzochte locaties en het wel of niet afnemen van de bodembedekking met witte matten (non-parametrische correlatie: $r_s = -0,073$, $n = 71$, $p = 0,55$ (locaties met verslechtering niet mee genomen)).

Diepte lijkt wel van invloed op het herstel van het bodemleven. Er bestaat een significant negatieve correlatie tussen de diepte en of er wel of geen herstel van bodemdieren heeft plaatsgevonden (non-parametrische correlatie: $r_s = -0,271$, $n = 77$, $p = 0,017$). Met andere woorden, ondieper heeft vaker herstel plaatsgevonden dan op diepere locaties.

3.4 GTSO zuurstofmetingen: Zuurstofcondities in winter en voorjaar 2011

De laatste vijf maanden voorafgaand aan dit onderzoek zijn er geen zuurstofloze condities opgetreden in het Grevelingenmeer (Figuur 3.7). Zelfs in de diepste putten zijn er geen concentraties gemeten beneden de 8 mg O₂/l. Er kan gesteld worden dat de inspecties van 2011 uitgevoerd zijn na een periode zonder stratificatie.



Figuur 3.7 GTSO-zuurstofmetingen van de winter 2010/2011 (bron: www.hmcz.nl).

4 Discussie

4.1 Verspreiding en afname

De zomer van 2010 bevatte een warme rustige periode en op 12 juli 2010 is zuurstofloosheid in het gehele meer gemeten tot op ca. 6-7 meter (on)diepte. Uit het onderzoek van de nazomer van 2010 bleek dat de witte bacteriematten en bodemdiergemeenschappen met zichtbare schade verspreid over het hele meer voor kwamen (Lengkeek *et al.*, 2010b). In totaal werden 77 van de 198 locaties aangemerkt als 'probleem locaties'. Dit betrof met name locaties dieper dan zes meter.

De metingen in het voorjaar van 2011 zijn voorafgegaan aan meer dan vijf maanden zonder stratificatie en goede zuurstofomstandigheden in de waterkolom. Er is een forse afname van de witte bacteriematten geconstateerd. Ook is geconstateerd dat op ongeveer de helft van de locaties waar in de zomer van 2010 schade aan het bodemleven zichtbaar was er in voorjaar 2011 tekenen van herstel zichtbaar zijn. Deze tekenen bestaan uit de aanwezigheid van kleine wormen, schelpdieren in het sediment en / of kleine sponzen op de oesters.

De resterende witte matten en locaties zonder bodemleven komen nog steeds verspreid over het gehele meer voor, maar met name in het Springersdiep en in de Bocht van St. Jacob. Er is geen verband gevonden tussen de afname van de witte matten en diepte. Voor het herstel van het bodemleven geldt dit wel. Dieper is minder herstel waargenomen.

Deze metingen geven een goed beeld van de verspreiding van de witte matten en schade aan (zichtbaar) bodemleven en de afname daarvan na een periode zonder stratificatie in 2010-2011. Het betreft echter een moment opname. Uit de GTSO metingen (www.hmcz.nl) blijkt dat de zuurstofcondities in het meer van jaar tot jaar verschillen. Er niet geconcludeerd worden of de hier gevonden verspreiding en afname van witte matten of schade aan het bodemleven ook representatief is voor andere jaren.

4.2 Resultaten in relatie tot beheer en oplossingen

De meest kansrijke oplossingsrichting voor de stratificatie en de zuurstofloosheid in de waterkolom, is het vergroten van de verbinding met de Noordzee en het instellen van een getijslag (Turlings *et al.*, 2009). Dit zal de stratificatie en de zuurstofloosheid in de waterkolom voor een belangrijk deel oplossen (Nolte *et al.*, 2008, Nolte & Spiteri, concept 2011). Verwacht wordt dat dit ook zal resulteren in het oplossen van het bodemprobleem, maar dit is niet zeker.

De resultaten van dit onderzoek geven een positieve aanwijzing dat een verbeterde zuurstofhuishouding in de waterkolom ook zal leiden tot een verbetering van de bodemecologie. De witte matten zijn fors afgenomen na één winter zonder stratificatie en zuurstofloosheid en er zijn tekenen van herstel van de bodemdiergemeenschap zichtbaar.

Over de volledigheid van het herstel kan op basis van dit onderzoek geen conclusie getrokken worden. Het herstel dat is waargenomen betreft beperkte, eerste tekenen van herstel.

Doordat veel mariene organismen een pelagische (= zwemmend of zevend in de waterkolom) levensfase kennen, zal er genoeg aanvoer zijn van nieuwe bodemdieren vanuit de Noordzee en gezonde delen van de Grevelingen. Dit maakt spoedig herstel mogelijk. Veel soorten zullen snel terug komen wanneer de randvoorwaarden (zoals zuurstofhuishouding) geschikt zijn.

Volledig herstel kan echter wel enkele jaren duren. In een Noors fjord is gevonden dat herstel van de bodemdiergemeenschap na zuurstofloosheid ongeveer twee jaar duurde (Rosenberg *et al.*, 2002). Op de Noordzee werd bij een onderzoek naar verstoring door visserij gevonden dat het meer dan zes jaar kan duren voordat de bodemdiergemeenschap voor 90% hersteld is (Hiddink *et al.*, 2006).

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

- Ten opzichte van de nazomer van 2010 zijn de witte bacteriematten afgenomen of verdwenen op 64% van de onderzochte locaties.
- Herstel van het bodemleven is zichtbaar door de aanwezigheid van wormenhoopjes, schelpdieren en sponzen waar in de nazomer van 2010 helemaal geen leven zichtbaar was.
- Deze tekenen van herstel zijn op 51% van de locaties aangetroffen.
- Op enkele locaties is herstel zichtbaar terwijl de witte matten nog niet helemaal verdwenen zijn.

- De witte matten zijn niet overal verdwenen (met name nog aanwezig in Bocht van St. Jacob en Springersdiep).
- Niet op alle locaties is herstel zichtbaar.

5.2 Aanbevelingen

- Voorliggende rapportage en het onderzoek van 2010 (Lengkeek *et al.*, 2010b) brengen de effecten van de zuurstofloze situatie van 2010 goed in beeld. Uit de GTSO metingen blijkt echter, dat de situatie per jaar sterk kan verschillen. Om een beter onderbouwd beeld te krijgen van de impact van zuurstofloze condities en de verspreiding van witte matten zou dit onderzoek meerdere jaren herhaald moeten worden.

- Het onderzoek met de camera geeft een goed beeld van de verspreiding van de witte matten en maar een beperkt beeld van de schade aan het bodemleven omdat dit alleen bepaald kan worden aan de hand van zichtbare dieren. Om het probleem goed te begrijpen zou het waardevol zijn om op bepaalde locaties ook bodemonsters te nemen, om een totaal beeld te krijgen van de aanwezige bodemfauna in zuurstofloze en niet zuurstofloze situaties.

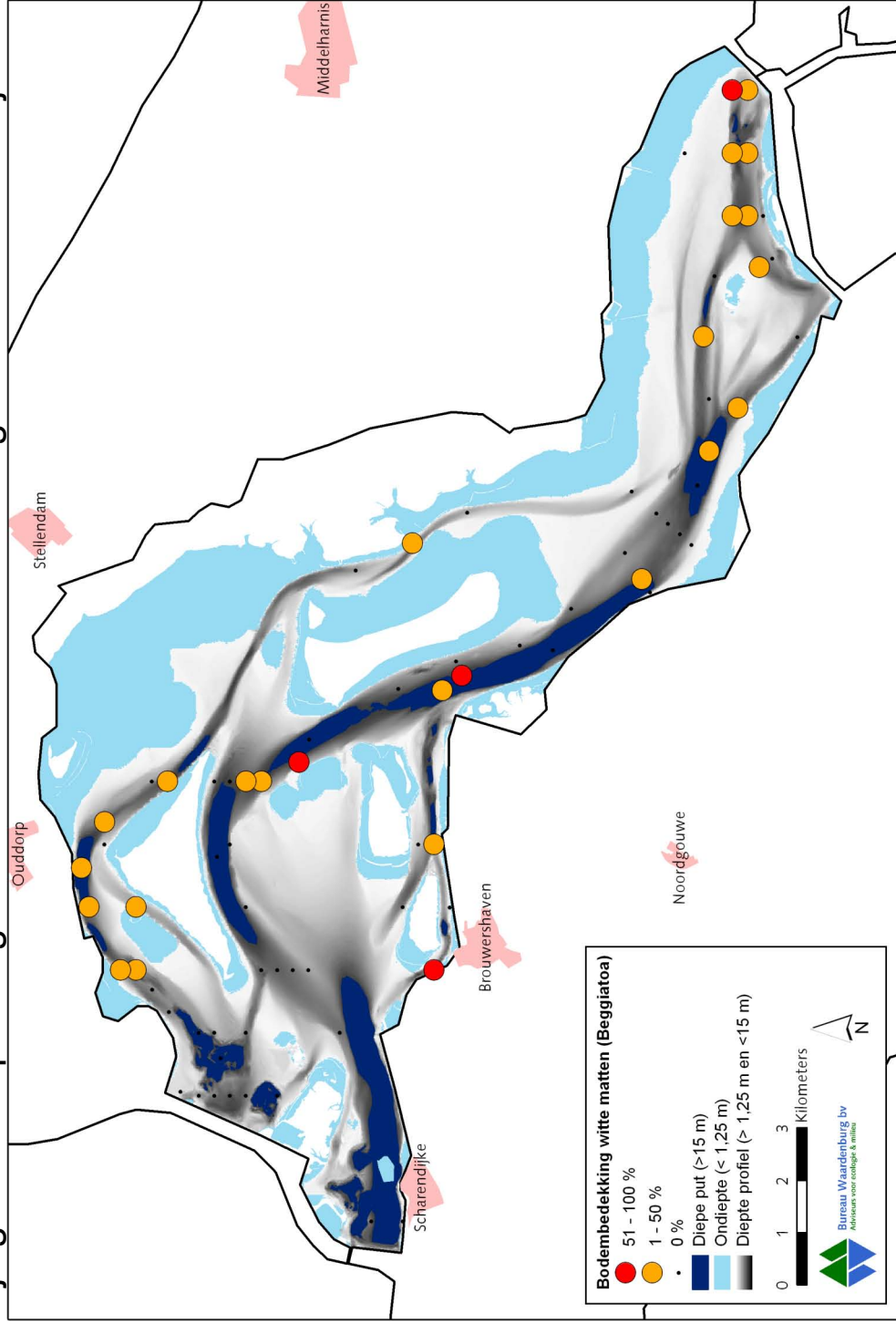
6 Literatuur

- Bouma S., Lengkeek W., Boudewijn T.J., Turlings L.G., Abma R. & Nieuwkamer R.L.J., 2008. Notitie knelpunten autonome ontwikkeling. Onderdeel Verkenning Grevelingen.
- Hiddink, J.G., S. Jennings, M.J. Kaiser, A.M. Queirós, D.E. Duplisea & G.J. Piet, 2006. Cumulative impacts of seabed trawl disturbance on benthic biomass, production, and species richness in different habitats. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 721–736.
- 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.
- Nolte A., Troost, T, de Boer G., Spiteri C. en van Weesenbeeck B., 2008. Verkenning oplossingsrichtingen voor een betere waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer. Deltares raport Z4576.
- Nolte, A.L. & C. Spiteri, Concept 2011. Effect van herintroductie van getij op waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer. Deltares, Delft
- 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., Brinkhoff, T.G., Ferdelman, M., Hernandez Marine, A. & Jorgenson, B.B. 1999. Dense populations of giant sulfur bacterium in Namibian shelf sediments. *Science* 284: 493-495.
- Turlings L.G., Nieuwkamer, R.L.J., Bouma S., Lengkeek W., Boudewijn T.J. & Abma R, januari 2009. Notitie bouwstenen en kansrijke oplossingsrichtingen. Onderdeel Verkenning Grevelingen.

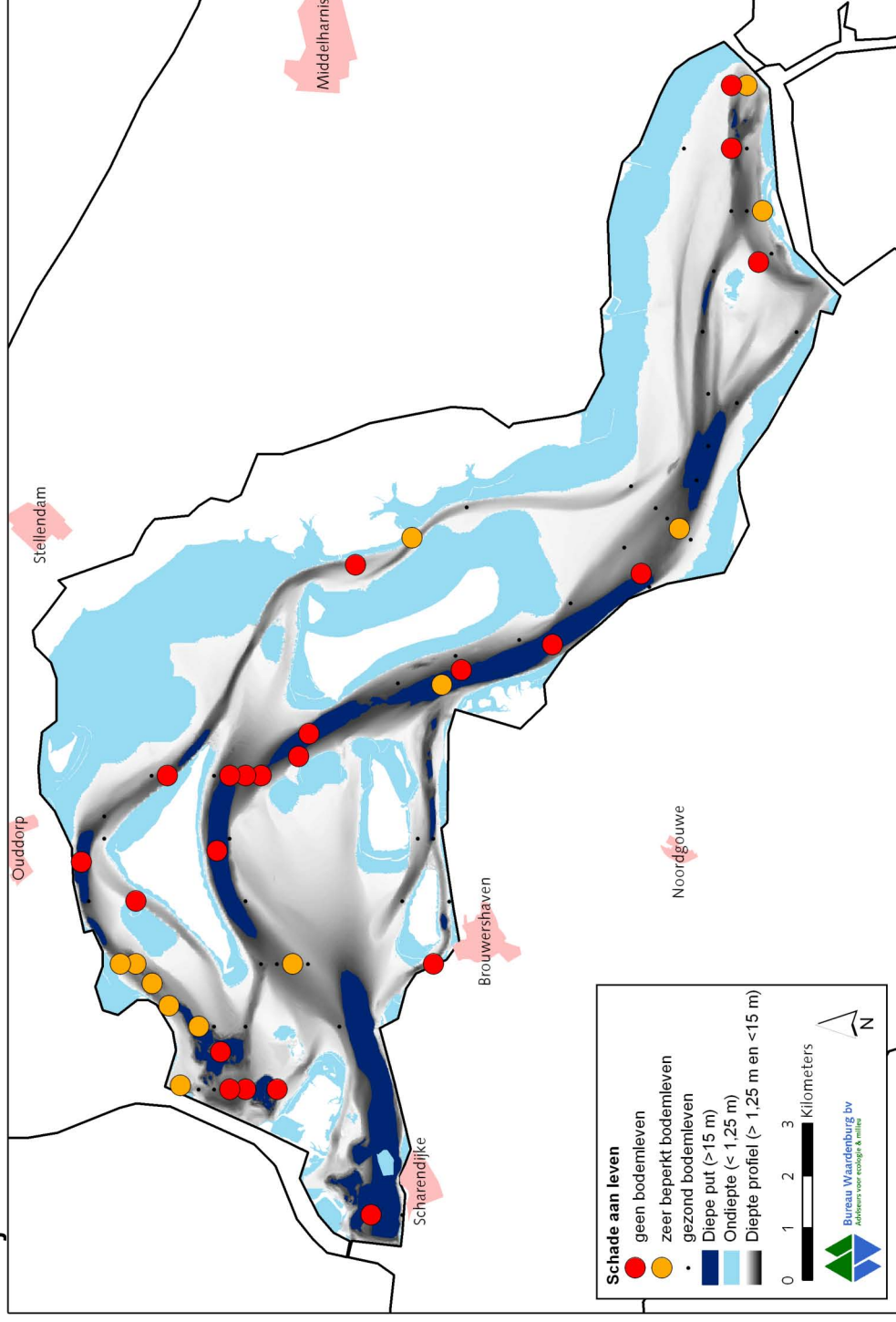
Wetsteijn, L.P.M.J., 2011. Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingen voor de periode 1990 t/m 1998. RWS Waterdienst, Lelystad.

Bijlagen

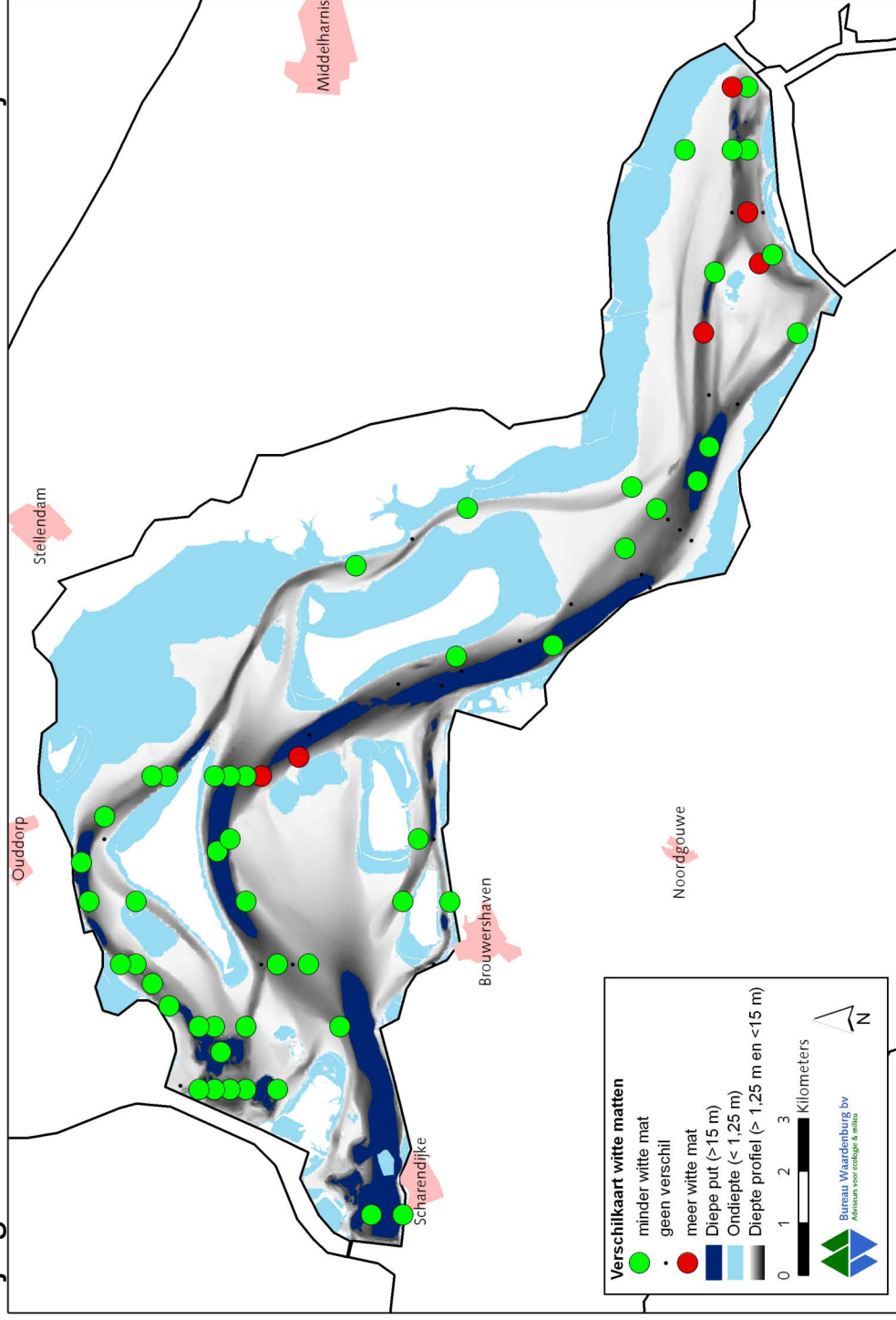
Bijlage 1 Verspreiding witte matten in het Grevelingenmeer in het voorjaar van 2011



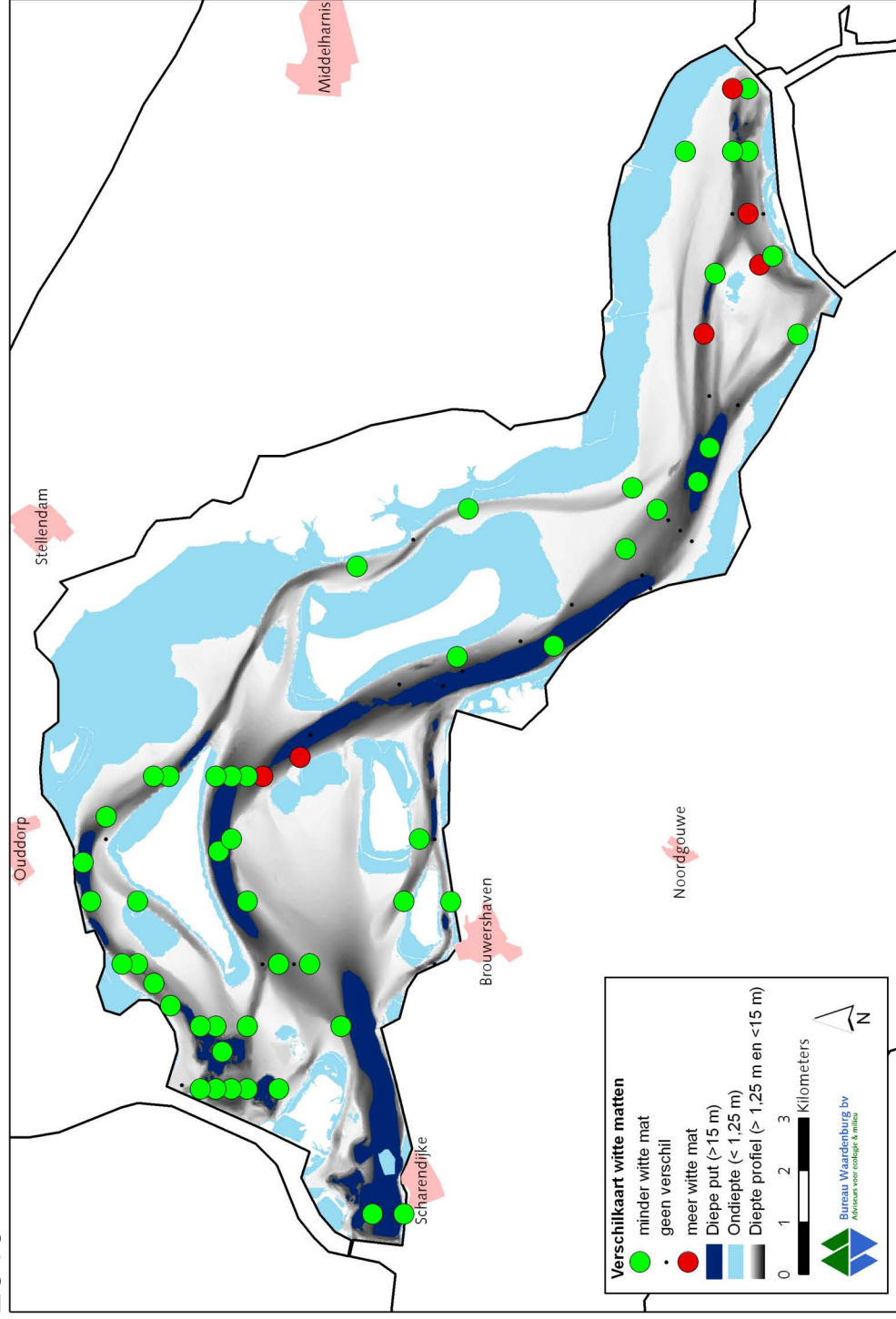
Bijlage 2 Verspreiding zichtbare schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer in het voorjaar van 2011



Bijlage 3 Verschilkaart witte matten tussen nazomer 2010 en het voorjaar van 2011



Bijlage 4 Herstel van het bodemleven in voorjaar 2011 ten opzichte van nazomer 2010 nazomer 2010



Bijlage 5 Ruwe data

Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Diepte	Witte mat aanwezig ja / nee	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ja welke	Overige fauna zichtbaar, zo ja welke	Bedekking oesters %	Bedekking zeesla %	Schade aan bodemleven (0 = gezond of herstellend bodemleven, 1 = beperkt bodemleven, 2 = geen bodemleven)	Overige opmerkingen
1	47882	417913	7-12	nee	0	ja (kleine wormen, ensis)	anemon, oesters	5	0	2	zichtbaar door kleine wormenhoopies, anemoon en ensis
2	47882	418513	10-15	nee	0	nee	nee	0	0	1	dikke slijblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
8	50282	420313	8-15	nee	0	nee	nee	0	0	1	dikke slijblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
9	50282	420913	10-12	nee	0	nee	nee	0	0	2	dikke slijblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
10	50282	421213	12-14	nee	0	nee	nee	0	0	0	dikke slijblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
11	50282	421513	9,6	nee	0	ja (wormen, zeer weinig)	1 oester	0	0	2	dikke slijlaag met herstel zichtbaar door enkele worm en oester
12	50282	421813	10,3	nee	0	nee	enkele anemoon en zakpijp op dode oester	5	0	0	dikke slijlaag met herstel zichtbaar door enkele anemoon op oester
13	50355	422160	3,5	nee	0	nee	nee	0	0	2	dikke slijblaag met draadalg en als enig leven
14	50994	421394	13-18	nee	0	nee	nee	0	0	2	dikke slijblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
16	51482	419113	10,7	nee	0	ja (schelpdieren hoge dichtheid)	anemoon, zeeegel, zeester, zakpijp	0	0	2	oogt helemaal gezond
22	51482	420913	10,5	nee	0	ja (wormen + ensis groot)	anemoon, zakpijp, zeester	0	0	0	oogt helemaal gezond
24	51482	421513	6-10	nee	0	ja (wormen)	anemoon	1	0	2	oogt helemaal gezond
25	51482	421813	12-16	nee	0	nee	alleen haringgraat	0	0	1	weinig leven, alleen hydroedipolepen (haringgraatje)

Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Diepte	Witte mat aanwezig ja / nee	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ja welke	Overige fauna zichtbaar, zo ja welke	Bedekking oesters %	Bedekking zeesla %	Schade aan bodemleven (0 = gezond of hersteld bodemleven, 1 = beperkt bodemleven, 2 = geen bodemleven)	Overige opmerkingen
27	52682	417313	7-13	ja	70	nee	nee	0	0	2	witte matten op rottende wieren (geen zeesla)
34	52682	419713	7,3	nee	0	nee	oesters, zeester, krabben, muiltjes	2	0	2	oogt helemaal gezond
35	52682	420013	10,3	nee	0	nee	alleen muiltjes en zakpijpen	0	0	1	weinig leven, alleen zakpijpen en muiltjes
36	52682	420313	12,4	nee	0	ja (tairlijke schelpdieren)	anemoon, zakpijp, krab	0	0	0	
37	52682	420613	10,5	nee	0	ja (gaatjes van worm of schelpdier)	nee	0	0	0	duidelijk gaatjes van schelpdieren of wormen in sediment, verder niet veel leven
40	52303	422702	10,7	nee	0	nee	zakpijp, krab, oesters	1	0	0	levensgemeenschap lijkt nog incompleet
41	51877	422385	10,3	nee	0	nee	krab, zakpijp, oester	10	0	2	levensgemeenschap lijkt nog incompleet
43	52682	423013	14	ja	5	nee	enkele anemoon op oester	1	5	0	slik is levenloos, alleen op oester her en der anemoon
44	52682	423313	8,4	ja	1	nee	krab, zakpijp, oester	20	0	0	levensgemeenschap lijkt nog incompleet
46	53872	417124	7-9	nee	0	nee	oester, zakpijp, spons	30	0	0	
47	53882	417913	8-10	nee	0	nee	enkele spons	0	10	2	weinig leven op die ene spons na
57	53882	420913	6-8	nee	0	ja (wormen)	anemoon	5	0	1	slikkig maar wel leven, oogt gezond
59	53882	423013	7	ja	50	nee	nee	0	0	2	dikke laag organisch slib met witte mat er op

Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Diepte	Witte mat aanwezig ja / nee	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ja welke	Overige fauna zichtbaar, zo ja welke	Bedekking oesters %	Bedekking zeesla %	Schade aan bodemleven (0 = gezond of herstellend bodemleven, 1 = beperkt bodemleven, 2 = geen bodemleven)	Overige opmerkingen
62	53882	423913	12,5	ja	1	ja (zeer kleine wormenhoopjes)	nee	0	1	0	slib, weinig leven, wel regeneratie zichtbaar door kleine wormenhoopjes.
63	54628	424054	22	ja	50	nee	nee	0	50	2	kaal slik zonder mat met enorm oppervlak zeesla met witte mat
64	54845	421457	17-22	nee	0	nee	nee	0	0	2	dikke silblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
65	55082	417313	9	ja	1	nee	oesters, anemoon, spons, muiltes	30	5	2	
66	55082	417613	5,4	nee	0	ja (wormen)	oesters	40	nee	2	mix van gezond slik met rottende algenophoping (geen zeesla en geen witte mat)
75	55082	421213	7-9	nee	0	nee	oesters, anemoon, krab, spons	70	0	0	
76	55082	423613	3,6	nee	0	ja (wormen)	enkele oester, anemoon	5	50	0	
82	56282	420613	13-15	ja	50	nee	nee	0	10	1	50% levenloos slik, 50% witte mat op rottend wier
83	56282	420913	13	ja	10	nee	nee	0	10	2	90% levenloos slik, 10% witte mat op rottend wier
84	56282	421213	14	nee	0	nee	nee	0	0	0	dikke silblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
85	56282	421513	10	nee	0	ja (wormen)	krab, anemoon, zakpijp, muiltes, oesters	5	0	0	
86	56282	422413	14	ja	5	nee	nee	0	0	0	50% witte mat en verder alleen levenloos slik
87	56282	422713	8,2	nee	0	nee	krab, oester, spons	10	0	1	geen wormen maar oogt redelijk gezond

Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Diepte	Witte mat aanwezig ja / nee	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ja welke	Overige fauna zichtbaar, zo ja welke	Bedekking oesters %	Bedekking zeesla %	Schade aan bodemleven (0 = gezond of herstellend bodemleven, 1 = beperkt bodemleven, 2 = geen bodemleven)	Overige opmerkingen
90	55508	423467	9,8	ja	5	nee	anemoon, oester	10	0	0	slikkig met weinig leven, en her en der mat. Wel enkele anemoon
92	56649	419895	13	ja	100	nee	nee	0	0	1	wierophoping met witte mat 100%
94	57081	419702	19	nee	0	nee	nee	0	0	0	dikke slijblaag,
102	58019	417153	20,2	ja	1	nee	alleen haringgraat	0	0	0	enige vorm van leven is de haringgraat
103	58051	417995	10,6	nee	0	nee	anemoon, spons, zakpijp	3	0	1	levensgemeenschap lijkt nog incompleet
105	58298	416781	18-20	ja	100	nee	nee	0	0	1	alles dood
107	58579	416886	8,7	nee	0	nee	oesters, krab, zakpijpen	80	1	0	
109	58788	415037	21-23	nee	0	nee	nee	0	0	0	dikke slijblaag, geen matten maar ook geen enkel leven
111	58882	415669	7,9	nee	0	ja (wormen)	oesters, anemoon, spons	30	0	2	
114	59578	414686	10,1	nee	0	nee	anemoon, mullijtes, krab	0	0	0	dikke slijblaag mar wel met anemoon en diatomeen
116	59890	413179	7-12	nee	0	ja (wormen)	oesters met veel zeeanijelieren	30	0	0	oogt gezond
121	60143	413340	13,7	ja	1	nee	nee	0	0	2	geen leven
124	60309	418808	7,6	nee	0	nee	nee	0	0	0	dikke slijblaag, geen matten maar ook geen enkel leven. Alleen diatomeen

Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Diepte	Witte mat aanwezig ja / nee	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ja welke	Overige fauna zichtbaar, zo ja welke	Bedekking oesters %	Bedekking zeesla %	Schade aan bodemleven (0 = gezond of hersteld bodemleven, 1 = beperkt bodemleven, 2 = geen bodemleven)	Overige opmerkingen
128	60650	413661	8,6	nee	0	ja (wormen)	oesters, anemoon, krabben	5	0	2	
130	60803	412386	5	nee	0	ja (wormen)	oesters, anemonen, zakpijpen	15	0	0	
131	60828	417726	4,5	ja	30	nee	oesters met anjelierien	30	0	2	slik is doods en schimmelig, op oesters oogt het gezond
134	61003	412609	11-12	nee	0	nee	haringgraat, krabben	0	0	2	
138	61203	412833	11,4	nee	0	ja (wormen)	haringgraat, zakpijpen, oesters	10	0	0	
140	61403	413057	9,5	nee	0	ja (wormen)	haringgraat, anemonen	5	0	0	
142	61414	416679	6,8	nee	0	nee (kleine wormen)	anemonen	0	0	0	dikke sliklaag met herstel zichtbaar door enkele kleine worm en anemoon
147	61823	413527	6,4	nee	0	ja (wormen)	anemonen, oesters	5	0	0	
149	61938	412271	16,9	nee	0	ja (kleine wormen, schelpdiergaten)	nee	0	0	0	kaal slik maar duidelijk kleine wormen en schelpdiergaten van verschillend formaat
156	62588	412055	19,3	ja	5	ja (kleine wormen)	krabben	0	0	0	klein beetje witte mat maar ook al kleine wormen in slik
159	63416	411503	13,2	ja	5	ja (wormen)	nee	0	0	0	klein beetje witte mat maar ook veel kleine en een enkele grote worm
162	63586	412054	8	nee	0	ja (wormen)	oesters, zakpijpen, krabben	30	0	0	
168	64771	410361	10	nee	0	nee	anemoon, mullijtjes	0	0	1	

Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Diepte	Witte mat aanwezig ja / nee	% Bodem witte mat	Fauna in sediment zichtbaar, zo ja welke	Overige fauna zichtbaar, zo ja welke	Bedekking oesters %	Bedekking zeesla %	Schade aan bodemleven (0 = gezond of herstellend bodemleven, 1 = beperkt bodemleven, 2 = geen bodemleven)	Overige opmerkingen
174	64778	412161	13,1	ja	10	ja (kleine wormen, schelpdiergaten)	krabben/ oesters	10	0	0	teruggedrongen in slijk. Nu al wormenhoopjes en gaatjes van schelpdieren zichtbaar
182	65935	411945	13	nee	0	ja (gaatjes van worm of schelpdier)	oester, anemoon, spons, zakpijp	10	0	0	
186	66099	411093	7	ja	50	nee	nee	0	60	0	witte mat op zeesla ophoping
187	66267	410844	7,9	nee	0	ja (wormen)	oesters, spons, zakpijp	15	0	0	
189	67082	411013	7,3	nee	0	nee	oesters, zakpijp, anemoon	5	0	0	levensgemeenschap lijkt nog incompleet, geen wormen in slijk
190	67082	411313	12,1	ja	20	ja (kleine wormen, schelpdiergaten)	nee	0	0	0	witte matten lijken terug te dringen, nu al gaatjes en wormen in zand
191	67082	411613	6-8	ja	1	nee	oesters, zakpijpen, anemoon	50	0	0	heel klein beetje witte mat op wierhoopjes
197	68282	411313	6-8	ja	1	nee	oesters, zakpijpen, geweispons	5	0	0	
198	68282	411613	10	ja	50	nee	nee	0	0	0	slijk met witte mat, geen leven
201	68282	412513	1,1	nee	0	ja (wormen)	nee	0	0	0	
204	69482	411313	4-8	ja	20	nee	nee	0	10	1	dikke slijblaag met witte matten maar ook diatomeen
205	69482	411613	3,4	ja	100	nee	nee	0	100	0	