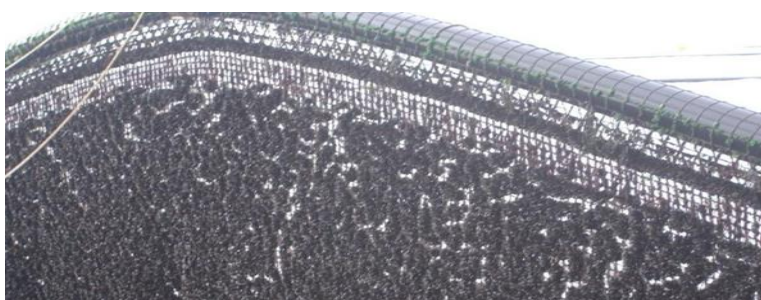


Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta: samenvattend eindrapport

Pauline Kamermans, Cor Smit, Jeroen Wijsman,
Aad Smaal

Rapport C191/13



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Ministerie van EZ, de heer J. Huinink
Directie Agro Kennis
Postbus 20401, 2500 EK Den Haag

BAS code: BO-11-011.04-007

Publicatiedatum: augustus 2014

IMARES is:

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

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (voorheen Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit) binnen het Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van programma's BO-07-002-801 (bodembemonstering 2009), BO-02-012-009 (2009), BO-11-007-007 (2010) en BO-11-011.04-007 (2011, 2012 en 2013).

P.O. Box 68
1970 AB IJmuiden
Phone: +31 (0)317 48 09
00
Fax: +31 (0)317 48 73 26
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 77
4400 AB Yerseke
Phone: +31 (0)317 48 09
00
Fax: +31 (0)317 48 73 59
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 57
1780 AB Den Helder
Phone: +31 (0)317 48 09
00
Fax: +31 (0)223 63 06 87
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 167
1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

© 2014 IMARES Wageningen UR

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

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

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

A_4_3_1-V14.1

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
1. Inleiding.....	9
1.1. Beleidskader MZI-onderzoek	9
1.2. Achtergrond en probleemstelling	9
1.3. Doelstelling.....	13
2. Draagkracht van Waddenzee en Oosterschelde voor filtrerende schelpdieren	14
2.1. Wat is draagkracht?	14
2.2. Taken werkpakket draagkracht	16
2.3. Analyse historische data	17
2.3.1. Onderzoeksvragen	18
2.3.2. Toelichting	18
2.3.3. Aanpak.....	18
2.3.4. Reconstructie primaire productie	18
2.3.5. Historische data analyse	21
2.4. Verkrijgen en analyse van nieuwe data	23
2.4.1. Onderzoeksvragen	24
2.4.2. Toelichting	24
2.4.3. Aanpak.....	25
2.4.4. Primaire productie.....	26
2.4.5. Bestand Ensis in de Oosterschelde.....	32
2.4.6. Ontwikkeling van mosselaantal en -massa aan MZI-netten	32
2.4.7. Filtratieactiviteit MZI-mosselen en feed-backmechanismen	36
2.5. Modelberekeningen	40
2.5.1. Onderzoeksvraag	40
2.5.2. Toelichting	40
2.5.3. Aanpak.....	41
2.5.4. Effect opschaling op draagkracht Oosterschelde.....	46
2.5.5. Effect van clustering van MZI's in deelgebieden	48
2.5.6. Effect van opschaling op draagkracht Waddenzee	49
2.6. Impact-indicatoren.....	52
2.6.1. Onderzoeksvragen	52
2.6.2. Toelichting	52
2.6.3. Aanpak.....	52
2.6.4. Metingen aan percentage picoplankton.....	53
2.6.5. Farm-scale validatie	55
2.6.6. Metingen aan gewicht MZI-mosselen	57
2.6.7. Conclusies impact indicatoren	57
2.7. Conclusies	59
3. Bodemeffecten in verschillende habitat typen.....	60
3.1. Onderzoeksvragen	60
3.2. Toelichting	60
3.3. Aanpak	61
3.4. Effect van depositie van organisch materiaal van MZI-mosselen op bodem	62
3.5. Effecten van aanwezigheid van MZI-systemen op ontstaan van mosselbanken	63
3.6. Conclusies	63
4. Verstoring van vogels en zeehonden door MZI-activiteiten	64

4.1.	Onderzoeksvragen	64
4.2.	Toelichting	64
4.3.	Aanpak	64
4.4.	Roodkeelduikers en zeehonden in de Voordelta	65
4.5.	Bergeenden en zeehonden in de Zuidmeep	69
4.6.	Verspreiding van Bergeenden en Eiders in de Waddenzee	71
4.7.	Analyse meerjarige zeehonden tellingen Waddenzee	73
4.8.	Conclusies	77
5.	Contaminatie door zwerfvuil	79
5.1.	Onderzoeksvraag	79
5.2.	Toelichting	79
5.3.	Aanpak	79
5.4.	Inventarisatie macroplastic	80
5.5.	Observaties slijtage MZI-materiaal	80
5.5.1.	Ontstaan microplastics bij gebruik MZI's: slijtage touwen & netten.....	80
5.5.2.	Ontstaan microplastics bij gebruik MZI's: slijtage borstels.....	81
5.6.	Productie microplastics door MZI's in relatie tot andere bronnen: slijtmatten garnalenvisserij	82
5.7.	Conclusies	82
6.	Conclusies voor het beleid	84
6.1.	Beantwoorden van beleidsvragen	84
6.1.1.	Mogelijke effecten op soorten	84
6.1.2.	Mogelijke effecten op habitattypen	85
6.2.	Leemten in kennis.....	86
6.2.1.	Draagkracht van Waddenzee en Oosterschelde voor filtrerende schelpdieren	86
6.2.2.	Bodemeffecten in verschillende habitat typen.....	86
6.2.3.	Verstoring van vogels en zeehonden door MZI-activiteiten	86
6.2.4.	Contaminatie door zwerfvuil	87
	Kwaliteitsborging	88
	Referenties	89
	Verantwoording	91
	Bijlage A. Lijst van technisch onderliggende rapporten.....	92

Samenvatting

In het kader van het duurzaam beheer van de Nederlandse kustwateren is besloten tot de transitie van bodemberoerende mosselvisserij naar het gebruik van mosselzaadinvanginstallaties (MZI's). Deze omschakeling was nodig omdat deze economische activiteit plaatsvindt in de Natura-2000 gebieden Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta. Conform de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn, en de doorvertaling daarvan in de Natuurbeschermingswet, is Nederland verplicht om voorgenomen menselijke activiteiten in deze gebieden te toetsen aan vastgestelde natuurdoelstellingen. De strekking van deze wetgeving is dat er in Natura 2000 gebieden een zorgvuldige afweging en evaluatie moet worden gemaakt bij iedere vorm van beïnvloeding door de mens, voor zover deze betrekking heeft op de natuurwaarden en de processen die deze kunnen beïnvloeden. Het hier gepresenteerde onderzoek richt zich op het wegnemen van onzekerheden en kennislacunes die gepaard gaan met de reeds uitgevoerde plaatsing en de opschaling van zaadinvang met MZI-systemen. Effecten van MZI's op de omgeving betreffen: (1) effect op de beschikbare hoeveelheid voedsel (draagkracht) door filtratie van algen en teruglevering van voedingsstoffen voor algen, (2) effect op de bodem (a) de bodemstructuur en bodemdieren door uitzinking van mosselafval, (b) de vorming van mosselzaadbanken door aanwezigheid van MZI-systemen en (3) verstoring of aantrekking van vogels en zeehonden door MZI-activiteiten. Daarnaast kan door slijtage en (storm)schade zwerfvuil ontstaan in de vorm van microplastics, boeien, touwen of netten (4). Deze objecten of stoffen zouden nadelig kunnen zijn voor organismen in het mariene milieu.

Met behulp van analyse van historische data, modelleren en meten van modelparameters is het effect van de opschaling van de MZI-oogst tot 40 miljoen kg in de Waddenzee en 20 miljoen kg in de Oosterschelde onderzocht en voorspeld. De historische data-analyse laat zien dat er in jaren met een relatief groot schelpdierbestand sprake is van een relatief lage conditie van de mossel en minder groei van de kokkel. Deze correlatie is statistisch significant voor de Oosterschelde en het Vliestroomgebied in de Waddenzee. Voor het Marsdiepgebied wordt een dergelijk effect niet statistisch significant bevonden. Dit kan betekenen dat toename van het mosselbestand door het plaatsen van MZI's in de Oosterschelde en het Vliestroomgebied in de Waddenzee zal leiden tot een afname in de groei van kokkels en mosselen in die gebieden. De sterke uitbreiding van het bestand aan mesheften (*Ensis*) in de sublitorale westelijke Waddenzee vanaf 2009 is een aanwijzing dat er bij een MZI-productie van 7 miljoen kg (2010) nog geen sprake is van verlies van natuurlijke schelpdierbestanden. Historische data-analyses hebben geen voorspellende waarde maar kunnen wel richting geven aan modelberekeningen. De modelberekeningen geven ook een afname aan in de productie van bestaande schelpdierpopulaties (dus zonder MZI-mosselen). Bij een MZI-oogst van 20 miljoen kg in de Oosterschelde is de algenproductie iets lager ten opzichte van een situatie zonder MZI-mosselen. De schelpdierproductie neemt toe als gevolg van de MZI-productie. In de Oosterschelde neemt de gemiddelde biomassa van alle bestaande grazers bij elkaar af met 18 miljoen kg bij een MZI-oogst van 20 miljoen kg. In de Waddenzee nemen zowel de algen als de schelpdierproductie toe met toenemende MZI-productie. De berekeningen laten daarnaast een toename zien van de biomassa van schelpdierbestanden met een toename van de MZI-oogst tot 40 miljoen kg. Het totale bestand aan mosselen in de Waddenzee neemt toe met de MZI-oogst. Dit gaat ten koste van overige schelpdierpopulaties (zonder mosselen). Boven een oogst van 40 miljoen kg MZI-zaad berekent het model een afname van de totale schelpdierbiomassa in de Waddenzee.

Naast deze inschatting van effecten is ook onderzoek gedaan naar het gebruik van impact-indicatoren die iets kunnen zeggen over de huidige toestand van de draagkracht en die kunnen worden opgenomen in een monitoringsprogramma. Lokale effecten worden bevestigd door metingen in een MZI op een beschutte locatie in de Oosterschelde. Die metingen geven aanwijzingen dat de algenbiomassa binnen het kweekgebied wordt verminderd. Het gewicht van de mosselen aan een MZI is een indicator die aan kan geven of voedselbeperking optreedt op het schaalniveau van een kwekerij. Veelbelovende indicatoren op het niveau van een deelgebied zijn het vleesgehalte van consumptiemosselen en het

percentage picoplankton. Een hoger percentage picoplankton in het oostelijke deel en de noordtak van de Oosterschelde in vergelijking met het midden en de monding wijst op een sterkere begrazing in die gebieden. Een verlaging van het vleespercentage van consumptiemosselen geeft aan dat de draagkracht voor filtrerende schelpdieren minder wordt. Om de vraag te beantwoorden of de draagkracht voor filtrerende schelpdieren bereikt wordt is het van belang om drempelwaarden voor de impact-indicatoren te identificeren en criteria te ontwikkelen waarop deze drempelwaarden worden gebaseerd.

Uitzinking van mossel feces is bestudeerd met de BACI-methodiek. Dat wil zeggen monstername Before (T0, direct na installatie van de MZI-systemen) en After (T1, direct na oogst van de MZI-systemen) en zowel op Controle locaties (1000 m van een MZI-systeem verwijderd) als op Impact locaties (tussen de MZI-systemen). Indien er een effect van depositie van feces van MZI-mosselen onder of in de buurt van MZI's aanwezig is moet dit zichtbaar worden bij de bemonstering. Voor dit onderzoek konden alleen bodems worden geanalyseerd die al eerder verstoord zijn: MZI-locaties in geulen die al in gebruik waren in voorafgaande jaren en MZI-locaties op mosselpercelen die in gebruik zijn geweest voor mosselbodemcultuur. Er werd geen verhoging van het organisch koolstofhalte, een hogere C/N-ratio of een verschuiving van de stabiele-isotopensignaturen $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ richting mossel feces in de buurt van de MZI's aangetroffen ten opzichte van monsterstations op grotere afstand van de MZI. Uit de resultaten blijkt dat er op de schaal van het transect geen aanwijzingen van verrijking van de bodem zijn. Mogelijk is lokaal (gebieden kleiner dan 50x50m) wel sprake van verrijking, maar een dergelijk effect is met de gebruikte methode niet aan te tonen. MZI's worden geplaatst in gebieden met relatief veel stroming. Dit kan mogelijk een verklaring zijn voor het gebrek aan ophoping van organisch materiaal.

Door historische en recente gegevens over verspreiding van mosselzaad te koppelen aan de aan- en afwezigheid van MZI's is onderzocht of MZI's een gunstig effect hebben op zaadval op de bodem rond deze MZI's. Er lijkt een verschuiving van de mosselzaad-vindplaatsen richting MZI-locaties op te treden. Of dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van MZI's is met de gebruikte methode niet vast te stellen. Om die vraag te beantwoorden is gericht veldonderzoek nodig.

In de Passende Beoordeling over mogelijk geschikte en minder geschikte locaties voor MZI-installaties werd geoordeeld dat er op de meeste locaties geen negatieve effecten van plaatsing en/of opschaling op vogels en zeehonden mogen worden verwacht, maar dat effecten op een tweetal locaties niet op voorhand konden worden uitgesloten. Dit was het geval in de Schaar van Renesse in de Voordelta (vanwege de aanwezigheid van concentraties Roodkeelduikers en een ligplaats van Gewone zeehonden) en in de Zuidmeep in de Waddenzee (vanwege de aanwezigheid van concentraties ruiende Bergeenden en omdat er een belangrijk geboortegebied van Gewone zeehonden in de directe omgeving ligt). Aanvullend onderzoek aan Roodkeelduikers in de Schaar van Renesse liet zien dat de aantallen in februari van jaar op jaar sterk kunnen fluctueren, maar dat erover de hele linie een vrij constant aantal in het gebied aanwezig is, met een lichte afname sinds 2009. De lagere aantallen in 2010 en 2011 lijken niet direct een gevolg te zijn van de aanwezigheid van de MZI's. De aantallen in 2012 zijn weer duidelijk hoger en liggen op sommige telposten op een vergelijkbaar niveau als in 2005 en 2006. Op basis van observaties en een statistische analyse wordt geconstateerd dat menselijke activiteiten mogelijk wel een tijdelijk en lokaal effect kunnen hebben op de verspreiding van Roodkeelduikers in het Brouwershavensche Gat, maar niet op de totaal aanwezige aantallen in dit gebied.

Uit de tellingen van ruiende Bergeenden vanuit de lucht blijkt dat het gebied rond de MZI in de Zuidmeep meer dan 15% van het totaal aantal aanwezige ruiende Bergeenden kan herbergen. Ook blijkt dat deze vogels zich onder invloed van wind en getijdestromen over een vrij groot gebied kunnen verspreiden. Het hoogste aantal Eiders dat in de omgeving van de MZI in de Zuidmeep geteld werd was 34% van het op dat moment in de Nederlandse Waddenzee aanwezige aantal. Er zijn vooralsnog geen aanwijzingen dat ruiende Bergeenden en Eiders een significant negatief effect ondervinden van de aanwezigheid van de MZI in de Zuidmeep en de werkzaamheden die daaraan plaatsvinden en evenmin van effecten van

werkzaamheden op de aan de noordelijke rand van de Zuidmeep aanwezige mosselpercelen. In 2012 is speciaal aandacht gegeven aan het intrillen van palen die gebruikt worden voor verankering van MZI's. Intrillen is boven water nauwelijks hoorbaar en er werd geen duidelijk effect op Eiders waargenomen.

Uit de waarnemingen in de Zuidmeep in 2010 blijkt dat er geen verstoring is waargenomen van vaarbewegingen en werkzaamheden rond MZI's en mosselpercelen op de aanwezige zeehonden in de Zuidmeep. Deze observaties geven geen informatie over het effect op de reproductie. Jaarlijks worden zeehondentellingen in de Waddenzee uitgevoerd in het kader van de wettelijke monitoring. De zeehonden die bij laag water op de zandbanken aanwezig zijn worden vanuit een vliegtuig geteld. Uit de totaaltellingen van de Gewone zeehond blijkt dat de populatie in de Waddenzee snel groeit na, onder andere, een halvering van de aantallen in 2002 vanwege een virusinfectie. In een groeiende populatie zijn effecten van verstoring moeilijker te meten dan in een populatie in evenwicht. Voor deze studie zijn de aantallen Gewone zeehonden en hun jongen in gebieden met MZI's vergeleken met referentiegebieden waar geen MZI's geplaatst waren. Met behulp van statistische analyses is gekeken of een effect meetbaar was in het gebied met de zwaarste belasting, dat wil zeggen met de meeste MZI's en over de langste termijn. Uit de analyse blijkt dat in gebieden met veel MZI's de groei van de aantallen achter blijft ten opzichte van de waargenomen totale groei in de Waddenzee. Het statistische model laat verder zien dat de achterblijvende groei van de aantallen in het gebied met de meeste MZI's door de aantallen aanwezige MZI's verklaard kan worden. Echter, omdat dit onderzoek op kleine schaal is uitgevoerd (er konden 3 gebieden worden getoetst, waarvan maar 1 gebied voldoende lang is gevolgd) moet men dit gegeven vooralsnog als een aanwijzing interpreteren. Wil men nauwkeurig het effect van MZI's op het aantal zeehonden kunnen vaststellen, dan zal het noodzakelijk zijn hiervoor specifiek gegevens te verzamelen. Dit geldt nog sterker voor het effect van de aanwezigheid van MZI's op het aantal pups, waarop tot nu toe geen negatieve effecten werden gevonden. Vooralsnog lagen de MZI's alleen in de nabijheid van een gebied met een relatief lage reproductie. Bovendien ontbreken gegevens over andere (antropogene) ontwikkelingen in de verschillende gebieden en zijn de gebruikte zeehondenteldata niet speciaal voor dit doel verzameld. Daarom kunnen eventuele effecten niet specifiek worden toegeschreven aan MZI's. Om een correcte schatting van de effecten van MZI's op de zeehondenpopulatie te verkrijgen zijn uitgebreidere analyses nodig. Daarbij zou meer op de vraagstelling toegespitste data van de zeehonden moeten worden verzameld en niet alleen gekeken moeten worden naar de MZI's, maar zouden ook alle anderen vormen van verstoring en mogelijke invloeden op de populatie meegenomen moeten worden.

Uit 43 rapportages van waarnemers uit 2009 en 2010 blijkt dat in de Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta met regelmaat afgedreven boeien, tonnen, buizen of complete systemen, inclusief touw of netwerk, zijn aangetroffen. Deze objecten kunnen vooral effect hebben op de veiligheid en hebben waarschijnlijk geen ecologisch effect op de Natura 2000-doelstellingen. Om de mate van slijtage te kunnen beoordelen zijn gebruikte en ongebruikte MZI-touwen en netten beschikbaar gesteld door MZI-ondernemers. Om een eerste indruk te krijgen van slijtage van de gebruikte Polypropyleen touwen en Nylon netten zijn metingen uitgevoerd. Om na te gaan of borstels gebruikt bij de oogst ook vervuilende microplastics produceren zijn ook metingen uitgevoerd naar de slijtage van de borstelharen aan de borstelrollen. De gebruikte aanpak heeft echter te veel onzekerheden om kwantitatieve conclusies te trekken. De hier vermelde getallen moeten dan ook gezien worden als een eerste inschatting. Het gewicht van ongebruikt en gebruikt Polypropyleen touw, en van ongebruikt, 1 jaar gebruikt en 4 jaar gebruikt Nylon net is bepaald. Het gewicht van het netmateriaal liet een gewichtsafname zien van ongeveer 10 g per m² net per jaar. Dit is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van slijtage. Voor de touwen was een inschatting van de slijtage niet mogelijk. Op basis van twee metingen aan gebruikte en ongebruikte borstelharen van borstel machines is berekend dat per m² afgeborsteld net per jaar 3.8 mg tot 9.5 mg plastic per m² vrijkomt bij de oogst van MZI-netten. Een hypothetische doorrekening van microplasticproductie door slijtage van MZI-materiaal is uitgevoerd. In 2011 bevond zich 95.820 m² net in de Waddenzee (van Stralen, 2012). Bij een slijtage van 10 g per m² zou 958 kg nylon door slijtage in

het water terecht gekomen zijn. Door slijtage van de borstels (3.8 mg tot 9.5 mg plastic per m² afgeborsteld) komt daar nog maximaal 9 kg plastic per jaar bij. Een andere bron van microplastic zwerfvuil is het slijten van plastics en nylon slijtmatten die gebruikt worden in de boomkorvisserij. Op basis van een steekproef van geanonimiseerde aankoopgegevens van garnalenvissers, informatie over het aantal weken dat alle garnalenvissers in totaal op de Waddenzee hebben gevist en de een niet onderbouwde aanname dat 25 % van de gebruikte slijtmatten door slijtage verdwijnt is berekend dat jaarlijks 1060 kg plastic in de Waddenzee achter blijft.

1. Inleiding

1.1. Beleidskader MZI-onderzoek

In het kader van het duurzaam beheer van de Nederlandse kustwateren is besloten tot de transitie van bodemberoerende mosselvisserij naar het gebruik van mosselzaadinvanginstallaties (MZI's). Deze omschakeling was nodig omdat deze economische activiteit plaats vindt in de Natura-2000 gebieden Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta. Conform de Europese Vogel en Habitatrichtlijn, en de doorvertaling daarvan in de Natuurbeschermingswet, is Nederland verplicht om voorgenomen menselijke activiteiten in deze gebieden te toetsen aan vastgestelde natuurdoelstellingen. De strekking van deze wetgeving is dat er in Natura 2000 gebieden een zorgvuldige afweging en evaluatie moet worden gemaakt bij iedere vorm van beïnvloeding door de mens, voor zover deze betrekking heeft op de natuurwaarden en de processen die deze kunnen beïnvloeden.

MZI's worden gezien als een kansrijk instrument om de transitie van de mosselsector vorm te geven omdat hiermee de bodemverstoring drastisch zal afnemen. Het beleid inzake de MZI's is inmiddels vastgesteld voor de periode 2010 t/m 2013 middels een specifieke ministeriële nota. Bij ministerieel besluit is gesteld dat de invoering gefaseerd moet verlopen. De eerste fase (van 2009 t/m 2013) moet worden begeleid door onderzoek naar de mogelijke effecten van MZI's op de natuurwaarden. Eind 2012 zal er een besluit worden genomen over eventuele opschaling in 2013. De LNV nota 'Beleid Mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) periode 2010 t/m 2013' verwijst, vanuit de verplichtingen in het plan van uitvoering in het mosselconvenant, naar de Passende Beoordeling. Er is besloten tot een zorgvuldig onderzoeks- en monitorings-programma (Beleidsstuk: Passende beoordeling voor Mosselzaadinvang (MZI) in Nederlandse kustwateren (Min. LNV, oktober 2009). Negatieve gevolgen voor de instandhoudingsdoelstellingen moeten worden vermeden. Daarom zal er, voorafgaand aan de besluitvorming over opschaling, gericht onderzoek moeten worden gedaan om de effecten van opschaling betrouwbaar in te kunnen schatten. Daarnaast is de monitoring van langetermijneffecten een verplichting die voortkomt uit Europese en nationale natuurwetgeving.

Het onderzoek is tweeledig omdat er twee beleidsinstrumentaria moeten worden ontwikkeld. Het beleidsinstrumentarium 'Voorspellende modellen' voorziet in de onderbouwing van de toekomstige besluitvorming. Wiskundige modellen worden ontwikkeld om mogelijke effecten te voorspellen. Deze informatie is onmisbaar bij besluitvorming over opschaling. Het beleidsinstrumentarium 'Monitoring' is noodzakelijk om te waarborgen dat er geen negatieve effecten zijn in de betreffende natuurgebieden. Dit document beschrijft de ontwikkeling van het beleidsinstrumentarium 'Voorspellende modellen'. Het beleidsinstrumentarium 'Monitoring' wordt beschreven in deel 2 van dit rapport. Zowel de modelontwikkeling, als de ontwikkeling van een monitoringsprogramma zijn uitgewerkt conform de eerder gestelde aanbevelingen en prioriteitstelling, zoals benoemd in 'het beleidsstuk: Mosselzaadinvanginstallaties' (LNV, 2009).

1.2. Achtergrond en probleemstelling

In de Nederlandse kustwateren vindt mosselzaadvisserij plaats. Deze wateren herbergen ook belangrijke natuurwaarden en de meeste wateren zijn derhalve aangewezen als natuurgebied in het kader van de Natuurbeschermingswet of de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn. Dat verplicht Nederland om er voor te zorgen dat de natuurwaarden in deze gebieden in stand blijven of verbeteren. Besluiten rondom de mosselvisserij leiden tot veel maatschappelijke discussies en politieke aandacht. Het kabinet kiest m.b.t. de toekomst van de mosselvisserij voor de sociaal-economische ontwikkeling binnen de randvoorwaarden die de natuurdoelen en -waarden stellen en heeft daartoe voorafgaande aan de ontwikkeling van het beleid inhoudelijke uitgangspunten geformuleerd.

Op 21 oktober 2008 sloten het Ministerie van LNV, de mosselsector en natuurorganisaties het convenant 'Transitie mosselsector en natuurherstel in de Waddenzee', waarin de partijen overeenkomen dat zij gezamenlijk toewerken naar een mosselsector die onafhankelijk is van de bodemzaadvisserij in 2020. De mosselsector maakt daartoe gebruik van een nieuwe manier van zaadwinning met mosselzaadinvangsystemen (MZI). In 2006 leverde dit 1,1 miljoen kg zaad, in 2007 2,2 miljoen kg, in 2008 4,2 miljoen kg, in 2009 7,9 miljoen kg en in 2010 9,3 miljoen kg. In oktober 2009 is het Beleid Mosselzaadinvanginstallaties vastgesteld voor de periode 2010 tot en met 2013 (LNV, 2009). Hierin is 545 ha ruimte waarvan maximaal 500 ha in gebruik op 9 locaties voorzien in de Waddenzee, 200 ha op 4 locaties in de Oosterschelde en 60 ha op 1 locatie in de Voordelta. De uitgegeven ruimte in de eerste tranche (2010-2011) is 205 ha in de Waddenzee, 110 ha in de Oosterschelde en 12 ha in de Voordelta.

Vanwege de geleidelijke vervanging van de bodemzaadvisserij door het gebruik van MZI's zal minder bodemzaad worden gevist. Deze wilde banken kunnen zich dan verder ontwikkelen tot oude mosselbanken (Fig. 1.1). Daarnaast wordt MZI-zaad uit de Voordelta naar de Oosterschelde getransporteerd en mogelijk ook MZI-zaad vanuit de Oosterschelde naar de Waddenzee. Deze activiteiten hebben tot gevolg dat de Waddenzee en Oosterschelde meer biomassa aan mosselen zal gaan bevatten. Vanuit het beleid is de hoofdvraag of deze nieuwe activiteiten en mosselbiomassa de instandhoudingsdoelen voor de Natura 2000-gebieden negatief dan wel positief kunnen beïnvloeden. De eerste stap bij het vaststellen van effecten op instandhoudingsdoelen is onderzoeken of er een positief dan wel negatief effect op soorten en habitats optreedt. Hierbij is onderscheidt gemaakt tussen effecten op draagkracht, depositie en verstoring. Daarnaast is onderzocht wat de slijtage van MZI-materiaal is om inzicht te krijgen in het mogelijk ontstaan van zwerfvuil. Hoe effecten doorwerken naar de instandhoudingsdoelen (b.v. via veranderingen in voortplanting) is geen onderdeel van het huidige onderzoek.

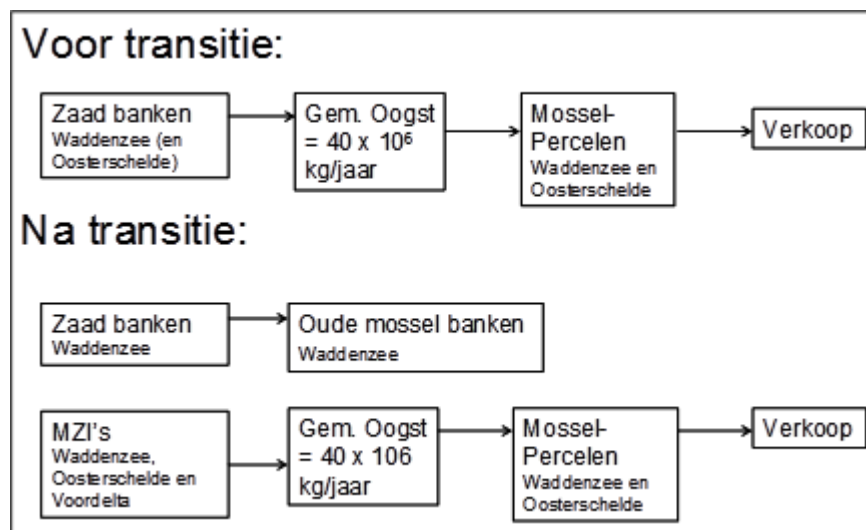


Fig. 1.1. Effect van transitie op totale biomassa aan mosselen in Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta.

De gebieden zijn aangewezen voor 12 habitattypen, 8 habitatsoorten (waarvan 4 vissen, 1 zoogdier en 2 zeezoogdieren), 13 broedvogels en 49 niet-broedvogels. De relevante natuurwaarden en de potentiële effecten als gevolg van veranderingen in draagkracht, depositie en verstoring zijn weergegeven in Tabel 1.1.

Mogelijke effecten op soorten:

Door het beschikbaar komen van kleine mosselen kan het voedselaanbod voor vogelsoorten toenemen als gevolg van het toepassen van een MZI-systeem (potentieel positief effect). Door een verminderd aanbod van microalgen in de vorm van fytoplankton, kan het voedselaanbod voor bepaalde vogelsoorten afnemen, omdat schelpdiersoorten die voor hen als voedsel dienen mogelijk minder groeikansen hebben ('draagkracht-effect'; potentieel negatief effect). MZI-activiteiten kunnen vogels en zeehonden verstoren (potentieel negatief effect). MZI-systemen kunnen dienen als rustplaats, beschutting leveren of mogelijk ook voedsel in de vorm van vissen en macroalgen aantrekken (potentieel positief effect). Microplastics kunnen mogelijk vrijkomen bij MZI-werkzaamheden zoals oogsten. Daarbij bestaat de kans dat deze deeltjes vervolgens opgenomen worden door filtrerende organismen (mosselen) of door sediment etende organismen (wormen). Recent onderzoek laat zien dat mosselen microplastics uit het water kunnen filtreren (Wegner et al., 2012). Er is nog onvoldoende kennis om effecten op soort niveau aan te geven.

Mogelijke effecten op habitattypen:

De habitattypen in Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta zijn H1110A Permanent overstromde zandbanken (getijdegebieden), H1110B Permanent overstromde zandbanken (Noordzee-kustzone), H1140A Slik- en zandplaten (getijdegebieden), H1140B Slik- en zandplaten (Noordzee-kustzone) en H1160 Grote baaien. MZI's bevinden zich in de waterkolom en beïnvloeden als zodanig het areaal van het habitatype niet. Typische soorten van habitat typen kunnen wel beïnvloedt worden. Het organisch rijker worden van de bodem als gevolg van depositie kan leiden tot het veranderen van de omstandigheden voor soorten die in arme omstandigheden voorkomen (potentieel negatief effect). Andere soorten kunnen juist baat hebben bij depositie en verrijkte omstandigheden (potentieel positief effect).

Vanuit het beleid is het volgende onderzoek geformuleerd (LNV, 2009):

"Voor de jaren 2010 t/m 2013 zal een onderzoeks- en monitoringsprogramma worden opgesteld dat de transitie van de mosselsector en het natuurherstel begeleidt. Dat programma zal worden vastgesteld in het kader van het plan van uitvoering van het mosselconvenant, waarvan de uitwerking van het MZI-beleid een onderdeel is. Het programma zal betrekking hebben op de effecten van MZI op draagkracht, bodem en verstoring."

In het Plan van Uitvoering Convenant transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee (PvU, 2010) is het volgende onderzoeksprogramma vastgesteld:

De relevant geachte effecten op de natuur van Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta zijn:

- het beslag op de draagkracht van het ecosysteem (alleen relevant voor Waddenzee en Oosterschelde);
- depositie van organisch materiaal;
- verstoring van vogels en zeehonden;
- verspreiding van vast afval.

Voor het onderdeel draagkracht is dit nog verder gespecificeerd:

- Onderzoek naar stressindicatoren als waarschuwingssignalen om draagkracht-effecten vroegtijdig te kunnen onderkennen, c.q. om te bepalen of ze in het verleden mogelijk al opgetreden zijn.
- Opzetten van modelstudies, 'van fijn naar grof', dat wil zeggen dat eerst geprobeerd wordt om met eenvoudige middelen een betere inschatting van de te verwachten effecten te maken. Dit omvat, in volgorde:
 - o Voorlopige calculaties maken op grond van de bestaande modellen van IMARES en Deltares, met reeds beschikbare gegevens
 - o Bestaande modellen verbeteren, op grond van veld- en/of laboratoriummetingen van essentiële procesparameters.
 - o De modellen tevens met elkaar integreren."

Tabel 1.1. Mogelijke effecten van MZI op relevante natuurwaarden in drie gebieden. De afkortingen in de tabel staan voor: niet van toepassing (nvt); potentieel positief effect (ppe); potentieel negatief effect (pne); zowel een potentieel positief als een potentieel negatief effect (ppne).

Natuurwaarden	Ooster schelde	Voor delta	Wadden Zee	Draagkracht (voedsel voor vogels)	Depositie	Verstoring
Habitat typen						
H1110A Permanent overstroomde zandbanken (getijdegebieden)		x	x	ppne	pne	nvt
H1110B Permanent overstroomde zandbanken (Noordzee-kustzone)		x		ppne	pne	nvt
H1140A Slik- en zandplaten (getijdegebieden)		x	x	ppne	pne	nvt
H1140B Slik- en zandplaten (Noordzee- kustzone)		x		ppne	pne	nvt
H1160 Grote baaien	x			ppne	pne	nvt
Soorten						
H1095 Zeeprik		x	x	nvt	nvt	pne
H1099 Rivierprik		x	x	nvt	nvt	pne
H1102 Elft		x		nvt	nvt	pne
H1103 Fint		x	x	nvt	nvt	pne
H1364 Grijs zeehond		x	x	nvt	nvt	pne
H1365 Gewone zeehond	x	x	x	nvt	nvt	pne
Niet broedvogels						
A001 Roodkeelduiker		x		nvt	nvt	pne
A005 Fuut	x	x	x	nvt	nvt	pne
A007 Kuifduiker	x	x		nvt	nvt	pne
A017 Aalscholver	x	x	x	nvt	nvt	ppne
A048 Bergeend	x	x	x	ppne	nvt	pne
A062 Toppereend		x	x	ppne	pne	pne
A063 Eidereend		x	x	ppne	pne	pne
A0065 Zwarte zee-eend		x		nvt	pne	pne
A067 Brilduiker	x	x	x	nvt	pne	pne
A069 Middelste zaagbek	x	x	x	nvt	nvt	pne
A070 Grote zaagbek			x	nvt	nvt	pne
A130 Scholekster	x	x	x	pne	nvt	pne
A141 Zilverplevier	x	x	x	nvt	nvt	pne
A149 Bonte strandloper	x	x	x	pne	nvt	pne
A157 Rosse grutto	x	x	x	pne	nvt	pne
A160 Wulp	x	x	x	pne	nvt	pne
A161 Zwarte ruiter	x		x	nvt	nvt	pne
A162 Tureluur	x	x	x	pne	nvt	pne

1.3. Doelstelling

Het onderzoek richt zich op het wegnemen van onzekerheden en kennislacunes die gepaard gaan met de opschaling van zaadinvang met MZI-systemen. Effecten van MZI's op de omgeving betreffen:

- (1) effect op de beschikbare hoeveelheid voedsel (draagkracht) door filtratie van algen en terug levering van voedingsstoffen voor algen
- (2) effect op de bodem (a) de bodemstructuur en bodemdieren door uitzinking van mosselafval, (b) de vorming van mosselzaadbanken door aanwezigheid van MZI-systemen
- (3) verstoring of aantrekking van vogels en zeehonden door MZI-activiteiten
- (4) door slijtage en schade kan zwerfvuil ontstaan in de vorm van microplastics, boeien, touwen of netten, deze objecten of stoffen zouden nadelig kunnen zijn voor organismen in het mariene milieu.

Voor het invullen van kennislacunes omtrent nieuwe activiteiten en mosselbiomassa en de instandhoudingsdoelen voor de Natura 2000- gebieden is het onderhavige onderzoek opgezet, met daarin 4 werkpakketten:

- WP1 Draagkracht van Waddenzee en Oosterschelde voor filtrerende schelpdieren
- WP2 Bodemeffecten in verschillende habitat typen
- WP3 Verstoring van vogels en zeehonden door MZI-activiteiten
- WP4 Contaminatie door zwerfvuil

Ieder werkpakket heeft een eigen doelstelling:

WP1 Draagkracht

Bepalen van het effect van opschaling van MZI productie tot 40 miljoen kg per jaar op de beschikbare hoeveelheid voedsel voor filtrerende bodemdieren in de Waddenzee en Oosterschelde. De hoeveelheid en de kwaliteit van het voedsel wordt hierbij gebruikt als een maat voor de omstandigheden voor filtrerende bodemdieren. Deze dieren zijn een belangrijke voedselbron voor schelpdieretende vogelsoorten waarvoor instandhoudingsdoelen gelden. Daarmee zijn ze direct van belang voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen. Hoe eventuele verandering in schelpdierbestanden doorwerkt naar de instandhoudingsdoelen voor vogels is geen onderdeel van het huidige onderzoek. De relatie tussen schelpdierbestanden en schelpdieretende wad- en watervogels is onderzocht door Smit et al. (2011).

WP2 Bodemeffecten

Bepalen van het effect van opschaling van MZI-productie op de bodem (a) de bodemstructuur en bodemdieren door uitzinking van mosselafval, (b) de vorming van mosselzaadbanken door aanwezigheid van MZI-systemen. Deze dieren zijn een belangrijke voedselbron voor vogelsoorten waarvoor instandhoudingsdoelen gelden.

WP3 Verstoring van vogels en zeehonden

Bepalen van het effect van MZI-activiteiten op de aanwezigheid van vogels en zeehonden. Hoe eventuele verstoring doorwerkt naar de instandhoudingsdoelen voor vogels en zeehonden is geen onderdeel van het onderzoek.

WP4 Contaminatie

Bepalen van het effect van de aanwezigheid van MZI's in de Westelijke Waddenzee en Oosterschelde op het ontstaan van zwerfvuil door schade en slijtage. Hoe dit zwerfvuil doorwerkt naar de instandhoudingsdoelen is geen onderdeel van het onderzoek.

De navolgende hoofdstukken beschrijven per werkpakket de onderzoeksvragen, onderzoeksaanpak, behaalde resultaten en conclusies.

2. Draagkracht van Waddenzee en Oosterschelde voor filtrerende schelpdieren

2.1. Wat is draagkracht?

Onderstaande beschrijving van draagkracht is overgenomen uit Van Duren (2011).

Het woord draagkracht wordt veel gebruikt, zowel in ecologische als in economische zin. Analoog met de economie, betekent draagkracht in de ecologie: het vermogen van een ecosysteem om een bepaalde populatie van organismen te onderhouden of een bepaalde hoeveelheid producten (bv. schelpdieren) te leveren. Draagkracht heeft dus vaak te maken met voedsel. Planten zetten water, CO₂ en nutriënten m.b.v. zonlicht om in organisch materiaal dat verder alle andere organismen van voedsel voorziet. Planten kunnen zijn zaadplanten, zoals gras, maar in het water is de grootste groep de microalgen die ofwel zweven in het water (fytoplankton) of op intergetijdeplaten zitten (fytobenthos). Omdat planten de basis zijn voor alle andere levensvormen worden zij de primaire producenten genoemd. De dieren die direct op algen foerageren worden soms aangeduid als de primaire consumenten, maar ook vaak als secundaire producenten. De predatoren die hier weer van eten zijn de tertiaire producenten. Deze 'stappen' in de voedselketen worden aangeduid met trofische niveaus. In werkelijkheid zijn deze relaties niet lineair. Omnivoren kunnen soms secundaire producenten zijn en soms tot een hoger trofisch niveau behoren. Een trofisch niveau (bijvoorbeeld de secundaire producenten in een estuarium) bestaat uit veel verschillende soorten. Soorten in de waterkolom, zoals zoöplankton (zwevend dierlijk materiaal) eten fytoplankton (zwevende algen), maar filtrerende schelpdieren op de bodem eten uit dezelfde ruif. Er is competitie en concurrentie tussen soorten. Meer voedsel voor schelpdieren kan minder voedsel voor zoöplankton betekenen. Als dat plankton weer voedsel is voor vissen dan kan er ook competitie optreden tussen bv. schelpdieren en vissen.

Vragen op het gebied van draagkracht moeten dus eigenlijk altijd gekoppeld zijn aan een bepaalde groep van organismen. Draagkracht voor schelpdieren is iets heel anders als draagkracht voor vissen. Meer draagkracht voor schelpdieren kan soms zelfs ten koste gaan van draagkracht voor vissen. Dat hoeft echter niet altijd zo te zijn. Veel van de primaire productie in een ecosysteem wordt vaak niet geconsumeerd door de secundaire producenten. Algen kunnen ook afsterven door bv. een verandering van zoutgehalte. Het organische materiaal wordt dan gemineraliseerd door bacteriën en de nutriënten die hierbij vrij komen kunnen weer opgenomen worden door andere algen. De verhouding tussen de hoeveelheid algen die de voedselketen in gaat en ten goede komt aan secundaire producenten en de hoeveelheid algen die direct door bacteriën wordt verwerkt kan sterk variëren. Er kan dus best "ruimte" in de draagkracht voor hogere trofische niveaus zitten.

Draagkracht van een systeem voor bv. schelpdieren wordt dus bepaald door de hoeveelheid algen die door het systeem zelf worden geproduceerd en de hoeveelheid algen die van buiten naar binnen komt. Hetzelfde geldt voor het niveau van de secundaire producenten. Wat er in het systeem wordt geproduceerd plus wat er binnenkomt van elders bepaalt de draagkracht voor hogere trofische niveaus. De productie plus netto import aan algen moet dus altijd groter zijn dan wat er weggegeten kan worden, anders is de situatie instabiel. Vaak wordt dit aangeduid met "de voedselpiramide".

Wanneer beleidsmakers normen stellen over draagkracht, gebeurt dit bijna altijd op de hogere trofische niveaus, zoals vogels en vissen. Meestal zijn die normen gesteld op aantallen. Natura2000 stelt dat er een bepaald aantal Scholeksters aanwezig moeten kunnen zijn in een bepaald gebied. Je kunt natuurlijk gigantische aantallen bacteriën of ééncellige algen hebben terwijl de biomassa vrij laag is en een grote vogel heeft meer eten nodig dan een kleine. Nu kunnen aantallen Scholeksters nog wel omgerekend worden in grammen koolstof (biomassa) om dit vergelijkbaar te maken met de beschikbare biomassa aan algen, maar toch zegt biomassa als maatstaf weinig. Figuur 2.1a geeft een verdeling van

biomassa weer zoals die voor zou kunnen komen in bv. de Oosterschelde: heel weinig algen, een grote hoeveelheid schelpdieren en iets minder vogels, maar wel veel meer biomassa vogels dan algen. Op het eerste gezicht lijkt dit zorgwekkend. Wat echter mee verdisconteerd moet worden is het feit dat algen zich elke paar dagen kunnen vermenigvuldigen. Schelpdieren hebben een generatietijd van een jaar of 2 en vogels van meerdere jaren. Wanneer je dat in aanmerking neemt (biomassa / generatietijd) ziet het plaatje er gelijk heel anders uit (zie figuur 2.1b).

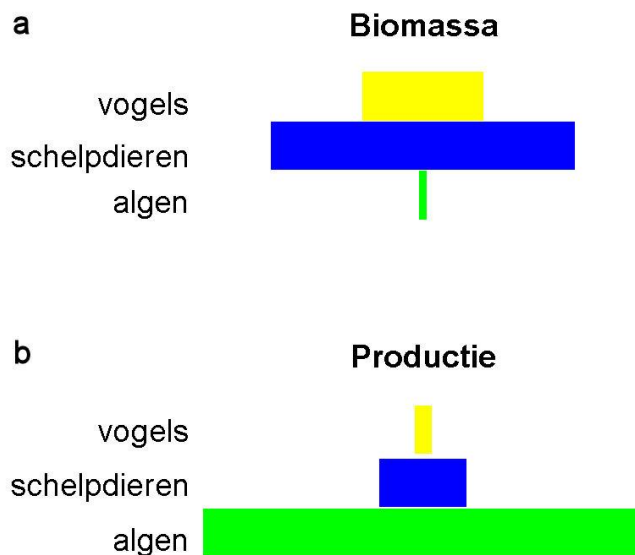


Fig. 2.1 (a) hypothetische verdeling van biomassa in een estuarium en (b) verdeling van productie van trofische niveaus wanneer de biomassa verdeling van figuur a wordt gedeeld door 4 dagen voor algen, 730 dagen (2 jaar) voor schelpdieren en 1460 dagen (4 jaar) voor vogels.

Het is in veel opzichten vergelijkbaar met economie: productiviteit hangt af van zowel je hoeveelheid producten als je productiesnelheid. Die flux (omzet) is uiteindelijk wat je draagkracht bepaalt: als je meer uitgeeft dan dat je binnen krijgt heb je vroeg of laat een probleem, of je valuta nu grammen koolstof zijn of Euro's. Vooral voor algen kan de generatietijd ordes van grootte verschillen. Wanneer nutriënten en licht beperkend zijn dan kan de generatietijd makkelijk enkele weken bedragen, terwijl in een systeem als de Oosterschelde de generatietijd 3 à 4 dagen is. Een systeem met een hoge biomassa kan dus een lage productiviteit hebben en vice versa. Het grote probleem is dat zowel de vragen van beleidsmakers als ook de beschikbare monitordata over het algemeen op het niveau van ofwel aantallen, ofwel biomassa zitten. Om de draagkracht van een systeem in de gaten te houden is het noodzakelijk dat veranderingen in primaire productie goed gekend zijn. Waarnemingen aan alleen biomassa zijn daarvoor te beperkt.

Daarbij is het zinvol onderscheid te maken tussen effecten op productie draagkracht en op ecologische draagkracht (zie Gibbs, 2009). Met productiedraagkracht wordt de draagkracht voor kweek bedoeld, af te meten aan de opbrengst van het gekweekte product, zowel in kwantitatieve als kwalitatieve termen. De effecten (van aquacultuur) op ecologische draagkracht worden door Gibbs gedefinieerd als een aquacultuur productie die significante effecten heeft op processen, soorten, populaties en/of levensgemeenschappen. Afgezien van de vraag wat daar precies onder verstaan moet worden, kan worden gesteld dat deze definitie aansluit bij de natura 2000 benadering waar het gaat om effecten op de instandhoudingsdoelen. Voor effecten van MZI's op beide typen draagkracht gaat het dan om de effecten op de voedselbeschikbaarheid van zowel de MZI-mosselen zelf als voor de andere filter feeders. Het analyseren van de effecten van MZI's op voedselbeschikbaarheid voor filter feeders is daarmee

toereikend voor de evaluatie van beide typen draagkracht. Overigens stelt Gibbs dat draagkracht een "moving target" is omdat innovaties in kweektechnieken effecten kunnen verminderen.

2.2. Taken werkpakket draagkracht

Het beleidsinstrumentarium 'Voorspellende modellen' kan alleen worden gebruikt als er voldoende kennis is om een of meerdere modellen op te stellen. De ontbrekende kennis is verzameld door metingen te verrichten aan de activiteiten van mosselzaad. Verder worden de modellen gevalideerd. Er zal immers aangetoond moeten worden dat er met betrouwbare modellen gerekend is. Voor de validatiestap zijn meetgegevens nodig. Daarvoor is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande datasets. Ontbrekende, cruciale, gegevens zijn verzameld met behulp van veldmetingen. Met behulp van gevalideerde wiskundige modellen wordt een prognose gegeven van de effecten van de verschillende scenario's die overwogen worden bij het besluit tot opschaling. In de perioden daaraan voorafgaand zijn met de dan beschikbare modellen voorlopige effectschattingen berekend.

Het beleidsinstrumentarium 'Monitoring' betreft het onderzoek naar mogelijke effecten in de natuurgebieden. Dat er geen negatieve effecten zullen optreden kan alleen aangetoond worden als er ook gericht gemeten wordt in de betreffende natuurgebieden. De keuze van onderwerpen die bestudeerd moeten worden is gemaakt op basis van 'expert-judgement'. Voor een gedetailleerde argumentatie wordt verwezen naar de nota 'Passende Beoordeling voor MZI in Nederlandse kustwateren'. Een onderdeel is het onderzoek naar stress-indicatoren. Hiermee wordt bedoeld dat sommige organismen direct gekoppeld zijn aan de instandhoudingsdoelstellingen dat hun reactie op de MZI-opschaling als een indicatie van mogelijk significant negatieve effecten op de doelstellingen kan worden gezien. In dit kader is een analyse uitgevoerd van historische meetgegevens, voor zover deze beschikbaar zijn. Deze analyse kan leiden tot een betere keuze van stress-indicatoren, en dus tot een verbetering van het beleidsinstrumentarium 'Monitoring'.

Het doel van werkpakket 1 is het detecteren en voorspellen van de invloed van extra MZI-mosselen op de draagkracht, d.w.z. of er sprake is van een concurrentie-effect, waardoor voedsel niet meer beschikbaar is voor andere soorten schelpdieren en/of verminderde primaire productie door overbegrazing. Door dit laatste effect kan er als geheel minder voedsel in het systeem worden geproduceerd; dit is dus het meest vergaande draagkracht-effect. Veranderingen in beschikbaarheid van voedsel voor vissen of zoöplankton en voedingsstoffen voor zeewier zijn niet bestudeerd in het kader van dit project. Ook een verandering in de koolstof cyclus is niet bestudeerd.

Er wordt veel aandacht besteed aan de effecten op het fytoplankton, omdat dat de schakel is tussen de activiteit van de MZI-mosselen en de natuurlijke schelpdiervoorkomens. Daarbij is sprake van feedback-processen die enerzijds positief kunnen zijn (hogere fytoplanktonturnover door begrazing en nutriëntenteruglevering) en anderzijds negatief kunnen zijn (verschuiving van de fytoplanktongemeenschap naar dominantie van kleine algen, ofwel picoplankton, die niet worden gefiltreerd en dus geen voedingswaarde hebben voor schelpdieren).

Met behulp van analyse van historische data, modelleren, meten van modelparameters en het ontwikkelen van een meetprogramma voor stress-indicatoren wordt het effect van de opschaling van de MZI-oogst tot 40 miljoen kg voorspeld. De verschillende taken en producten binnen werkpakket 1 zijn weergegeven in figuur 2.2. In 2010 en 2011 is een analyse van historische data (taak 1.1) uitgevoerd. De vraagstelling hierbij was:

- Is er in het verleden een verband te vinden tussen de voedselbeschikbaarheid (primaire productie, wateruitwisseling), de voorraad filter-feeders, en de conditie van filtrerende schelpdieren, in de Oosterschelde en de Waddenzee?
- Hoe is het verloop van de totale schelpdierbiomassa in de loop der tijd geweest?

- Zijn er in het verleden situaties geweest waarbij de biomassa aan filtrerende schelpdieren zo groot was dat een vermindering in conditie van de dieren werd geobserveerd?

Deze analyse heeft vooral informatie over correlaties opgeleverd die hypothesen vormend zijn. Daarnaast heeft het extra data gegenereerd voor het model en aanwijzingen gegeven voor stress-indicatoren. Om het effect van opschaling op de draagkracht in te schatten is gebruik gemaakt van modelberekeningen (taak 1.2). Ontbrekende data voor het model zijn bij voorkeur uit andere onderzoeksprogramma's verkregen, maar als die er niet zijn, en het betreft daadwerkelijk essentiële data, zijn ze via metingen verkregen (taak 1.3). Modellen geven voorspellingen van effecten. Dat er geen negatieve effecten zullen optreden kan alleen aangetoond worden als er ook gericht gemeten wordt in de betreffende natuurgebieden. Daarom is ook onderzoek gedaan naar het gebruik van impact-indicatoren die iets kunnen zeggen over de huidige toestand van de draagkracht en die kunnen worden opgenomen in een monitoringsprogramma (taak 1.4). Met impact-indicatoren wordt bedoeld dat sommige organismen direct gekoppeld zijn aan de instandhoudingsdoelstellingen en dat hun reactie op de MZI-oposchaling als een indicatie van mogelijk significant negatieve effecten op de doelstellingen kan worden gezien. De analyses van taak 1.1 en 1.2 en de metingen van taak 1.3 zijn gebruikt bij de keuze van de impact-indicatoren.

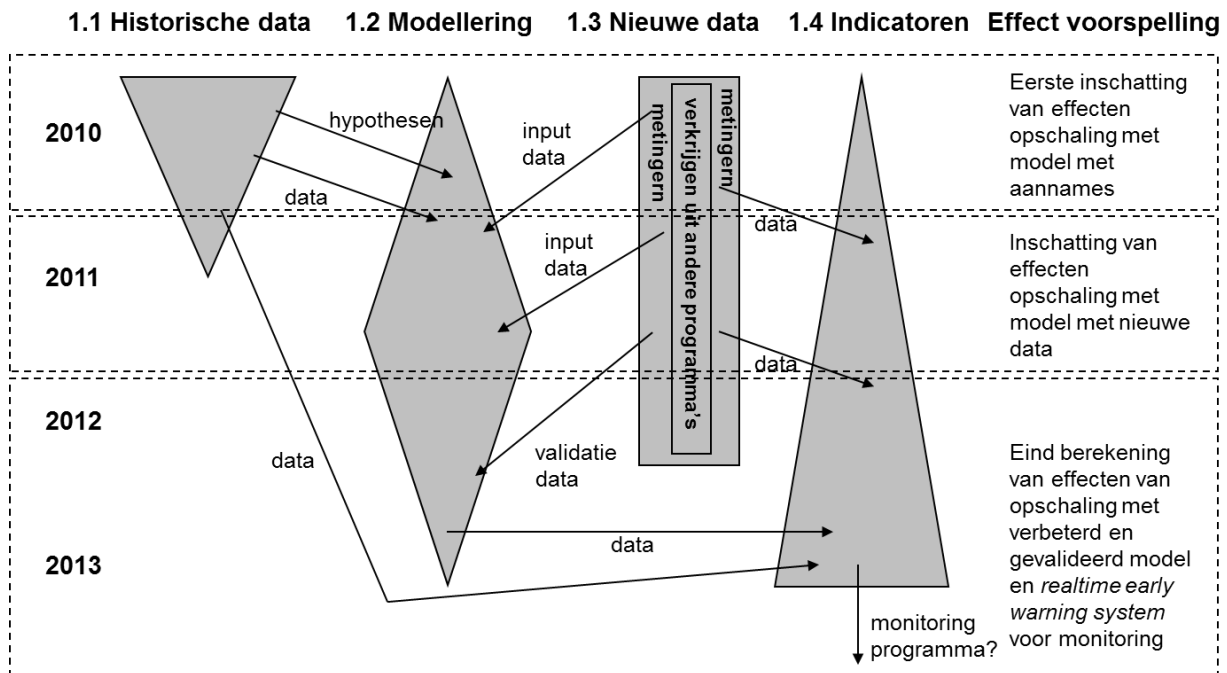


Fig. 2.2. Overzicht van verbanden tussen taken en producten van werkpakket 1. De grijze oppervlakken geven de intensiteit van de betreffende activiteit in de tijd aan.

2.3. Analyse historische data

Gebaseerd op:

Schellekens T, M van Stralen, J Kesteloo-Hendrikse, A Smaal (2013) Analyse historische data Oosterschelde en Waddenzee. IMARES Rapport C189/13

Malkin S. Y., J. C. Kromkamp & P. M. Herman (2011) Primary production in the Oosterschelde: an analysis of historical data, size distribution and effect of grazing pressure. NIOO-CEME report.

Riegman R (2013) Schatting van de primaire productie in de Waddenzee in de laatste drie decennia. IMARES Rapport C186/13

2.3.1. Onderzoeksvragen

Is er in het verleden een verband te vinden tussen de voedselbeschikbaarheid (primaire productie, wateruitwisseling), de voorraad filter-feeders, en de conditie van filtrerende schelpdieren, in de Oosterschelde en de Waddenzee?

Hoe is het verloop van de totale schelpdierbiomassa in de loop der tijd?

Zijn er in het verleden situaties geweest waarbij de biomassa aan filtrerende schelpdieren zo groot was dat een vermindering in conditie van de dieren werd geobserveerd?

2.3.2. Toelichting

Schelpdierbestanden kunnen van jaar tot jaar sterk in omvang variëren waardoor er in wisselende mate beslag wordt gelegd op de voedselvoorraad. De hoeveelheid beschikbaar voedsel fluctueert eveneens omdat de primaire productie afhankelijk is van de beschikbaarheid van licht en voedingsstoffen. Verder is de wateruitwisseling per gebied verschillend en daarmee de aan en afvoer van voedsel, wat kan leiden tot verschillen in aanbod. In jaren met een groot bestand aan schelpdieren en een lage primaire productie zijn effecten van het schelpdierbestand op de draagkracht mogelijk af te lezen uit de groei en conditie van de schelpdieren in dat jaar. Nadere analyse van historische gegevens over deze variabelen kan worden benut om de draagkracht beter in te schatten en na te gaan bij welke mate van MZI opschaling in bepaalde gebieden, effecten op de draagkracht kunnen worden verwacht. De historische situatie is niet per definitie te vergelijken met de situatie nu of in de toekomst, daarom moet de analyse van deze gegevens vooral gezien worden als richting gevend voor verder onderzoek. Analyses van de relatie tussen stress-indicatoren, zoals conditie van schelpdieren, en omgevingsfactoren is hier onderdeel van. Belangrijk is hierbij te bedenken dat de eutrofiering de laatste decennia flink is afgenomen wat mogelijk tot een verlaging van de draagkracht heeft geleid

Op basis van de uit de analyse van historische data voortkomende relaties kan een model ten behoeve van kwantitatieve voorspellingen van MZI-opschaling preciezer worden gedefinieerd. Het is wel zo dat het hier gaat om een statistische analyse van historische data die correlatieve verbanden oplevert en geen causaliteit. Verder ontbreken gegevens over de diverse terugkoppelingen die er zijn tussen de grazers in het systeem en de primaire productie en de voedselkwaliteit.

2.3.3. Aanpak

Er zijn datasets op jaarbasis opgesteld van Waddenzee en Oosterschelde met de belangrijkste benthische grazer bestanden (*Mytilus*, *Cerastoderma*, *Crassostrea*, *Mya*, *Ensis*, *Macoma*), van de vleesgewichten van geleverde mosselen aan de veiling per deelgebied in Waddenzee en Oosterschelde, en van de grootte van de kokkels in verschillende jaarklassen. Hiervoor zijn aanvoerstatistieken van mosselen van het Produktschap Vis en gegevens van de WOT kokkel- en mosselzaadbestandsopnames gebruikt. Deze dataset is aangevuld met meetgegevens van de primaire productie van de Oosterschelde, en een reconstructie van de primaire productie van de ontbrekende jaren in de Oosterschelde en Waddenzee. Deze reconstructies zijn opgesteld op basis van monitoringdata van slibgehalte in het water (licht doordringing), nutriënten en chlorofyl. Op basis van beschikbare data zijn de volgende deelgebieden onderscheiden: In de Waddenzee: Marsdiep en Vliestroom, en in de Oosterschelde: west, midden, kom en noordelijke tak. Per deelgebied zijn tijdreeksen van schelpdierbestanden gekoppeld aan tijdreeksen van de voedselhoeveelheid en -kwaliteit, en aan tijdreeksen van groei en conditie van mosselen en kokkels. Vervolgens zijn correlaties berekend en statistisch getoetst.

2.3.4. Reconstructie primaire productie

Gedurende de periode 1991 tot 2006 is de jaarlijkse primaire productie en het chlorofylgehalte van het water afgenomen in de Oosterschelde (Fig. 2.3a). Data vanaf 2006 geven aan dat de primaire productie niet verder is afgenomen. Veranderingen in de lichtbeschikbaarheid en nutriënten kunnen de neerwaartse trend in primaire productie en het chlorofylgehalte niet verklaren. Een toename in graasdruk zou een verklaring kunnen zijn voor de afname in chlorofyl en primaire productie. Er zijn aanwijzingen

dat dit het geval is. In de Kom en Noordelijke Tak werd geen afname van maximum fotosynthese capaciteit gevonden in de periode van afname van de primaire productie en het chlorofylgehalte. Dit betekent dat de algen dus even efficiënt met het beschikbare licht en nutriënten omgaan en dat de afname in primaire productie dus vooral wordt veroorzaakt door een afname in de algenbiomassa.

Voor de westelijke Waddenzee ligt de huidige schatting van de primaire productie 9% hoger dan de schattingen welke gebaseerd zijn op onafhankelijke metingen door het NIOZ in het Marsdiep (Philippart et al., 2007) (Fig. 2.3b). De berekende trend is evenwel vergelijkbaar. Er kunnen drie perioden onderscheiden worden. De eerste periode tussen 1973 en 1984 kenmerkt zich door een relatief lage primaire productie (waarden tussen de 50 en 150 gC.m⁻².-yr). In de tweede periode, van 1985 tot 1990, neemt de primaire productie toe. Vanaf 1993 vindt er een geleidelijke afname van de primaire productie plaats, waarschijnlijk door het teruglopen van de nutriëntenbelasting. In 2007 was de primaire productie net zo laag als de eind jaren zeventig. In de oostelijk Waddenzee is het patroon iets minder consistent (Fig. 2.3c).

Uit de berekeningen blijkt dat het slibgehalte grote invloed heeft op de primaire productie. Dit is vooral het geval in de oostelijke Waddenzee. In dit gedeelte is er betrekkelijk weinig variatie in de jaarlijkse primaire productie. Als gevolg van de relatief hoge slibgehalten is er ook weinig invloed waarneembaar van variaties in de beschikbaarheid van nutriënten. De westelijke Waddenzee bevat minder slib. Ondanks de grotere diepte is er meer licht beschikbaar voor de algengroei. Vooral in het voorjaar en de zomer is er sprake van nutriënt gelimiteerde primaire productie. Dit houdt in dat een verdere reductie in de eutrofiering zou kunnen leiden tot een lagere primaire productie. Uit de historie van de Oosterschelde is gebleken dat een drastische verlaging van de nutriënten toevoer, met het gereedkomen van de Philipsdam in 1987, toen niet heeft geleid tot een afname van de primaire productie; deze begon veel later.

De reconstructies van de primaire productie zijn gebruikt in de historische data analyse en de modelberekeningen.

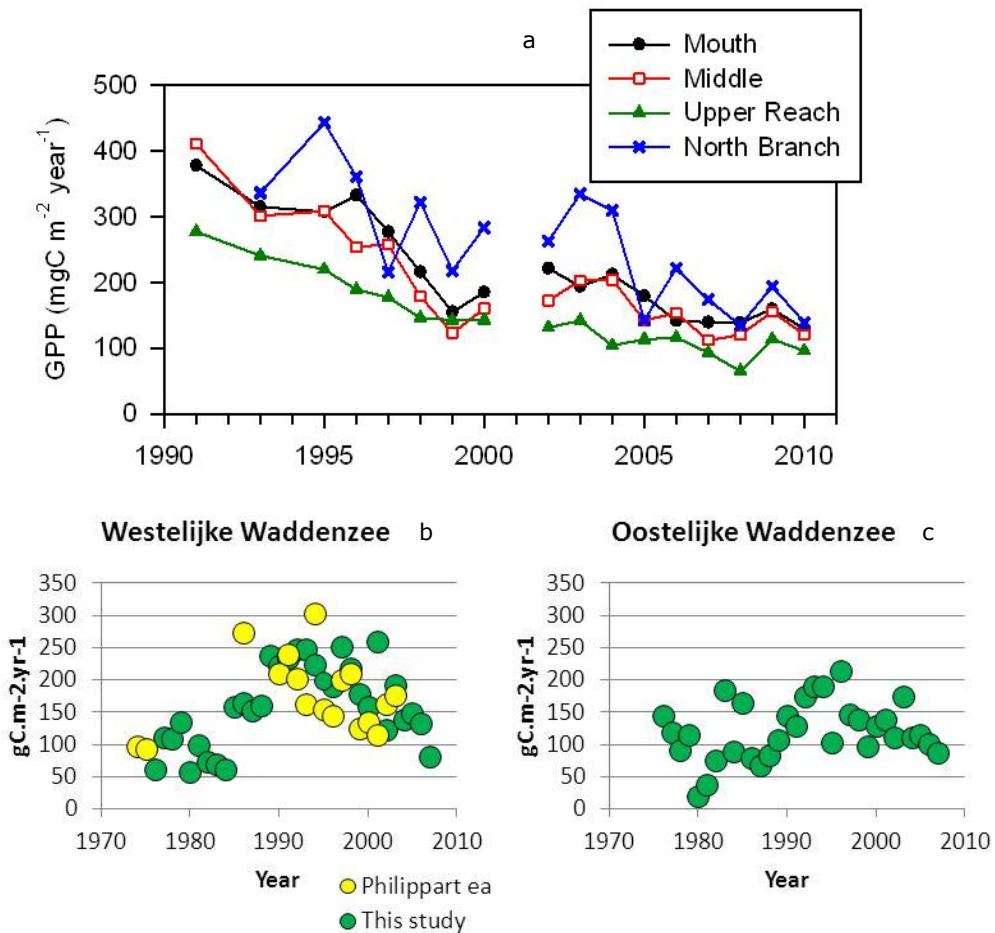


Fig. 2.3. Gereconstrueerde jaarlijkse primaire productie in (a) Oosterschelde, Mouth = Mond, Middle = Middel, Upper Reach = Kom, North Branch = Noordelijke tak en (b) westelijke Waddenzee en (c) oostelijke Waddenzee. Groen: gereconstrueerde primaire productie, geel: Schatting door Philippart et al. (2007). De schattingen in de Oosterschelde zijn gebaseerd op metingen, terwijl de schattingen van de Waddenzee voor de huidige studie zijn gebaseerd op aannames van fotosynthese parameters omstreeks 1983 (Eems-Dollard) bij gebrek aan metingen.

2.3.5. Historische data analyse

Bij de analyse van de tijdreeksen komen significant negatieve correlaties tussen groei en conditie van schelpdieren (mosselen en kokkels) en schelpdierbestanden naar voren in zowel de Oosterschelde als het Vliestroomgebied van de Waddenzee. (Fig. 2.4 voor mosselen). Analyse levert net geen significante relatie op het 95% niveau tussen groei van schelpdieren en schelpdierbestanden in het Marsdiepgebied van de Waddenzee (Fig. 2.4). De conditie van mosselen was over het algemeen beter in de Waddenzee dan in de Oosterschelde (Fig. 2.4). De groei van kokkels in het Marsdiepgebied is significant negatief gecorreleerd met de omvang van de sublitorale stock wat versterkt wordt door een negatief verband tussen kokkelgroei en litorale stock in dat gebied. Daarnaast werden in deze gebieden significant positieve correlaties tussen groei van schelpdieren en voedsel gevonden. In de monding van de Oosterschelde is een duidelijke positieve relatie gevonden tussen schelpdierbiomassa en primaire productie. Groei van kokkels in Oosterschelde positief gerelateerd is aan primaire productie. Primaire productie heeft geen significante relatie met vleesgehalte mosselen in de Oosterschelde. In de Waddenzee werd een significant positieve correlatie gevonden tussen groei van schelpdieren en voedselkwaliteit voor schelpdieren gevonden. De waarneming dat een lagere conditie van de schelpdieren optreedt in gebieden met relatief grote bestanden, leidt tot de hypothese dat bij een bepaalde grootte van het schelpdierbestand er zoveel concurrentie om voedsel optreedt dat er minder of geen groei meer is. De draagkracht is dan maximaal benut. Gebaseerd op de gevonden correlaties is de hypothese dat een toename van het mosselbestand door het plaatsen van MZI's leidt tot een afname in de groei van kokkels en mosselen in die gebieden, die proportioneel is met de gevonden negatieve relaties in acht nemend de onzekerheden (ruis) omtrent deze relaties.

Uit de tijdreeksen blijkt dat de biomassa aan MZI-mosselen klein is ten opzichte van de totale biomassa aan schelpdieren in de Oosterschelde en Waddenzee (Fig. 2.5 a&b). Wat opvalt is een sterke uitbreiding van het bestand aan mesheften (*Ensis*) in de sublitorale westelijke Waddenzee vanaf 2009 (Fig. 2.5c). Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat de oorspronkelijke bestandschatting is gebaseerd op monsternamen met een zuigkor, die niet voldoende diep steekt voor een kwantitatieve bemonstering van *Ensis*. Tijdens de ZKO survey in 2008 is een eerste vergelijking gemaakt tussen het gebruik van de ondiep monsterende zuigkor en een dieper monsterende *Ensis*-kor. Daaruit bleek dat aantallen onderschat werden door gebruik van de zuigkor. Voor het gebruik in de historische data-analyse zijn de aantallen *Ensis* gecorrigeerd aan de hand van gegevens uit de ZKO survey. Hoewel hierdoor meer onzekerheid bestaat omtrent de absolute waarden is duidelijk dat de enorme toename van de *Ensis* in de recente jaren daadwerkelijk is opgetreden. Dit blijkt namelijk uit zowel de zuigkor als de *Ensis*-kor gegevens. De toename in *Ensis* is tevens waargenomen in de NIOZ surveys (Dekker 2011). Dit is een aanwijzing dat er bij een MZI-omvang in de Waddenzee in 2010 (7 miljoen kg; van Stralen, 2011) nog geen sprake is van verlies van natuurlijke schelpdierbestanden.

De correlaties van de historische data analyse heeft hypothesen gegenereerd voor de modelberekeningen, daarnaast is het vleesgewicht van mosselen zoals aangeleverd aan de veiling als impact indicator geïdentificeerd.

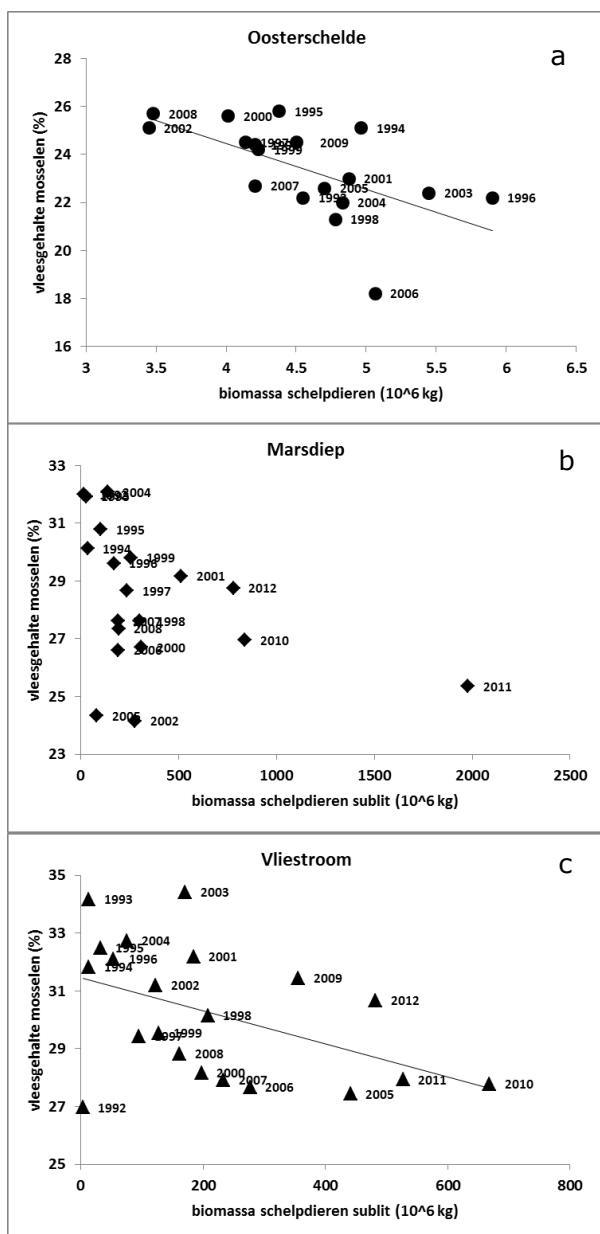


Fig. 2.4. Correlatie (lineaire regressie) tussen (a) het gemiddelde percentage vlees van mosselen (% vlees van totaal gewicht in juli-oktober) en biomassa kokkels, mosselen, *Macoma* en wilde oesters (10^6 kg as-vrij drooggewicht) in de totale Oosterschelde (significant: $p < 0.01$, $R^2 = 0.33$) en (b) het gemiddelde percentage vlees van mosselen (% vlees van totaal gewicht in juli-oktober) en sublitorale totale stocks aan schelpdieren (10^6 kg versgewicht) in het Marsdiep gebied van de Waddenzee (niet significant: $p > 0.05$, $R^2 = 0.38$) en (c) het gemiddelde percentage vlees van mosselen (% vlees van totaal gewicht in juli-oktober) en sublitorale totale stocks aan schelpdieren (10^6 kg versgewicht) in het Vliestroom gebied van de Waddenzee (significant: $p < 0.05$, $R^2 = 0.46$)

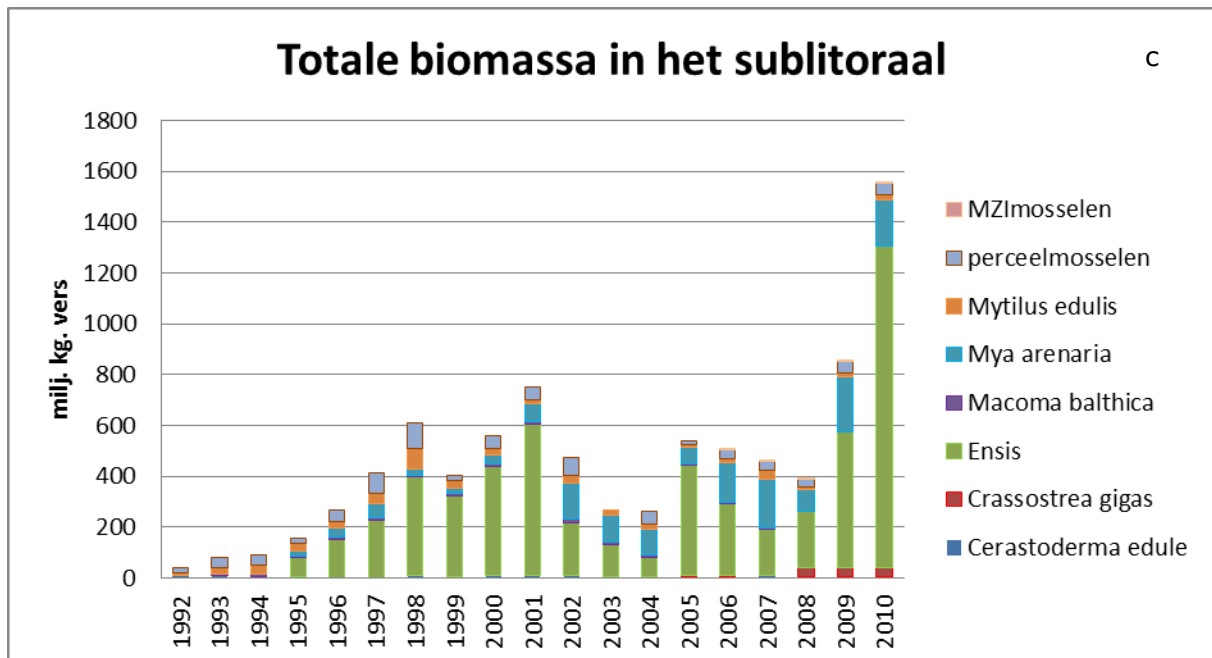
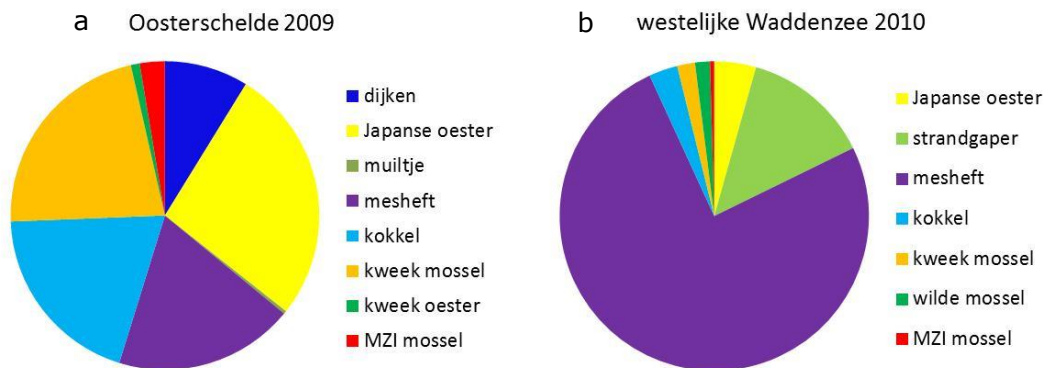


Fig. 2.5. Verdeling van de bestanden aan grazers in de (a) Oosterschelde in 2009 en (b) de westelijke Waddenzee in 2010. Dijken betreft de filtrerende organismen aanwezig op de dijken. (c) Verloop van de totale sublitorale biomassa in het gehele westelijke Waddengebied in de jaren 1992-2010.

2.4. Verkrijgen en analyse van nieuwe data

Gebaseerd op:

Hartog E., J. Jol, J.J. Kesteloo, K.J. Perdon, & K. Troost (2013) Het bestand aan Mesheften (*Ensis* sp.) in de Oosterschelde in 2012. IMARES Rapport C035/13

Ihnken S. & J.C. Kromkamp (2012) Phytoplankton cells and particles in the Oosterschelde: functional relationships to the underwater light climate and food availability for bivalves. NIOZ-Yerseke report.

Ihnken S. & J.C. Kromkamp (2013) Food availability and food quality for benthic filter feeders of the Oosterschelde estuary. NIOZ-Yerseke report.

Jansen HM, W v Broekhoven, E Brummelhuis & E Hartog (2013) Technisch rapport: Productiemetingen aan mosselzaad-Invang-installaties (MZI): 2012. IMARES Rapport C031/13

- Kamermans P., Jak R, P. Jacobs & R. Riegman (2014) Groei en begrazing van mosselzaad, primaire productie en picoplankton in de Waddenzee. IMARES Rapport C187/13
- Kromkamp J.C. & S. Ihnken (2012) Primaire productie en nutriënten in de Oosterschelde, Update 2011 and long term changes in nutrients. NIOZ-Yerseke rapport.
- Kromkamp J., S. Ihnken, J. Peene en J. Vlaming (2013) Primaire productie in de Oosterschelde, Update 2012. NIOZ-Yerseke rapport
- Troost K, E Brummelhuis & E Hartog (2013) Productiemetingen aan mosselzaad-invang-installaties (MZI's) 2009, 2010, 2011. IMARES Rapport C093/13
- Smaal A.C., T. Schellekens, M.R. van Stralen, J.C. Kromkamp (2013) Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* 404–405: 28–34
- Broekhoven W van, Troost K, Jansen H, Smaal A (2014) Nutrient regeneration by mussel *Mytilus edulis* spat assemblages in a macrotidal system. *Journal of Sea Research* 88: 36-46

2.4.1. Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen zijn geformuleerd op basis van de behoefte aan nieuwe data van de modellen.

- Wat is de primaire productie in de Waddenzee en Oosterschelde gedurende het seizoen?
- Wat is de groei, sterfte en filtratieactiviteit van MZI-mosselen gedurende het seizoen?
- Wat is het effect van begrazing van MZI-mosselen op de grootte verdeling en conditie van het fytoplankton?
- Wat is het effect van begrazing van MZI-mosselen op de nutriënten beschikbaarheid?
- Hoe groot zijn de bestanden van oesters en zwaardscheden en wat is hun filtratiecapaciteit per eenheid biomassa?

2.4.2. Toelichting

Doel van taak 1.3 is het verkrijgen van input data voor de voorspellende modelberekeningen uit taak 1.2. Hierbij wordt gebruik gemaakt van data die beschikbaar komen in het kader van andere projecten en van eigen metingen. Deze gegevens zijn belangrijk voor het doen van betrouwbare voorspellingen.

Primaire productie gegevens voor de Oosterschelde worden verzameld door het NIOO-CEME (sinds 1 januari 2012 NIOZ-YE) en voor de Waddenzee in beperkte mate door het NIOZ. In het huidige project wordt de primaire productie gemeten in de Oosterschelde door NIOZ-YE en in de Waddenzee door IMARES. Nieuwe informatie over bestanden aan Japanse oesters en mesheften (*Ensis directus*) worden voor de Waddenzee verzameld in het ZKO project. Vanaf 2011 vinden schattingen van Japanse oesterbestanden plaats in het kader van WOT. Voor de Oosterschelde is in 2012 een eerste *Ensis* survey uitgevoerd. De filtratie activiteit van Japanse oesters is beschikbaar in de literatuur. Voor *Ensis* zijn in 2010 en 2011 metingen gedaan in het kader van door RWS gefinancierde projecten. Informatie over predatie is verzameld in de projecten PRODUS en Mosselwad. Biomassa, groei, sterfte en filtratie van MZI-mosselen in Waddenzee en Oosterschelde zijn in onderhavig project bepaald. Verder zijn effecten van feedback processen van de filtreerders op de grootteverdeling van de algen en het beschikbaar komen van extra nutriënten door de excretie en remineralisatie bestudeerd in het huidige project. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de herkomst van de data voor de modellen. De data Bestand Japanse oesters, Bestand *Ensis*, Filtratie activiteit *Ensis* en Biomassa MZI mosselen hebben een bewerkingsslag ondergaan voordat ze werden gebruikt in de modellen. Dit geldt ook voor de data Groei en sterfte MZI mosselen, Filtratie activiteit MZI mosselen, Feed-back excretie en remineralisatie, Feed back algensoortensamenstelling en Zoöplankton. Dit is beschreven in de onderliggende rapportages over de modellen (Brinkman A.G. (2013) Modelling the effects of musselseed collectors on the Wadden Sea ecosystem. IMARES Rapport C061/13 en Troost TA (2013) Draagkracht voor MZI's in de Oosterschelde. Deltares rapport).

Tabel 2.1. Herkomst data voor de modellen.

	Waddenzee	Oosterschelde
primaire productie	dit project	dit project
bestand Japanse oesters	WOT taak	WOT taak
bestand <i>Ensis</i>	ZKO	dit project
filtratie activiteit <i>Ensis</i>	RWS projecten	
totale biomassa aan MZI-mosselen (per deelgebied)	PO Mosselcultuur en EL&I	PO Mosselcultuur en EL&I
groei en sterfte MZI-mosselen	dit project	dit project
filtratie activiteit MZI-mosselen	dit project	dit project
feed back excretie en remineralisatie	dit project	dit project
feed back algensoortensamenstelling	dit project	dit project
zooplankton	dit project	dit project

2.4.3. Aanpak

In het huidige project is de primaire productie gemeten gedurende het seizoen op 6 locaties in de Oosterschelde (door NIOZ-YE) en 2 locaties in de westelijke Waddenzee (door IMARES). In 2010 is in de Waddenzee primaire productie gemeten met behulp van een PAM fluorimeter en een zuurstofincubator. In 2011 is dit uitgebreid met ¹⁴C incubaties.

Van *Ensis* is bekend dat ze vooral voorkomen in het gebied onder de laagste laagwaterlijn en sporadisch in het lage droogvallende gebied. De bemonstering van de diepe delen van de Oosterschelde (tot een hoogte van -0,5 m ten opzichte van NAP) is uitgevoerd op een regelmatig grid. Dit grid is opgebouwd uit Noord-Zuid lopende raaien op een afstand van 1155 m met 555 m afstand tussen de stations op de raaien. De bemonsteringen zijn uitgevoerd met een bodemschaaf (Troost et al., 2012). Van alle hele exemplaren is per monster het versgewicht bepaald. Van *Ensis* worden vaak alleen de topjes in de schaaaf gevonden. Van deze topjes zijn de schelpbreedtes opgemeten. Voor de berekening van de biomassa van deze *Ensis* is gebruik gemaakt van een breedte – gewichtsrelatie (Goudswaard et al, 2009).

Het schatten van groei (in lengte en gewicht), sterfte en totale biomassa van MZI-mosselen is uitgevoerd gedurende het seizoen. Dit dient ter onderbouwing van de beschrijving van de effecten van de MZI's op het systeem in termen van beslag op draagkracht en effecten op de bodem op de diverse locaties en is tevens nodig als input voor modelberekeningen. Dit is in 2010 en 2011 steekproefsgewijs gevolgd in de tijd. Omdat de inwinning van gegevens over vestiging van zaad, en vervolgens van groei en overleving tijdens het seizoen op een uniforme en onafhankelijke wijze moet gebeuren om de onderlinge vergelijkbaarheid in ruimte en tijd mogelijk te maken is in 2010 een meetprotocol ontwikkeld. Daarnaast zijn gegevens over de uiteindelijke oogst van de MZI's waarvan de biomassaontwikkeling in de tijd is gevolgd gebruikt om de groei/sterftegegevens te kunnen ijken en om de ruimtelijke verschillen te kunnen analyseren. In 2012 zijn enkele gerichte metingen uitgevoerd om ontbrekende gegevens voor de modellen te verkrijgen. Er zijn experimentele touwen opgehangen op één MZI-locatie om de vestiging en ontwikkeling van MZI-mosselen in detail te kunnen volgen gedurende het seizoen. Effecten van het tussentijds oogsten -ook wel afborstelen genoemd- op de biomassa en lengtefrequentieverdelingen van de mosselen die achterblijven op het net zijn niet bekend. Deze zijn daarom in samenwerking met MZI-ondernemers bepaald, waarbij monsters zijn verzameld tijdens het tussentijds oogsten van twee MZI-locaties. Met de introductie van MZIs (en hangcultures) in de pelagische lagen van de waterkolom is er behoefte beter inzicht te krijgen in de groeirespons van mosselen in de deze waterlaag, en meer

specifiek voor de groeiverschillen tussen mosselen gekweekt in MZIs (pelagisch) en op bodempercelen (bentisch). Dit mogelijke verschil in groeirespons is getest in een experimentele proef waarbij MZI-mosselen afkomstig uit één populatie en met eenzelfde schelpenlengte bij aanvang van de proef, op de bodem dan wel in de pelagische waterkolom gehouden werden.

Effecten van MZI's op draagkracht verlopen via de opname van voedsel door de MZI-mosselen en de terug levering van opgeloste voedingsstoffen aan de waterkolom. Dit gebeurt door directe excretie van ammonia, maar ook via de afbraak van feces en pseudofeces waarbij ook onder andere fosfaat en ammonia vrijkomt. De filtratieactiviteit van jonge mosselen is relatief hoog ten opzichte van grotere mosselen, maar is slecht gedocumenteerd. Het inschatten van deze activiteit, en van de snelheid van terug levering van nutriënten, is van groot belang bij het bepalen van de effecten van MZI's op de voedselvoorraad. In 2011 is een methodiek met pelagische graaskamers ontwikkeld (parallel aan Jansen, 2008), om de filtratie- en excretieactiviteit van mosselen te bepalen. In 2012 zijn de metingen voortgezet. Touwen of delen van netten met mosselen worden in de graaskamers geplaatst. De graaskamers zijn afgesloten, het water wordt in beweging gehouden, en er vindt gedurende enkele uren incubatie plaats. Aan de hand van de afname in zuurstofgehalte wordt het einde van de incubatie bepaald. Tussentijds zijn watermonsters afgetapt voor analyse van nutriëntenconcentraties. Omdat het ook nodig is te weten hoeveel mosselen aanwezig zijn is na afloop van elk experiment de biomassa aan de touwen bepaald.

Op basis van literatuurstudie en overleg is in 2010 een methode ontwikkeld voor het bepalen van de effecten van mosselgraas op de respons door het fytoplankton. In hoeverre leidt filtratie, retentie en nutriënten regeneratie tot veranderingen in de fytoplankton turnover en samenstelling van de levensgemeenschap. De methode is in 2010 de praktijk uitgetest en in 2011 en 2012 voortgezet. Daartoe zijn in het veld, in een kleine MZI-installatie touwen opgehangen waaraan mosselen zich kunnen hechten. Van tijd tot tijd zijn deze touwen in een graaskamer geplaatst met natuurlijk zeewater (Waddenzee, Oosterschelde). Op microschaal is d.m.v. "exposure" experimenten de invloed van mosselen op het plankton gemeten (lengteverdeling, totaal gewicht), de activiteit van de mosselen gemeten (hoeveelheden algen per tijdseenheid) en de selectiviteit van de graas gemeten. Door veranderingen in nutriënten en licht en door veranderingen in zoöplanktongraas zal de fytoplanktonsoortensamenstelling gaan veranderen. Van belang is de vraag of onder andere de stofstromen in het voedselweb bepaald gaan worden door het "microbial foodweb": de activiteit van kleine, niet door mosselen eetbare organismen. Voor dit onderzoek zijn exposure experimenten van 10 dagen met touwen met mosselzaad in (Wadden-, Oosterschelde-) zeewater uitgevoerd.

2.4.4. Primaire productie

In het kader van dit project is in het westelijk deel van de Oosterschelde een extra bemonsteringspunt toegevoegd aan het reguliere monitoringsproject van het NIOZ, OS10, gelegen nabij Schelphoek in de vaargeul ten noorden van de Roggeplaat. Dit leek niet onverstandig omdat er anders maar 1 bemonsteringslocatie in het westelijk deel van de Oosterschelde lag. Echter, zoals te zien is in Fig. 2.5, vallen de schattingen van de jaarproducties van OS1 en OS10 nagenoeg samen, hetgeen lijkt te suggereren dat de veranderingen in het westelijk deel van de Oosterschelde zoals blijkt uit analyse van data van OS1 een goed representatief beeld geven. Zoals in Fig. 2.6 is af te lezen loopt de primaire productie in alle gebieden van de Oosterschelde terug. De snelheid van de afname lijkt de laatste jaren niet zo groot, en in sommige gevallen lijkt stabilisatie op te treden. De afname in primaire productie lijkt niet te worden veroorzaakt door een afname in de gemeten nutriëntenconcentraties. Een afname in stikstof lijkt niet van invloed vanwege de hoge turnoversnelheden, en de concentraties lijken niet laag genoeg te worden om de primaire productie te limiteren (Fig. 2.7). Fosfaatconcentraties zijn weliswaar laag, maar te hoog om limiterend te zijn (Fig. 2.7). Een synchronisatie per seizoen tussen silicaat en fytoplanktonbiomassa lijkt erop te wijzen dat silicaat de limiterende factor is. Er is geen lange termijn

afname in silicaat (Fig. 2.7). Ook kan afname in primaire productie niet worden verklaard door een toename in de troebelheid van het water. Er zijn geen lange termijntrends zichtbaar in het doorzicht. De gemiddelde chlorofyl a concentraties lijken vooral in de vorige eeuw af te nemen voor stations OS2, OS5, en OS8 (Fig. 2.8). De grootste afname vond plaats tussen 1990 en 2000. Tussen 2000 en 2006 zijn er te weinig data. Volgens de modelresultaten duurt de afname echter voort.

De verhouding tussen primaire productie en algenbiomassa (P:B-ratio) is hoger in de Noordelijke Tak (OS5) en Kom (OS8) van de Oosterschelde (Fig. 2.9). Dit is waarschijnlijk vooral het gevolg van het feit dat het water helderder is en de waterkolom ondieper waardoor de hele waterkolom licht ontvangt. Hierdoor is overdag op veel plaatsen in het onderste deel van de waterkolom ook nog een klein beetje productie, terwijl in het onderste deel van de waterkolom in de diepere delen van de Oosterschelde de respiratie overheerst en er dus verliezen aan C optreden omdat het daar ook overdag donker is. Begrazing door filterfeeders (vnl schelpdieren als mosselen, kokkels, Japanse oesters en Ensis) kan de primaire productie stimuleren, waardoor een toename in de P:B-ratio verwacht kan worden. Bij overbegrazing neemt de stimulatie niet af, maar wordt er relatief veel algenbiomassa weggevangen. De P:B-ratio zal dan waarschijnlijk niet veranderen. Er is geen toename in de P:B-ratio waar te nemen (Fig. 2.9). Dit lijkt er op te wijzen dat de productie niet extra wordt gestimuleerd door de door graas gestimuleerde nutriënten recycling. De P:B-ratio waarden wijzen erop dat in de zomer het fytoplankton snel groeit, waardoor extra nutriënten de primaire productie niet meer zullen stimuleren. De afname in de primaire productie (Fig. 2.6) lijkt daarom ook vooral het gevolg van overbegrazing.

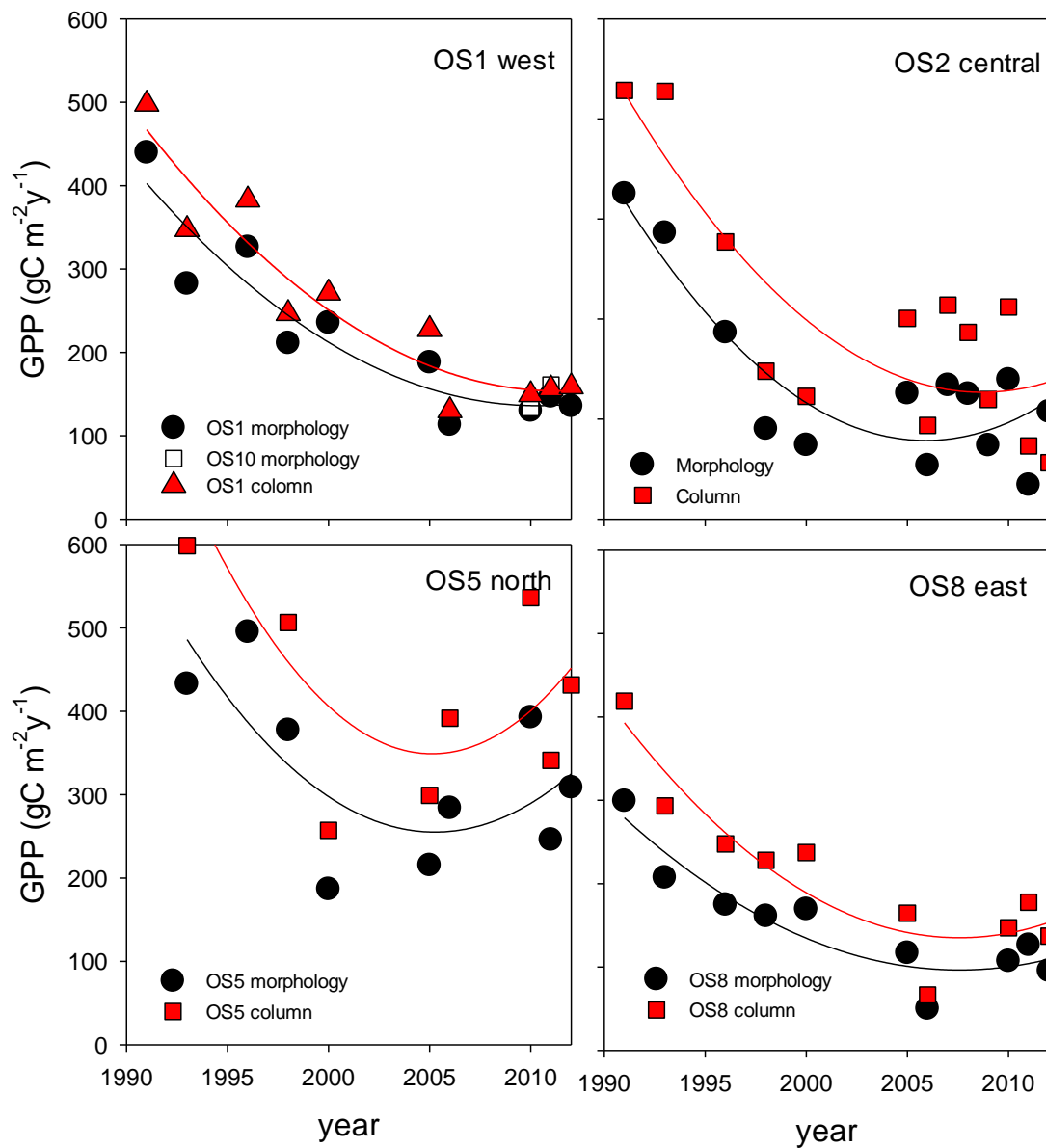


Fig. 2.6. Primaire productie ($\text{gC m}^{-2}\text{jr}^{-1}$) in de verschillende regio's in de Oosterschelde. Hierbij is de primaire productie op 2 manieren berekend: 1), rekening houdend met de morfologie van de verschillende deelgebieden in de Oosterschelde ("morphology"), en 2), alleen rekening houdend met de gemiddelde diepte van de deelgebieden ("column").

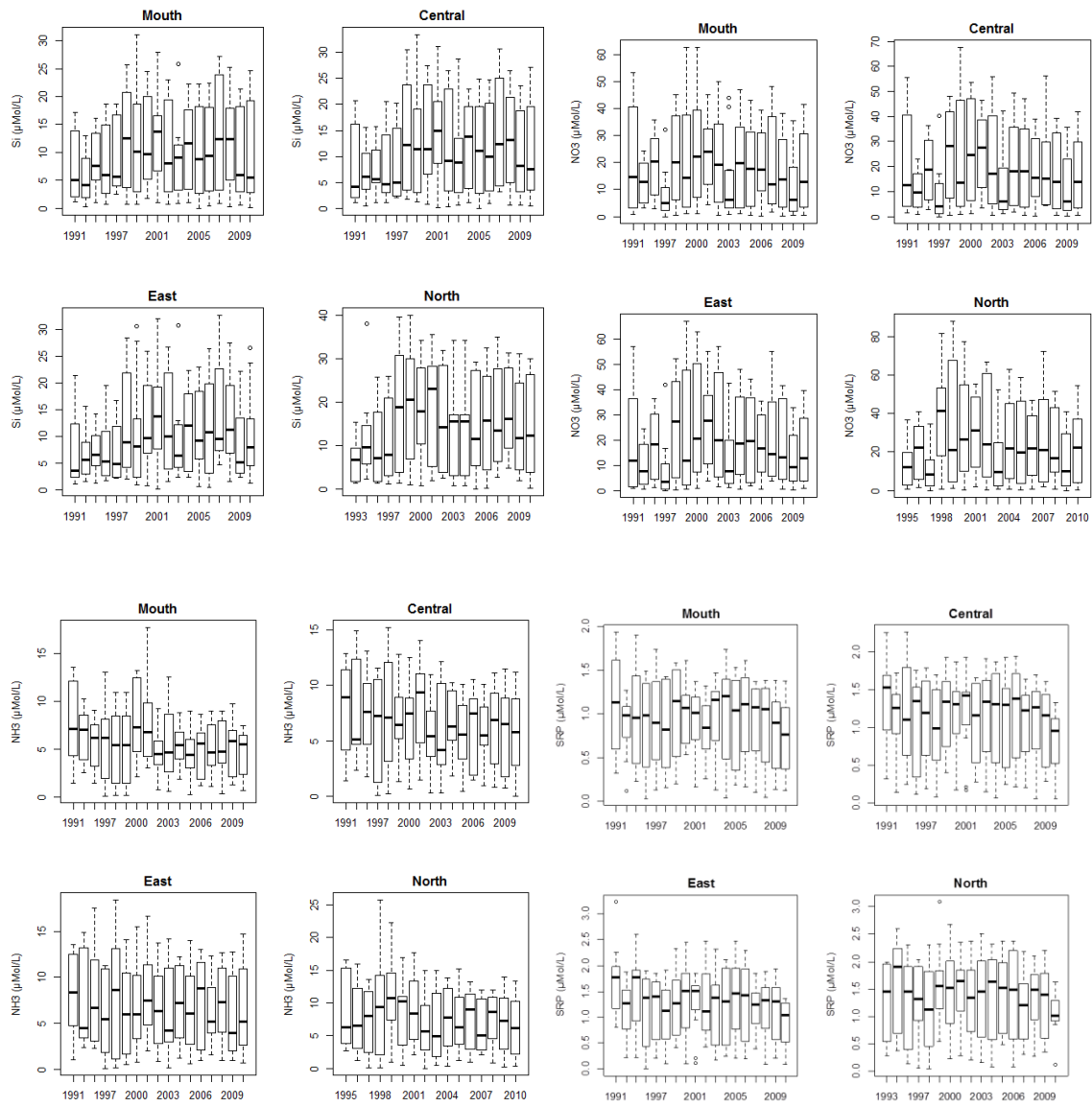


Fig. 2.7. Jaargemiddelde silicaat, nitraat, ammonium en fosfaat concentraties in de periode 1991-2010 op de verschillende stations in de Oosterschelde (Malkin et al, in prep).

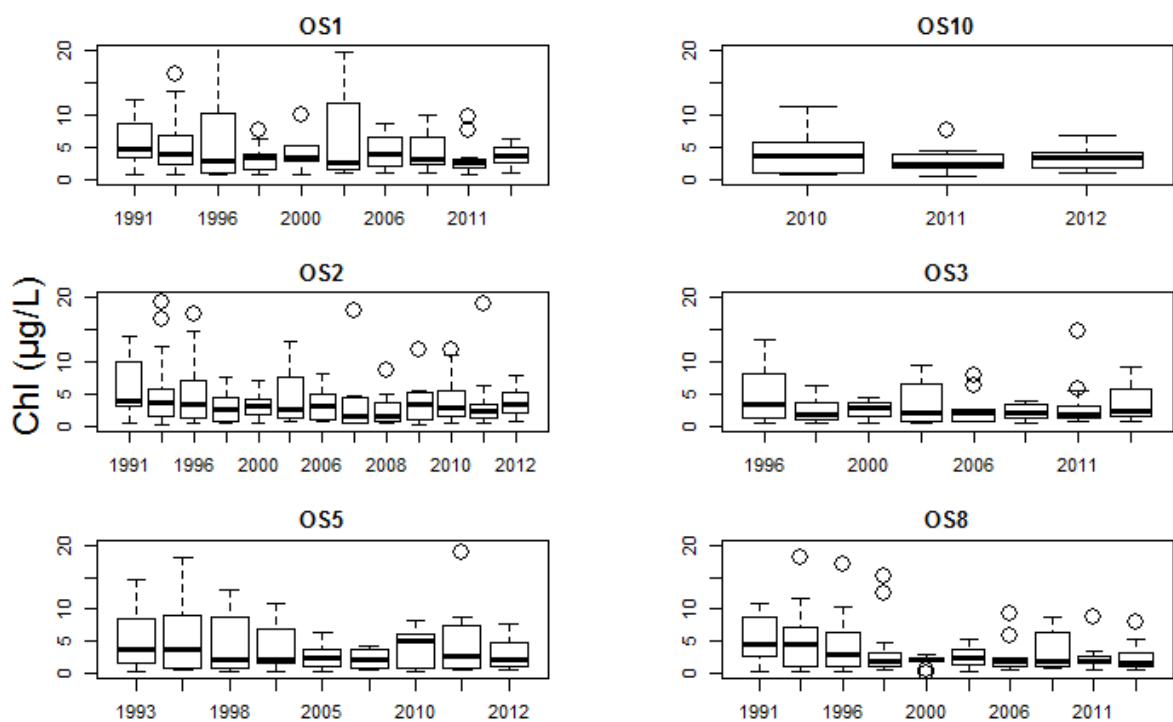


Fig. 2.8. Jaargemiddelde chlorofyl a concentraties in de periode 1991-2012 op de verschillende stations in de Oosterschelde.

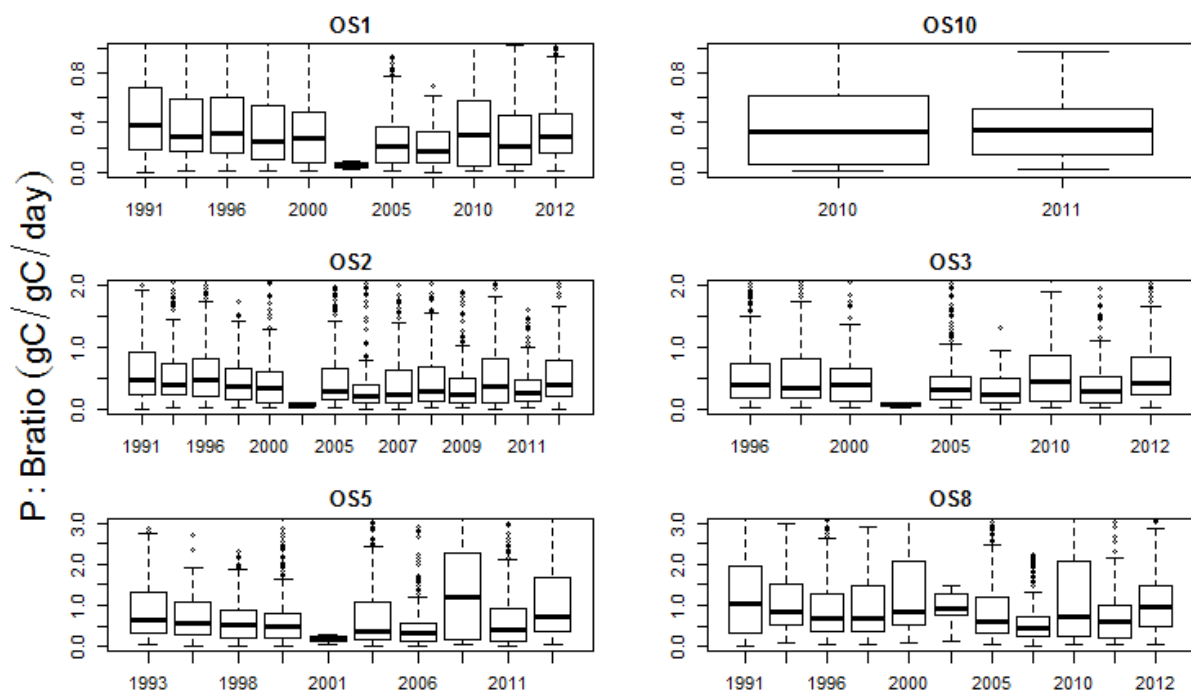


Fig. 2.9. C-gebaseerde P:B-ratios. De lage waarden in 2001 worden veroorzaakt doordat die alleen waarden in januari bevat. Deze waarden dienen dus genegeerd te worden.

Primaire productie in de Waddenzee was in april van 2011 en 2012 vergelijkbaar aan de NIOZ steiger en in het Marsdiep, maar in mei tot september werden aan de NIOZ steiger lagere waarden gemeten (Fig. 2.10a en b). Dit is voor een belangrijk deel toe te schrijven aan het feit dat het water nabij de NIOZ steiger veel troebeler is dan in het centrum van het Marsdiep. Gelet op het geïsoleerde karakter van de watermassa's rond de Jetty kan gesteld worden dat de MZI-metingen representatiever zijn voor de westelijke Waddenzee dan de NIOZ steiger metingen. In 2013 is de primaire productie gemeten op een tweede iets westelijker gelegen locatie in het Marsdiep in plaats van bij de Jetty. De fluctuaties in de tijd waren vanaf eind mei groter op deze locatie dan op de eerste locatie (Fig. 2.10c). De jaarlijkse primaire productie in het Marsdiep was $170 \text{ g C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ in 2011, $189 \text{ g C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ voor 2012 en $195 \text{ g C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ voor 2013. Bij de NIOZ steiger was dit lager, $119 \text{ g C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ voor 2011 en $116 \text{ g C m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$ voor 2012 (niet gemeten in 2013). De algenbiomassa op de MZI-locatie was in 2011 lager dan in 2012 en 2013 (Fig. 2.10d). De algenbiomassa bij de NIOZ steiger in 2010-2012 is lager dan in 1992 (Fig. 2.10e).

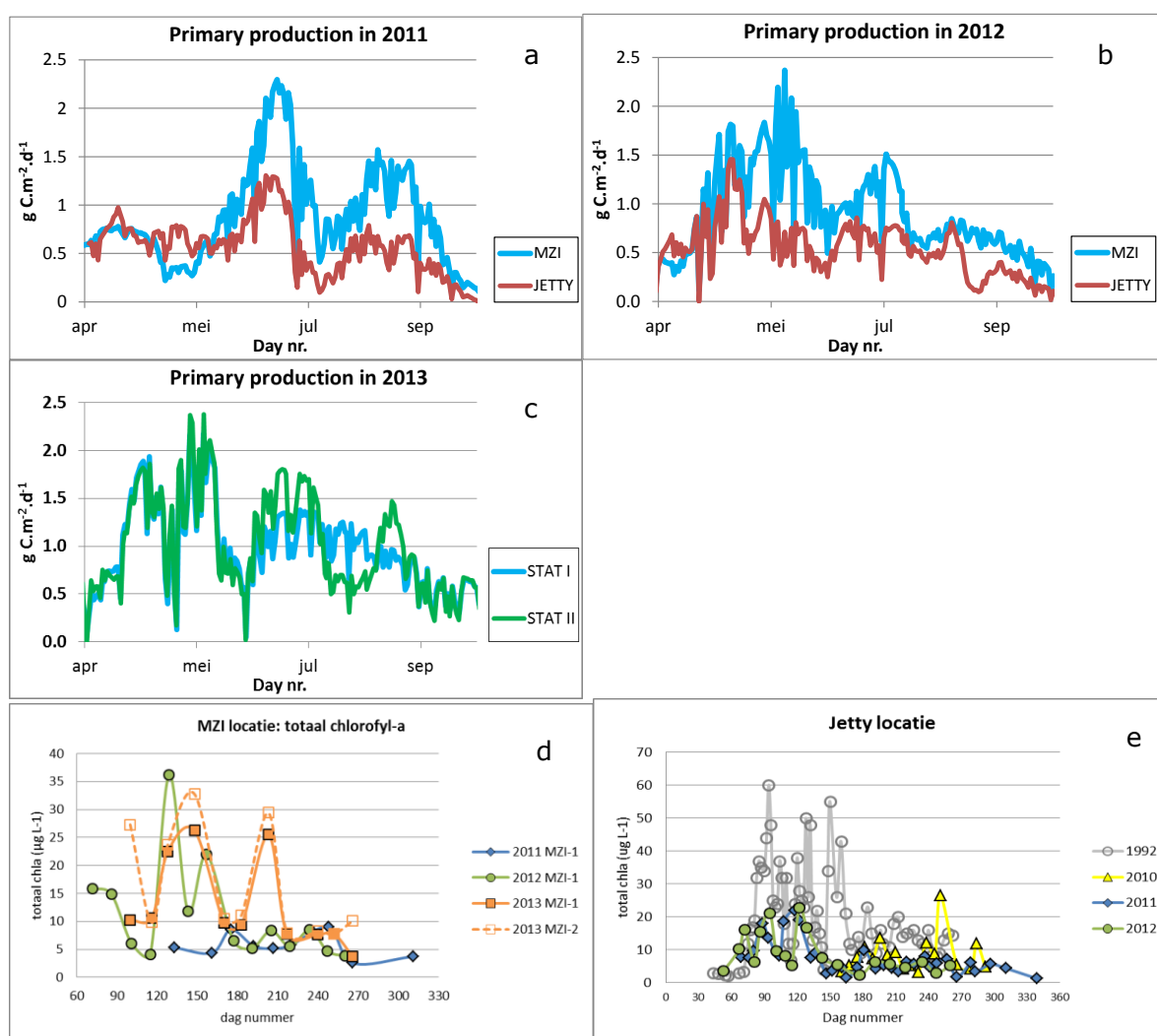


Fig. 2.10. De primaire productie (a,b&c) en algenbiomassa (d&e, chlorofyl a) gemeten aan de NIOZ steiger (JETTY) in 1992, 2010, 2011, 2012 en in het Marsdiep (MZI) in 2011, 2012 en 2013.

De metingen aan de primaire productie zijn gebruikt in de modelberekeningen.

2.4.5. Bestand *Ensis* in de Oosterschelde

De *Ensis* biomassa in de Oosterschelde bedroeg ten tijde van de bemonstering in 2012 ruim 2.2×10^6 kg versgewicht. De hoogste *Ensis* biomassa, 1.3×10^6 kg versgewicht, is aangetroffen in het Middengebied van de Oosterschelde. Hier bestond 17% van het totale bestand aan schelpdieren uit *Ensis*. De laagste *Ensis* biomassa, 0.02×10^6 kg versgewicht, is aangetroffen in de Noordtak van de Oosterschelde. Hier bestond 1% van het totale schelpdierbestand uit *Ensis*. Op één uitzondering na lag de aangetroffen dichtheid lag altijd onder de 25 per m^2 . Ter vergelijking: in de kustzone van de Noordzee worden dichtheden tot >100 per m^2 aangetroffen (Goudswaard et al., 2012). De bemonstering tijdens deze survey is uitgevoerd met de bodemschaaf. Mogelijk wordt het bestand enigszins onderschat omdat de efficiëntie van de bodemschaaf niet altijd 100% is (Craeymeersch et al. 2007). De boxcorer kan dieper bemonsteren dan de bodemschaaf en vangt daardoor meer individuen, maar het bemonsterde oppervlak is veel kleiner ($< 0,1 m^2$) dan dat van de bodemschaaf ($15 m^2$). Toch is er voor gekozen om de bemonstering uit te voeren met de bodemschaaf vanwege de grotere tijd efficiëntie, vanwege de vergelijkbaarheid met *Ensis* bestandsopnames in de kustzone en Waddenzee, en omdat deze een groter oppervlak bemonstert waardoor er een meer geïntegreerd beeld ontstaat voor de gehele Oosterschelde. De bepaling van het bestand aan *Ensis* in de Oosterschelde is gebruikt in de modelberekeningen.

2.4.6. Ontwikkeling van mosselaantal en -massa aan MZI-netten

In 2009 is een methode ontwikkeld en getest die tot doel had om de biomassa aan MZI-systemen te volgen middels treksterktebepalingen. Deze methode is in 2010 verder getest en geijkt aan de meer traditionele methode van monsternamen: het verzamelen van mosselen van een bekend oppervlak net / bekende lengte touw om deze in het laboratorium te tellen, meten en wegen. De resultaten van beide methoden kwamen goed overeen, maar terwijl de treksterktemethode praktisch moeilijker uitvoerbaar was leverde de methode van mosselmonsters nemen meer informatie op. Aanvullend is in 2010 een onderwatercamera gebruikt om een inschatting te maken van de homogeniteit van bedekking door de mosselen op MZI-netten en touwen. Dit leverde een kwalitatief beeld op, maar de resultaten waren niet geschikt om een kwantitatieve omrekening te maken van monsteroppervlak naar het oppervlak van een geheel net (of touw). In 2011 is ervoor gekozen om alleen gebruik te maken van de methode van mosselmonsters nemen.

De biomassa aan mosselzaad nam gedurende het zomerseizoen in 2010 in de Oosterschelde toe tot zo'n 15 - 27 kg versgewicht per m^2 net en 4 kg per m touw (Fig. 2.11). In de Waddenzee werd gemiddeld 4,5 kg per meter touw gemeten. In 2011 werd op de netten in de Oosterschelde maximaal 16-22 kg per m^2 net aangetroffen en 3 kg per meter touw. In de Waddenzee werd op de touwen tot 8 kg per m en op de netten tot 27 kg per m^2 gemeten. De schattingen van biomassaontwikkeling uit de mosselmonsters stemmen overeen met schattingen uit de oogstgegevens (Fig. 2.11). In 2010 was de oogst op de netten bij de Afsluitdijk laag door aangroei van pokken. De oogst in 2011 bij de Roggenplaat was laag in verband met zeesterrenvraat. Hoewel in de huidige dataset aanwas, groei en sterfte niet goed van elkaar te isoleren zijn, geeft het aantalsverloop van zaad in de kleinste klasse ($< 1,5$ mm) een beeld van de aanwas. De grootste hoeveelheden klein zaad werden in de Oosterschelde aangetroffen rond week 26 2010 en rond week 25 in 2011. Het verloop van zaaddichtheden in de grote klasse ($> 1,5$ mm) zou een beeld van de sterfte kunnen geven, ware het niet dat voortdurende aanwas vanuit de kleine klasse naar de grote klasse plaatsvond. Om een inschatting van sterfte te kunnen maken is in 2012 een cohortanalyse uitgevoerd. De metingen geven aan dat broedval van het mosselzaad in de periode dat MZI-zaad wordt ingevangen continue is en dat hierin geen separate periodes te onderscheiden zijn, óf dat de individuele groei van mosselbroed zoveel variatie vertoont dat dit de initiële leeftijdsgroepen uitvlakt waardoor deze niet meer als zodanig te onderscheiden zijn. De huidige model aanpak gebaseerd op één cohort MZI-mosselen per jaar lijkt dan ook correct. Betrouwbare sterfte schatting van de MZI-mosselen is nog steeds een onbekende factor, en de netto aanwas (broedval minus sterfte) zal door validatie en kalibratie van de huidige modellen tot stand moeten komen.

In 2011 zijn grote hoeveelheden zeesterren op de MZI's gesignaleerd. Omdat enig inzicht in de mate van zeesterpredatie op MZI's van belang lijkt voor het inschatten van ecologische effecten van MZI's en voor de inschatting van de productie van mosselzaad aan MZI's, is middels een enquête informatie verzameld bij de MZI-ondernemers. De MZI's van de ondernemers die de enquête hebben ingevuld zijn geïnstalleerd in de weken 10 tot en met 19. De onderzochte periode bestrijkt daarmee 9 weken, dus ruim twee maanden. Het moment van uithangen had geen effect op de hoeveelheid zeesterren die zijn aangetroffen op de touwen en netten. Dit kan twee oorzaken hebben. Zo kan er in de gehele periode broedval van zeesterren zijn opgetreden. Het is echter ook mogelijk dat de gemelde aantallen zeesterren niet overeenkomen met maximale opgetreden aantallen. De aanwezigheid van zeesterren zal pas opvallen zodra de zeesterren een bepaalde grootte bereiken, van één tot enkele centimeters, bij een bepaalde dichtheid. Zodra het voedsel, de zaadmosselen, opraakt zullen de zeesterren weer verdwijnen. Het moment waarop de kweker zijn MZI-systeem bezoekt kan dus bepalend zijn voor het aantal zeesterren dat hij daadwerkelijk aantreft. Uit de enquête kwamen geen duidelijke verschillen naar voren tussen systemen (Easyfarm, Emergo Folding Longlines, Imoth, Longlines, en Vloten/netten).

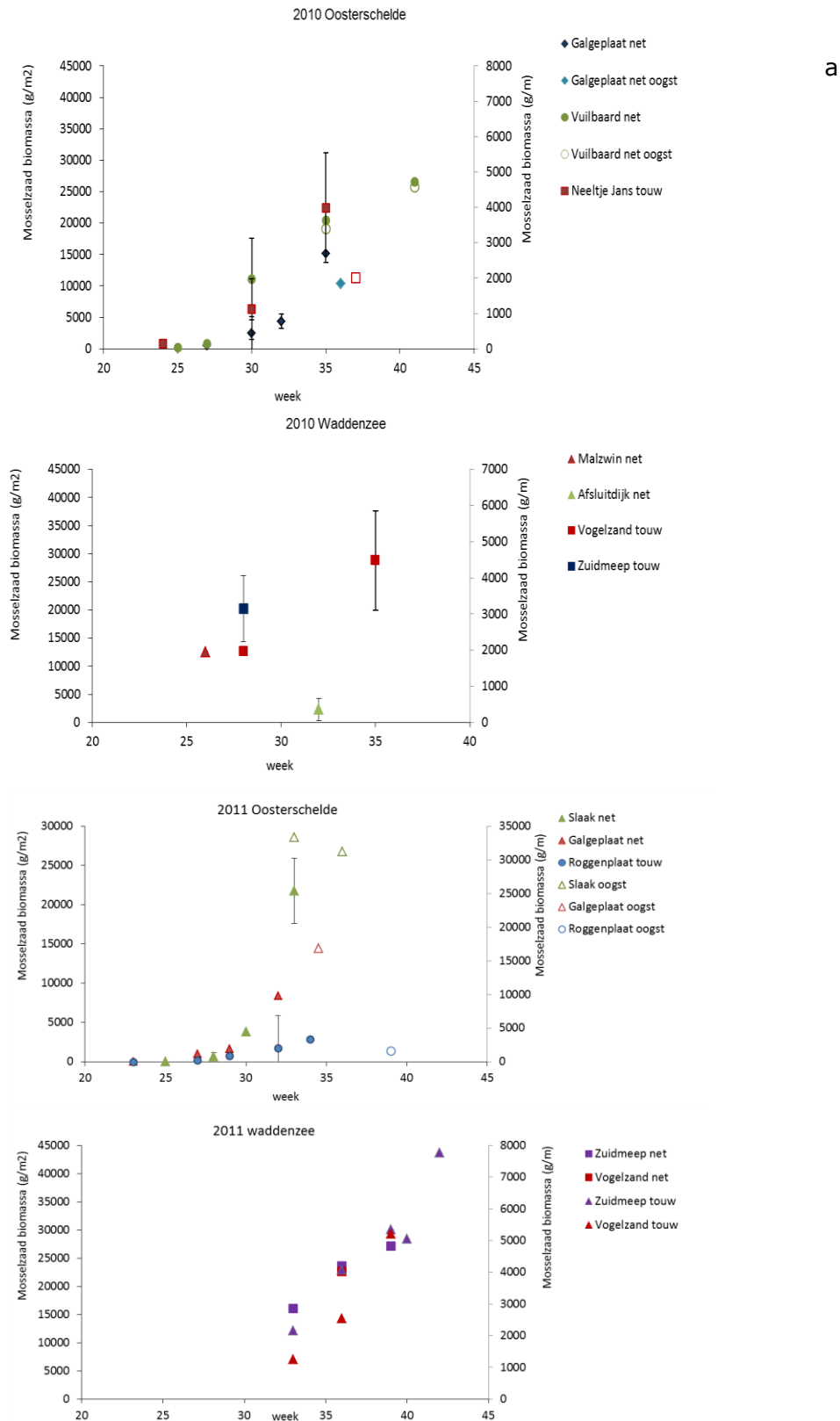


Fig. 2.11. Biomassaontwikkeling van mosselzaad > 1,5 mm per MZI-systeem in Oosterschelde en Waddenzee in (a) 2010 en (b) 2011 uitgedrukt in g/m^2 voor de netten (linker y-as) en in g/m voor de touwen (rechter y-as). Gemiddelden met standaarddeviaties zijn gegeven. Oogstgegevens, omgerekend naar g/m^2 en g/m , zijn aangegeven als open symbolen voor de Oosterschelde.

De metingen aan biomassa en lengteverdelingen van de mosselen die achterblijven op het net na tussentijds oogsten -ook wel afborstelen genoemd- lieten zien dat de dichtheid op de netten met 50-70% afnam als gevolg van het tussentijds oogsten. De gemiddelde schelp lengte was ongeveer 20% kleiner (Fig. 2.12).

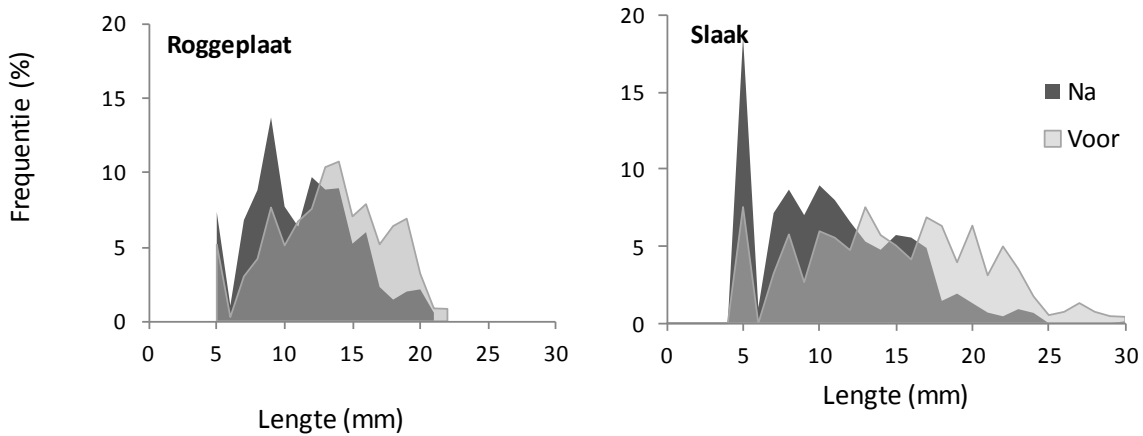


Fig. 2.12. Relatieve lengte-frequentie verdelingen van de mosselen vóór en ná het commercieel afborstelen van MZI-netten. De fractie weergegeven voor 5 mm geeft in werkelijkheid de som van individuen van 1 t/m 5 mm weer.

Resultaten van de experimentele proef waarbij mosselen op de bodem dan wel in de pelagische waterkolom zijn gehouden laten zien dat het gewicht van mosselen in de waterkolom ongeveer 10% hoger is aan het eind van de groeiperiode dan op de bodem (Fig. 2.13). De voedselcondities lijken een tegengesteld beeld te laten zien aangezien zowel de zwevend stof als de chlorofyl a concentraties hoger waren voor de watermonsters genomen net boven de bodem. Echter, de kwaliteit van het voedsel leek hoger voor de pelagische waterlaag (Fig. 2.14). Dit sluit aan bij observaties van Smaal & Haas (1997). De ontwikkeling van mosselaantal en -massa aan MZI-netten is gebruikt in de modellen.

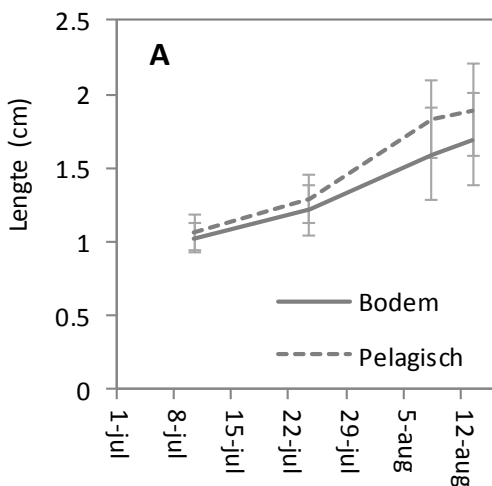


Fig. 2.13. Ontwikkeling in lengte (cm) van mosselen uit experiment op de locatie Galgeplaat.

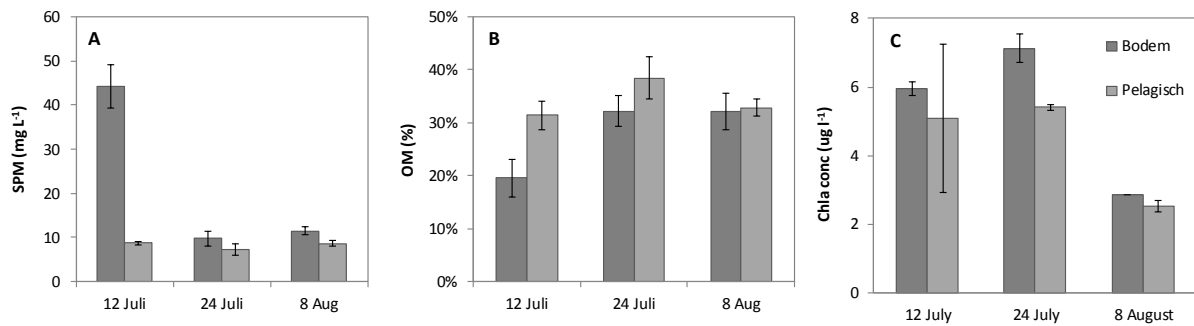
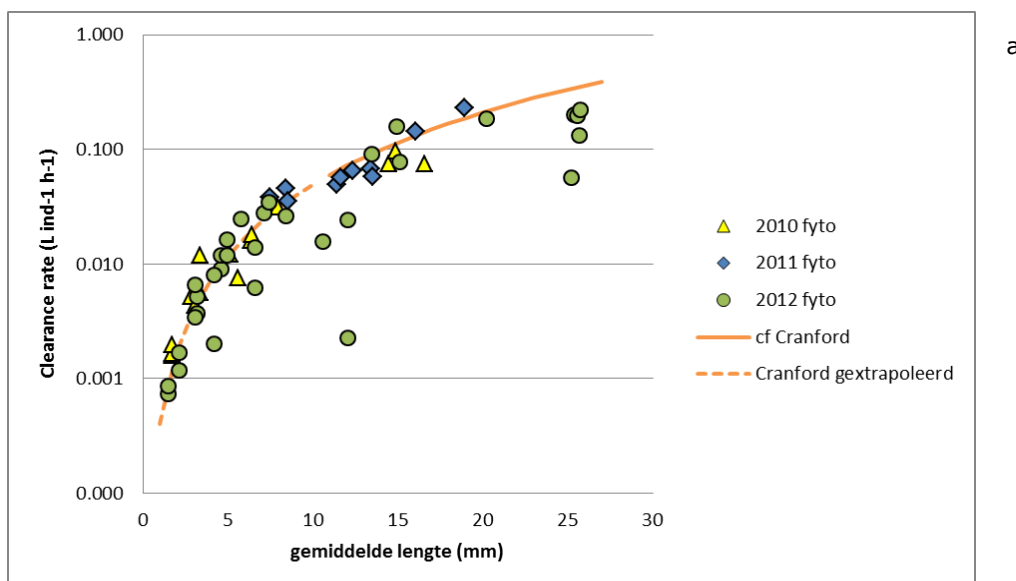


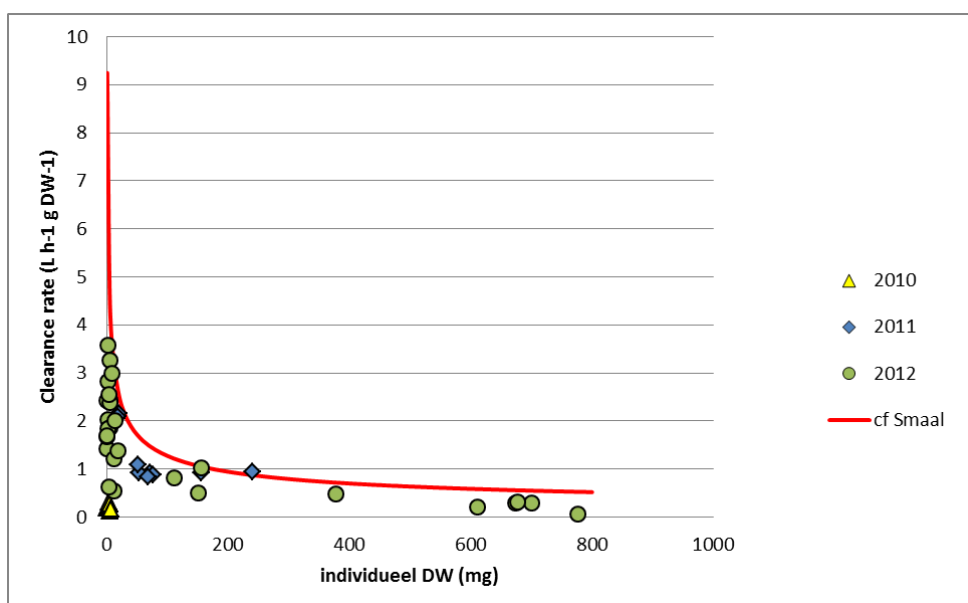
Fig. 2.14. Voedselcondities net boven de bodem en in pelagische water column (gemiddelde \pm sd) op de locatie Galgeplaat in 2012. A: Zwevend stof (SPM), B: Organisch materiaal (%OM), C: Chlorofyl a concentraties (Chl a).

2.4.7. Filtratieactiviteit MZI-mosselen en feed-backmechanismen

De filtratiesnelheid van MZI-mosselen werd gedurende het groeiseizoen (van juni tot november) gemeten door sub-monsters van de touwen, bezet met mosselzaad, te incuberen in 100-liter vaten. Filtratiesnelheid neemt toe met de schelpenlengte van de mosselen en volgt daarbij de relatie zoals die voor grotere mosselen is beschreven door Cranford et al (2011) (Fig. 2.15a). De gewicht-specifieke filtratiesnelheid neemt af met een toename van het individueel as vrij drooggewicht (Fig. 2.14b). Meestal wordt de filtratiesnelheid beschreven in relatie tot de biomassa en niet in relatie tot de lengte. Onder anderen Smaal et al (1997) geven een dergelijk verband met de biomassa. De metingen volgen de geïnterpoleerde relatie van Smaal et al (1997), maar liggen wel op een iets ander niveau (Fig. 2.15b). Dit is mogelijk een gevolg van de methode. Smaal et al (1997) deed metingen aan individuele mosselen, terwijl hier metingen zijn gedaan met touwen waar meerdere mosselen aan zaten. Smaal et al (1997) bepaalden het gewicht van het vlees, terwijl in de huidige studie het gewicht van de MZI-mosselen inclusief schelp is bepaald. Hiervoor is gecorrigeerd.



a



b

Fig. 2.15. De filtratiesnelheid (clearance rate) van mosselzaad gekweekt in het Marsdiep, afhankelijk van de gemiddelde lengte (a) en van het individuele drooggewicht (b). Oranje lijn: relatie conform Cranford ea. (2011), oranje stippellijn: geschatte waarden conform Cranford e.a. (2011), rode lijn: relatie conform Smaal ea (1997) met correctie voor verschil in gewichtsbepaling. NB: in (a) staat filtratiesnelheid in l/h/ind, en in (b) staat filtratiesnelheid per gram drooggewicht. Jacobs et al in prep.

Het effect van mosselzaad op de soortensamenstelling en biomassa van plankton is bestudeerd met incubaties in graaskamers in 2010 en 2011. Het gecombineerde effect van 6 uur begrazing gevolgd door 10 dagen herstel is dat het water helderder wordt onder invloed van mosselzaad (Fig. 2.16). Ongeacht de aanwezigheid van begrazing neemt de algenbiomassa van de grotere algen toe. In de met mosselen behandelde bakken is er ook een bloei van kleinere algen ontstaan. Dit stimulerende effect van mosselzaad op algen kleiner dan $3\mu\text{m}$ kan het gevolg zijn van de mosselpredatie op microzoöplankton. Door eliminatie van hun predatoren krijgen de kleinere algen een kans om hun biomassa te vergroten.

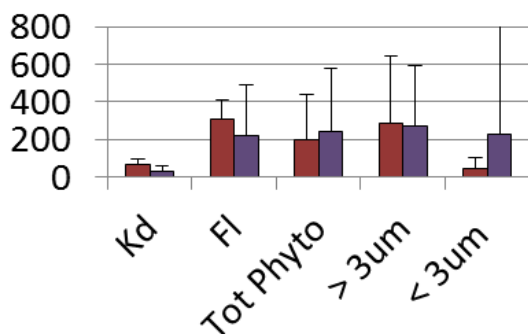


Fig. 2.16. Veranderingen in de uitdovingscoëfficiënt uitgedrukt in % van beginwaarde (Kd), de fluorescentie (FI), en de algen (Tot Phyto), kleine algen (< 3 μm) en grote algen (>3 μm). In de controlebakken is geen mosselzaad geweest (roodbruin), in de mosselbakken (paars) wel. Jacobs et al in prep.

Er is onderzocht in hoeverre de begrazingsnelheid op de kleine algen (<3.0 μm) gelijk was aan die van grote algen (Fig. 2.17). Uit eerdere studies (Cranford et al 2011) komt dat algen groter dan 2.5-3.5 μm efficiënt uit het water worden gehaald door mosselen. Uit de experimenten in deze studie blijkt, voor ieder jaar afzonderlijk, dat filtratie efficiëntie van MZI-mosselen voor de kleine algen ongeveer de helft is van de filtratie efficiëntie voor grote algen.

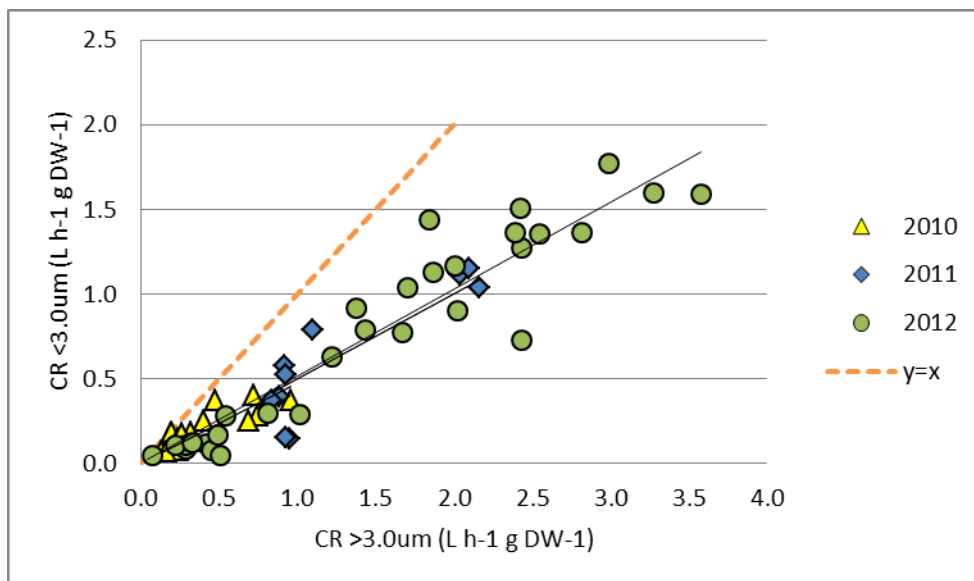


Fig. 2.17. Filtratiesnelheid (CR), uitgedrukt als L h-1 g DW. Uitgezet is de filtratiesnelheid voor algen <3.0 μm tegen de filtratiesnelheid op algen >3.0 μm , voor drie jaren. In de grafiek staat ook $y=x$. Jacobs et al, in prep.

De afgifte van nutriënten door MZI-mosselen is bepaald met incubaties in graaskamers. De gebruikte graaskamers waren drijvende bakken van 86 L (rechter figuur in Fig. 2.18). Hiermee kan onder veldomstandigheden worden gemeten wat een intact stuk MZI opneemt of uitstoot. De MZI-touwen voor de metingen waren afkomstig van de MZI bij de Galgeplaat. Daarbij neemt de biomassa aan MZI-mosselen toe in de tijd. Meer mosselen produceren meer anorganische nutriënten (Fig. 2.18). Stikstof is het belangrijkste nutriënt, maar uitgaande van de redfield ratio N/P = 16/1 is voor ecologische processen P het belangrijkste vrijkomende nutriënt. Echter welk nutriënt op enig moment van het grootste belang is wordt ook bepaald door de heersende nutriëntenconcentraties en daarmee welk nutriënt op dat moment beperkend is. Door de nutriëntenregeneratiesnelheden die met deze studie zijn bepaald in de draagkrachtmodellen te gebruiken kan het directe bemestingseffect van MZI's worden gekwantificeerd.

De metingen aan filtratieactiviteit van MZI-mosselen en feed-backmechanismen zijn gebruikt in de modellen.

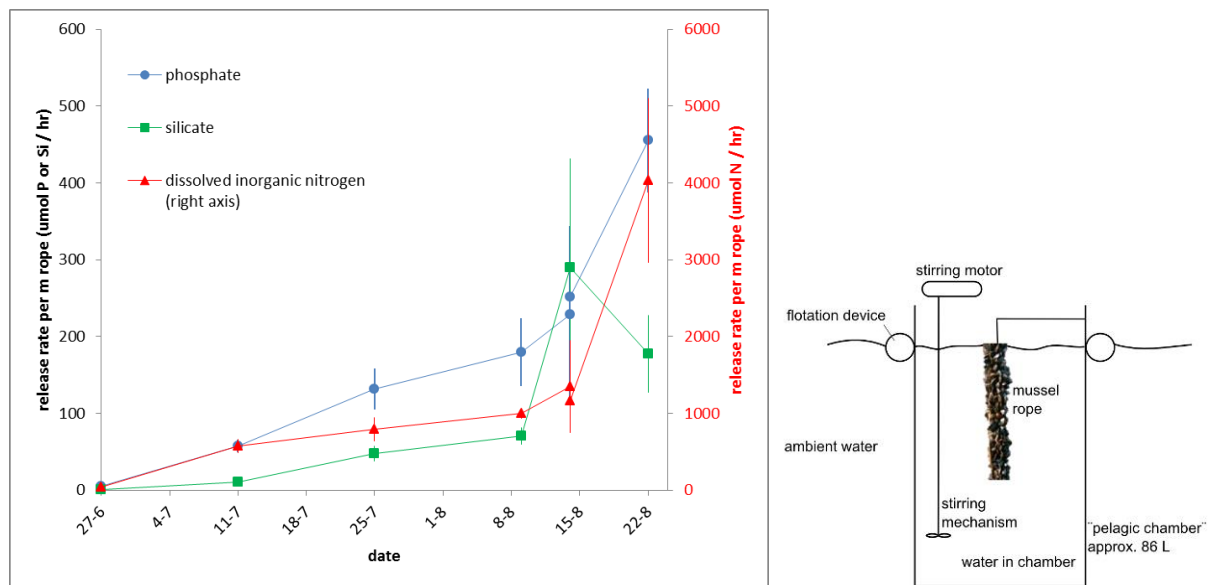


Fig. 2.18. Nutriëntenregeneratiesnelheden gemeten in op verschillende tijdstippen de graaskamers. Let op de weergave van opgelost anorganisch stikstof op de rechter-as, waarvan de schaal verschilt van de linker-as (van Broekhoven et al, 2014).

2.5. Modelberekeningen

Gebaseerd op :

Brinkman A.G. (2013) Modelling the effects of mussel seed collectors on the Wadden Sea ecosystem. IMARES Rapport C061/13.

Herman P.M.J. (2012) The effect of partial spatial isolation between mussels and their algal food on carrying capacity. NIOZ-Yerseke report.

Troost TA (2013) Draagkracht voor MZI's in de Oosterschelde. Deltares rapport.

2.5.1. *Onderzoeksvraag*

Heeft een opschaling van de MZI-oogst tot 40 miljoen kg effect op de primaire productie en de productie van filtrerende schelpdieren, in de Oosterschelde en de Waddenzee?

2.5.2. *Toelichting*

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden wordt gewerkt met bestaande modellen: Ecowasp voor de Waddenzee en het Deltakennis-model voor de Oosterschelde. De modellen bevatten o.a. de volgende componenten: nutriënten, algen, filtrerende dieren en (Ecowasp) zoöplankton (Fig. 2.19a). Zoöplankton, en andere grazers zijn voorlopig nog niet expliciet meegenomen binnen het Deltakennis-model, maar door de wijze van kalibratie wordt er impliciet wel rekening gehouden met de effecten. Het modelsysteem van het Deltakennis-model is gekalibreerd op veldmetingen die door deze grazers worden beïnvloed. Nutriënten en licht bepalen de algengroeisnelheid (primaire productie). Daarnaast is er import van algen, uit de Noordzee-kustzone. De door schelpdieren eetbare fractie van de algen (groter dan 3 µm) bepaalt de toename in biomassa aan filtrerende schelpdieren. Door deze selectieve begrazing kunnen kleine (voor schelpdieren oneetbare) algen gaan domineren. Dit wordt versterkt doordat mosselen ook zoöplankton eten dat juist graast op dit kleinere picoplankton. Hierdoor zal de graasdruk op de kleine algen afnemen bij toenemende mosselhoeveelheid. Een tweede feedback-mechanisme is de versnelde turnovertijd van de nutriënten door de grazers kan de primaire productie verhogen. De voornaamste grazers in de Waddenzee en Oosterschelde zijn MZI-mosselen, mosselen op percelen, mosselen op wilde banken, Japanse oesters, zwaardschedes (*Ensis*), kokkels, nonnetjes en strandgapers. Predatie en oogst voor consumptie zijn de belangrijkste oorzaken voor verlies aan filtrerende bodemdieren. Een derde mechanisme is overbegrazing als door hoge graasactiviteiten de algenbiomassa lager wordt en er daardoor minder algen zijn die voor primaire productie kunnen zorgen.

Aan het begin van het project zijn bij de modelopzet een groot aantal aannames gedaan (Fig. 2.19b). Er waren op dat moment geen goede gegevens van de bestanden aan Japanse oesters en zwaardschedes. Het was onbekend hoeveel MZI-mosselen filteren en wat de mate en het effect is van de terug levering van nutriënten. Er werd geen onderscheid gemaakt tussen grote en kleine algen. Ook waren er geen goede primaire-productiedata van de (westelijke) Waddenzee; de bestaande NIOZ-metingen vinden alleen plaats vanaf de NIOZ steiger in het Marsdiep en zijn daardoor voor het onderhavige doel mogelijk onvoldoende. Gegevens over primaire productie en filtratie van MZI-mosselen zijn verkregen via metingen die zijn uitgevoerd binnen taak 1.3. Bestandsschattingen en bepaling van de filtreercapaciteit van andere schelpdieren dan mosselen (vooral: oesters en zwaardschedes), en primaire productiedata voor de Oosterschelde, zijn zoveel mogelijk gehaald uit andere onderzoeksprogramma's, zoals het ZKO, PRODUS e.d. en aangevuld met gerichte surveys (Fig. 2.19c).

2.5.3. Aanpak

De extrapolatie van de resultaten op MZI-niveau naar het niveau van een kombergingsgebied of van de gehele westelijke Waddenzee, dan wel de gehele Oosterschelde gebeurt met behulp van integrale modellen. Het geheel levert een simulatie op van de effecten van MZI's in een gegeven omvang en op diverse locaties op de draagkracht van het ecosysteem. Daarbij wordt rekening gehouden met teruglevering van nutriënten en met de invloed van de overige schelpdierbestanden. Het Ecowaspmodel is op deze manier ook bruikbaar voor simulaties met betrekking tot extra toevoer van mosselbiomassa van de Oosterschelde naar de Waddenzee, en met betrekking tot de natuurlijke ontwikkeling van mosselbanken.

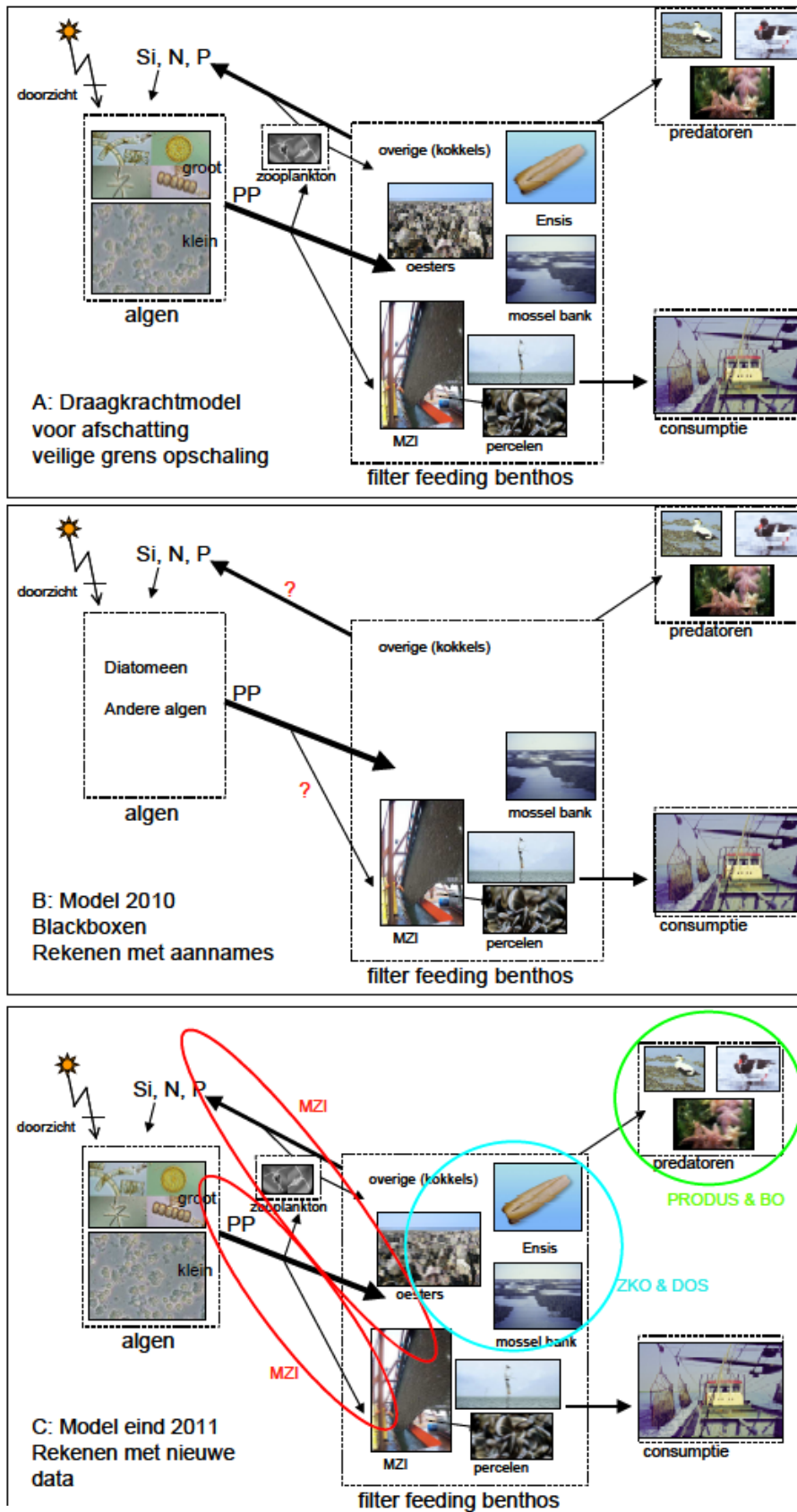


Fig. 2.19 Componenten van draagkrachtmodel voor afchatting veilige grens MZI opschaling.

In 2009 en 2010 is gewerkt aan het inbouwen van MZI-mosselen in de modellen. In 2011 zijn de aannames in de modellen Ecowasp en Deltakennis getoetst aan gemeten waarden uit taak 1.3 (nieuwe data). Daarnaast zijn de modellen gevalideerd met gereconstrueerde primaire productie gegevens uit taak 1.1 (historische data). Uitgevoerde verbeteringen aan de modellen betreffen verder voor Ecowasp een onderscheid tussen grote en kleine algen, uitbreiding van de dataset met de periode 2004-2010, een verbeterde settlement van larven, een verbeterde beschrijving van de gasuitwisseling (O_2 en CO_2) tussen water en atmosfeer, en een verbeterde beschrijving van resuspensie en sedimentatie. In het Deltakennis-model is de hydrodynamiek verbeterd. Naar aanleiding van de veranderde waterbeweging, is ook het ecosysteemdeel van het Deltakennis-model opnieuw gekalibreerd. Daarnaast is de ruimtelijke verspreiding van de litorale oesters aangepast. En de berekening van netto secundaire productie is aangepast zodat deze nu ook de natuurlijke sterfte omvat. In 2012 en begin 2013 is het model gevalideerd en verbeterd met behulp van veldmetingen. De grootste verandering in het Deltakennis-model was de nieuwe bestandschatting van oesters en *Ensis*. Deze data geven aan dat er minder oesters en *Ensis* voorkomen dan in eerdere modelberekeningen is aangenomen met name in het sublitorale deel van de Oosterschelde. Hierdoor moest het model opnieuw gekalibreerd worden. Validatie van de modellen is uitgevoerd met veldgegevens over zoutgehalte, nutriëntconcentraties, primaire productie en chlorofylgehalte (Fig. 2.20).

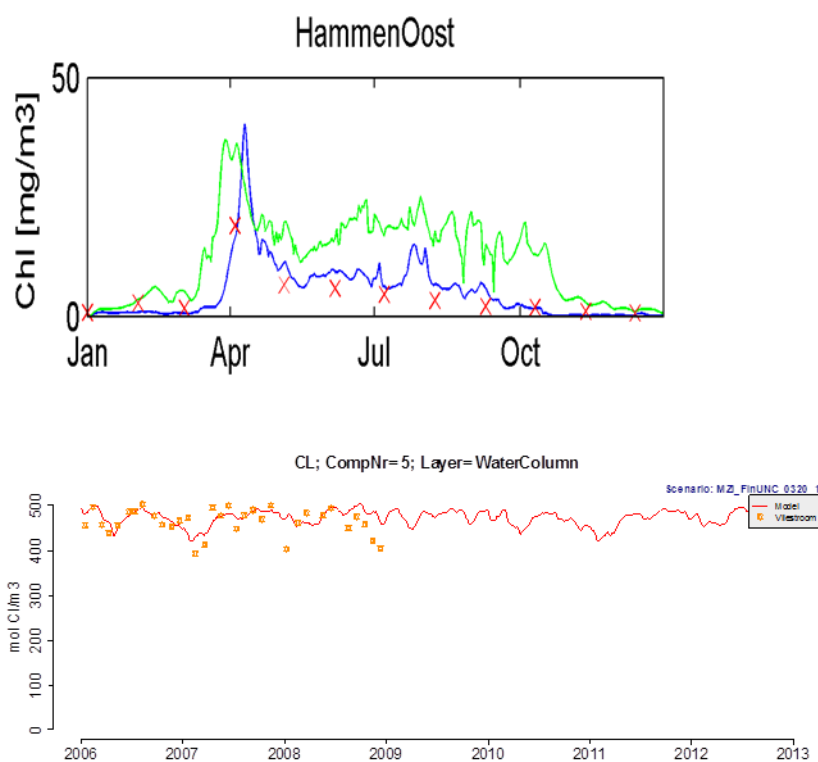


Fig. 2.20. Voorbeelden van validatie van de modellen. Boven met chlorofyl voor Oosterschelde (\times), de rode symbolen geven metingen aan, de groene lijn de waarden zonder schelpdieren in het model en de blauwe lijn waarden met schelpdieren in het model. Onder met zoutgehalte voor Waddenzee, de oranje symbolen geven metingen aan, de rode lijn de waarden in het model.

In tabel 2.2 worden de verschillen tussen het Ecowasp model en het Deltakennis model aangegeven. Over het algemeen is de hydrodynamica beter ontwikkeld in het Deltakennis model en de biologische processen beter in het Ecowasp model. Benthische diatomeeën zijn bijvoorbeeld niet opgenomen in het Deltakennis model. Intussen zijn vanuit andere projecten wel methodieken beschikbaar om benthische diatomeeën expliciet mee te nemen. Voor de Oosterschelde zou dit zeker relevant

kunnen zijn. Niet al dit materiaal zal toegankelijk zijn voor schelpdieren, tenzij het opwerfelt o.i.v. turbulentie / golven. Een ander belangrijk verschil betreft het aantal schelpdiersoorten dat wordt gemodelleerd. Het Deltakennis model maakt berekeningen voor 1 jaar en onderscheidt drie soorten (kokkels, mosselen en oesters). Het Ecowasp-model maakt berekeningen voor meerdere jaren. Omdat het onzeker is hoe voedselcompetitie op langere termijn doorwerkt voor de verschillende schelpdiersoorten wordt slecht een soort schelpdieren onderscheiden.

Tabel 2.2. Vergelijking van het Ecowasp model en het Deltakennis model.

Model eigenschap	Ecowasp	Deltakennis
Gemodelleerde gebied	Westelijke Waddenzee	Oosterschelde
Aantal horizontale compartimenten	6 compartimenten, met onderverdeling tussen droogvallende, sub-litorale en diepere waterlagen.	3277 gridcellen
Aantal verticale lagen	1 waterlaag, twee dimensionaal (2D) voor waterkwaliteit	10 sigma-lagen voor waterbeweging, 2D voor waterkwaliteit, omdat eerdere berekeningen hebben aangetoond dat door sterke verticale menging (driedimensionaal, 3D) weinig toevoegt.
Hydrodynamiek	Simpele uitwisseling tussen compartimenten en met Noordzee, dagelijkse zoetwatertoevoer.	volledige (3D) hydrodynamica
Sedimentcompartiment	Sediment tot bepaalde diepte, met diffusieve indringing van O ₂ en NO ₃ als electronacceptor, afgifte van CO ₂ , NH ₄ , P, oxidatie van NH ₄ . Poriewaterprofielen elke tijdstap berekend; hieruit wordt diffusieve uitwisseling sediment-water berekend.	In de deze toepassing van het model bestaat de bodem uit één laag. Fosfaatnalevering wordt beschreven met een ruimtelijk homogene functie.
Aantal simulatiejaren	vanaf 1976- nu met meteo-data van KNMI en uitslagdata (IJsselmeer) van RWS	Eén meteorologisch gemiddeld jaar 2002 (KNMI metingen) zo gekalibreerd dat de schelpdierpopulaties in steady state verkeren (dwz dat zij aan het eind van het jaar weer even groot zijn als aan het begin van het jaar).
Nutriënten	P, NO ₂ , NO ₃ , NH ₄ , Si, O ₂ , CO ₂ , Ca, saliniteit	P, NO ₃ , NH ₄ , Si, O ₂ , saliniteit
Detritus	7 verschillende detritussoorten, onderscheiden naar mate van afbreekbaarheid	Detritus bestaat uit 1 fractie, maar met variabele afbraaksnelheid
Anorganisch materiaal	Drie typen onderscheiden in bodem en water: slib, fijn zand, matig fijn zand.	Slibconcentraties worden beschreven met opgelegde functies op basis van metingen.
Resuspensie/bezinking	Alle vaste componenten hebben een eigen bezinksnelheid en opwervelparameter. Resuspensie is functie van windsnelheid en -richting (dagcijfers) en gehalte van de component in de bodem.	Resuspensie wordt verdisconteerd in de sedimentatiesnelheid voor de verschillende particuliere fracties en wordt gestuurd door de hydrodynamica.
Primaire productie	Drie pelagische algen (diatomeeën, niet-diatomeeën picofytoplankton) en 1 benthische diatomee.	Bloom, 4 algen groepen, elk bestaande uit drie types waardoor de stochiometrie per algengroep kan variëren, benthische diatomeeën zijn niet expliciet mee gemodelleerd.
Zoöplankton	Zoöplankton is in het MZI-model alleen actief wat betreft microzoöplankton. Microzoöplankton graast alleen op picofytoplankton.	Constante fractie op lokale algengroep – geen selectieve begrazing door zoöplankton
Aantal soorten schelpdieren	2 groepen (schelpdieren en MZI-mosselen)	4 soorten (oesters, kokkels, mosselen, en MZI-mosselen)
Reproductie en larvale fase	Reproductie vindt plaats binnen een beperkte periode in de voorzomer; een zeker % van biomassa wordt omgezet in larven. Efficiëntie is <100%. Larven hebben pelagische levensfase.	De start van de paaiperiode wordt bepaald door de fysiologische staat en de watertemperatuur. Het transport van de pelagische larven berekend met het hydrodynamische model. Het aantal levensvatbare eieren dat in het water terecht komt, worden enerzijds bepaald door de hoeveelheid gonaden die in totaal wordt gepaaid (wat dynamisch door het model berekend wordt) in combinatie met de initiële grootte van de eieren, maar ook door de fractie van de eieren die daadwerkelijk bevrucht wordt. De duur van de pelagische fase wordt bepaald door de minimale grootte van de larven om te vestigen en de initiële fractie structurele biomassa in de eieren.
Settlement natuurlijke mosselen	Moment wordt getriggerd door bereikte individuele massa. Kan per compartiment dus verschillen. Sterftekans is groot bij settlement.	In het model wordt aangenomen dat vrijwel alle mossellarven in de Oosterschelde tijdens of vlak na het vestigen sterven. Dit is overeenkomstig de huidige situatie. Natuurlijke recruitment is bijna 0.
Settlement MZI- mosselen	Een te kiezen % van alle MZI+natuurlijke mossellarven wordt tot MZI-larven benoemd. Moment wordt getriggerd door bereikte individuele massa. Kan per compartiment dus verschillen. Sterftekans is klein bij settlement.	De vestiging op MZI's wordt in het model mogelijk gemaakt door op de gewenste MZI-locaties de vestigingssterfte te verlagen. In het model wordt de recruitment van MZI-larven dynamisch en procesmatig gemodelleerd. Deze procesketen omvat de hoeveelheid gonaden, de start en duur van de paaiperiode, de groei en het transport van de pelagische larven, alsmede het moment en de locatie van vestiging.

Recruitment andere schelpdieren	Er zijn geen andere soorten schelpdieren onderscheiden.	Recruitment-gerelateerde processen van de bestaande schelpdierpopulaties worden niet expliciet berekend.
Groei	Groei is resultante van voedselopname en een aantal verliesprocessen.	Groei op basis van de DEB-modellering.
Mortaliteit	Hangt af van de grootte van de mosseltjes, en van de levensfase. Kleine exemplaren hebben grotere sterftekans. Getuned aan de hand van meetgegevens.	Gekalibreerde waarden voor MZI-mosselen en kweekmosselen op basis van meetdata.
Selectieve graas	Microzoöplankton graast alleen op picofytoplankton. Benthische en MZI-net-mosselen grazen op pelagische algen, microzoöplankton en mossellarven; waarbij picofytoplankton maar heel beperkt wordt begraasd. Ook detritus wordt begraasd, maar met lage selectiviteit en benutting.	Huidige runs hebben alleen de lagere graas op Phaeocystis meegenomen.
MZI-oogst	MZI-mosselzaad wordt geoogst (in 1-3 keren) en uitgezaaid op percelen.	De MZI-oogst wordt bepaald op het moment dat het maximale gewicht aan MZI-mosselen wordt bereikt.

Met behulp van de modellen zijn effecten van scenarios van MZI-oogst doorgerekend. Hierbij is in de Oosterschelde een oogst van maximaal 20 miljoen kg versgewicht gekozen en in de Waddenzee een oogst van maximaal 40 miljoen kg. Het Deltakennis-model berekent het effect voor een representatief jaar, terwijl het Ecowasp model het gemiddelde van een aantal jaren berekend.

Ook het effect van clustering van MZI's is onderzocht. Gebieden met minder grazerbiomassa kunnen zorgen voor een toename van de primaire productie, waardoor het systeem als geheel meer voedsel kan bevatten. Met andere woorden, als het productiegebied van algen wordt gescheiden van het consumptiegebied van algen is meer productie van grazers mogelijk. Dit fenomeen is met het Deltakennis model en met een theoretisch dynamisch model bestaande uit 2 volledig gemixte boxen. In beide boxen vindt primaire productie plaats met graas in een van de 2 boxen. Tevens is er wateruitwisseling tussen de boxen.

2.5.4. Effect opschaling op draagkracht Oosterschelde

Omdat grazers algen eten, zal de aanwezigheid van grazers over het algemeen leiden tot lagere chlorofylconcentraties (Fig. 2.21). Maar dit betekent niet dat de aanwezigheid van grazers ook altijd tot een lagere primaire productie leidt. Soms leiden grazers juist tot een grotere primaire productie. Dit komt enerzijds doordat de grazers de algen-turnover (en daarmee de nutriëntenrecycling) versnellen. Anderzijds verbeteren ze het lichtklimaat in de waterkolom, door algen en zwevend stof uit het water te filteren. Echter, bij hoge grazerbiomassa's kunnen de algen niet snel genoeg groeien om de hoge graassnelheid te compenseren, en treedt er overbegrazing op. In dat geval is er dus wel sprake van een verlaging van de primaire productie en dat heeft zijn effect weer op een vermindering van de grazers biomassa. Bij weinig of geen grazers (i.e. een lage graasdruk) zal een toename in de grazerbiomassa dus waarschijnlijk tot een verhoging van de primaire productie leiden, terwijl bij veel grazers (een hoge graasdruk) een toename in de grazerbiomassa zal leiden tot een afname van de primaire productie. Het effect van extra grazers (zoals MZI-mosselen) hangt dus af van de bestaande graasdruk in het systeem in relatie tot de primaire productie.

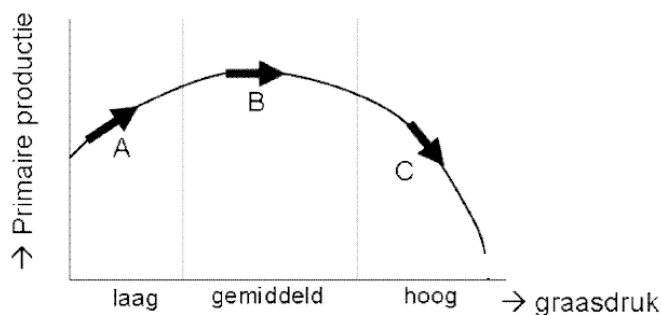
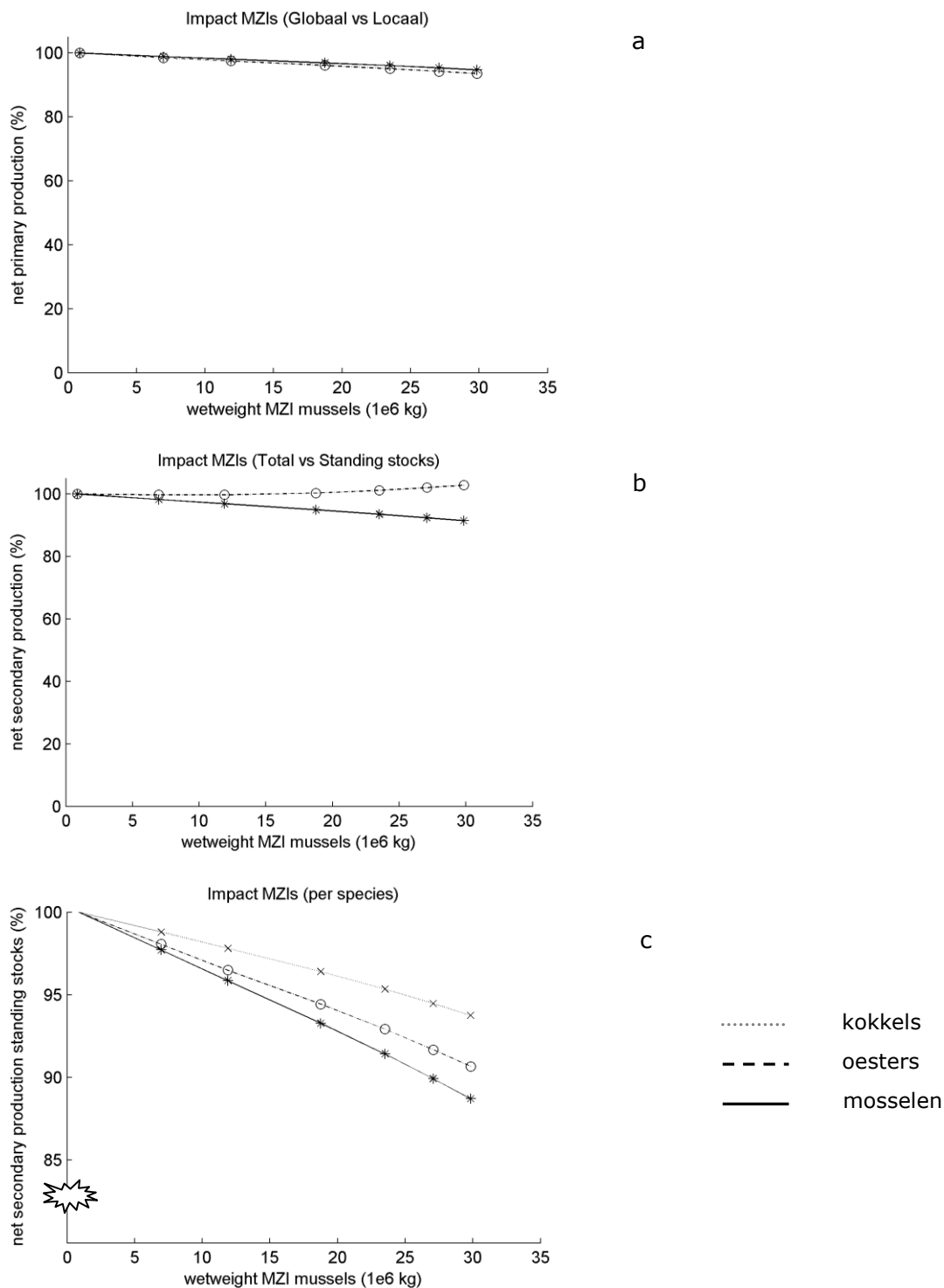


Fig. 2.21. Schematische weergave van de relatie tussen graasdruk en primaire productie. De zwarte pijlen geven het effect weer van een toename van grazers bij verschillende graasdruk.

De modelresultaten laten zien dat de MZI-mosselen een klein effect hebben op de primaire productie in de Oosterschelde (Fig. 2.22a). Dit geldt zowel voor het effect op de MZI-locaties als voor het effect voor de hele Oosterschelde. Figuur 2.22b laat zien dat door de MZI-mosselen de totale schelpdierproductie toeneemt; dit gaat deels ten koste van de productie van bestaande schelpdierbestanden. Bij een totale opbrengst van ongeveer 20 miljoen kg MZI-mosselen in de Oosterschelde neemt de gemiddelde biomassa van alle bestaande grazers bij elkaar in de berekening af met 18 miljoen kg. Dit is te verklaren doordat de MZI-mosselen gemiddeld genomen kleiner zijn dan de schelpdieren in de bestaande populaties. Dit geeft ze een grotere oppervlakte-volume ratio en daarmee een grotere biomassa-specifieke groeisnelheid. Bovendien hebben de MZI-mosselen een meer gunstige positie in de waterkolom. Het model suggereert dat er geen ruimte is in het systeem voor extra grazers. Dit verklaart ook waarom het effect op primaire productie zo klein is. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de graasdruk in het systeem hoog is. Verder suggereren de modelresultaten dat de MZI's een verschillende impact hebben per schelpdiersoort. Het relatieve effect van MZI's op mosselen lijkt groter te zijn dan dat op oesters, en het effect op kokkels is het kleinst. (Fig. 2.22c). De verschillen zijn enerzijds te wijten aan de verschillen in ruimtelijke verspreiding van de verschillende soorten, en dus hun nabijheid ten opzichte van MZI's. Anderzijds heeft het verschil in impact te maken met de verschillen in fysiologische eigenschappen tussen de soorten. Dit is uitgedrukt in de soort-specifieke parameterwaarden. Verschil in sommige van deze parameterwaarden bepaald de verschillen in concurrentiekracht tussen de soorten. De onzekerheid van sommige van deze parameterwaarden die deze eigenschappen vastleggen zijn groot omdat deze slechts gebaseerd op enkele schattingen.



Figuur 2.22. Modelresultaten van (a) primaire productie lokaal (gemiddeld over de locaties met MZI-mosselen, onderbroken lijn) en globaal (gemiddeld over de hele Oosterschelde, doorgetrokken lijn) en (b) schelpdierproductie (% van productie zonder MZI-mosselen) van de bestaande schelpdierpopulaties exclusief MZI-mosselen (doorgetrokken lijn) en inclusief de MZI-mosselen (onderbroken lijn) en (c) uitgesplitst voor kokkels (gestippelde lijn), oesters (onderbroken lijn), en mosselen (doorgetrokken lijn) versus de opbrengst van de MZI-mosselen (miljoen kg WW).

2.5.5. Effect van clustering van MZI's in deelgebieden

Het effect van spreiding van de MZI-locaties op de totale productie (zowel primair als secundair) van de Oosterschelde is verwaarloosbaar (Fig. 2.23). Blijkbaar is het systeem dusdanig goed gemengd dat een ruimtelijke scheiding geen wezenlijk effect heeft. Echter, ondanks de redelijk fijne resolutie van het modelgrid, is de oppervlakte van elke gridcel vele malen groter dan die van een MZI. Het kan dus zijn dat de negatieve effecten van clustering worden onderschat.

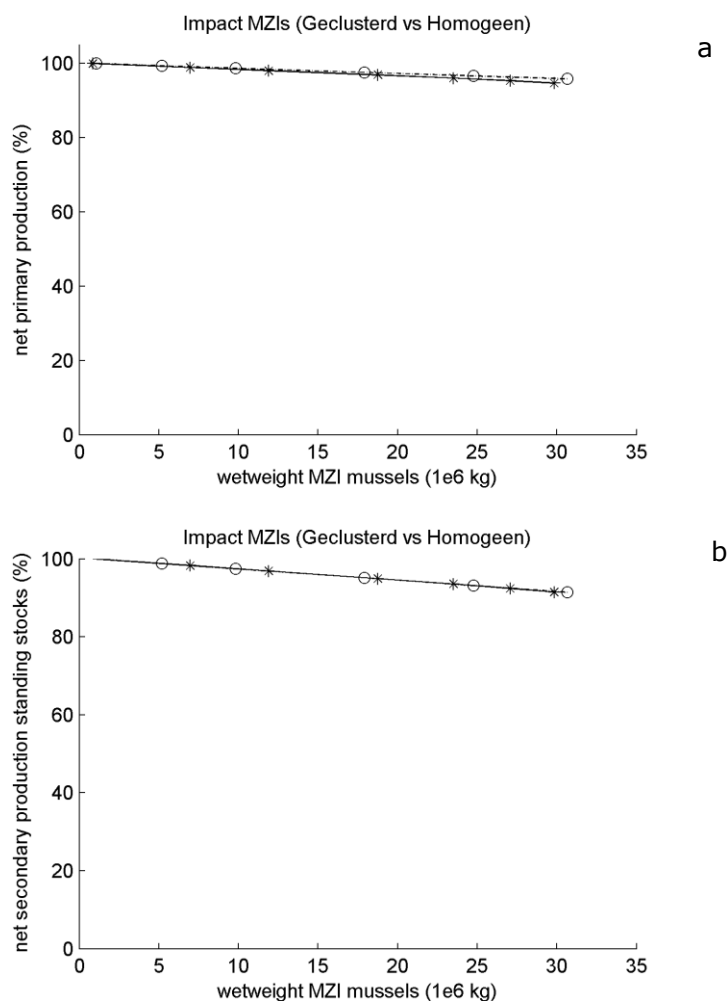


Fig. 2.23. Modelresultaten van (a) primaire productie en (b) schelpdierproductie (als % van productie zonder MZI-mosselen) bij ruimtelijk homogene spreiding van de MZI-mosselen over de hele Oosterschelde (onderbroken lijn met cirkels) en bij clustering binnen aangewezen locaties (doorgetrokken lijn met sterren) versus de opbrengst productie van de MZI-mosselen (miljoen kg WW).

Naast het effect van clustering binnen aangewezen locaties is ook het effect van clustering van MZI's in deelgebieden gemodelleerd met een eenvoudig alternatief model. Dit model had drie componenten (nutriënten, algen en grazers) en bestond uit twee compartimenten, waarbij de grazers waren geconcentreerd in één van de twee compartimenten. De uitwisseling van algen en nutriënten tussen de twee compartimenten werd gevarieerd. Bij een gemiddelde verversingssnelheid werd de hoogste mosselproductie bij hoge biomassa gerealiseerd (Fig. 2.24). Draagkrachtproblemen op deelsysteemniveau zijn waarschijnlijker bij een hoge verversingsgraad. Deze resultaten kunnen helpen bij het optimaliseren van MZI-productie door middel van ruimtelijke verdeling van MZI. Hiervoor is echter de koppeling met het uitgebreide model dat is gebaseerd op hydrodynamica noodzakelijk.

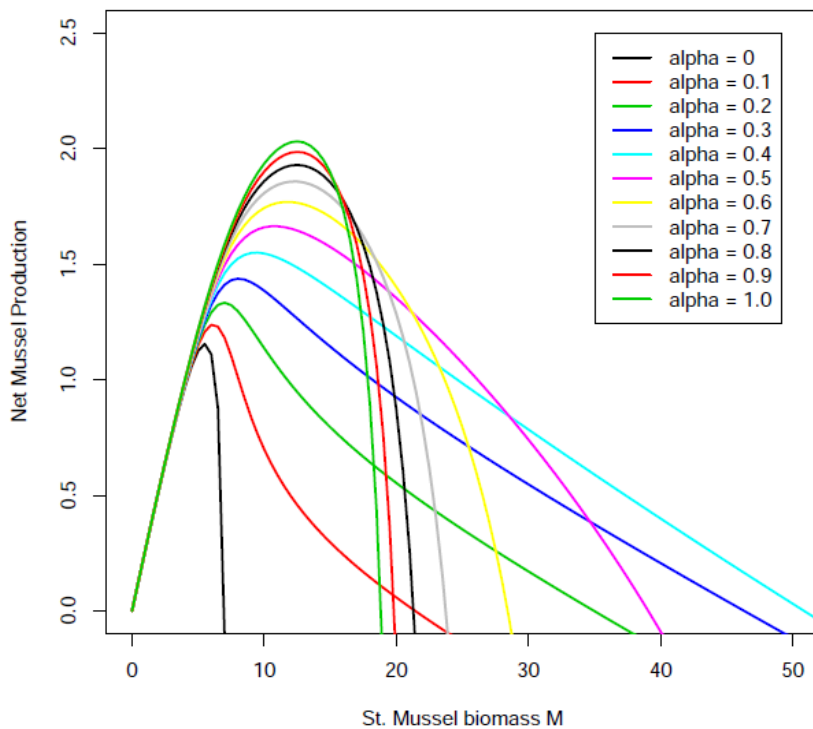


Fig. 2.24. Mosselproductie as functie van mossel biomassa en verversingsnelheid ($\alpha = 0$: geen uitwisseling tussen de compartimenten en $\alpha = 1$: maximale uitwisseling tussen de compartimenten).

2.5.6. Effect van opschaling op draagkracht Waddenzee

Voor de berekeningen met het Ecowasmodel voor de Waddenzee is verondersteld dat er een sterfte optreedt bij mosselen wanneer er settlement optreedt. Op basis van discussies met mede-onderzoekers zijn de gebruikte parameterwaarden zo afgesteld dat deze sterfte aanzienlijk is bij natuurlijke settlement, en klein wanneer settlement op MZI's plaatsvindt. Ook is verondersteld dat maar een deel van de reproductie leidt tot mossellarven, of wel: ook daar vindt een zeker verlies plaats. Tevens is verondersteld dat de sterfte áán de MZI's ook (wat) kleiner is dan die op de bodem. Daarnaast is verondersteld dat de groeisnelheid van MZI mosselen groter is dan die van mosselen op natuurlijk substraat. Groei en sterfte aan de MZI's zijn gebaseerd op MZI-data. Als gevolg van de aannames is de overleving van mosselen die zich als larve aan de MZI-netten hechten aanzienlijk groter dan die van larven die zich aan natuurlijk substraat hechten. Picoplankton en microzooplankton zijn toegevoegd aan het model. Parameterschatting is uitgevoerd in 2012. Verschillende scenario's zijn doorgerekend: van geen MZI-productie, een jaarlijkse MZI-productie van 0.5 miljoen kg versgewicht, tot een scenario van 60 miljoen kg versgewicht aan MZI-oogst. Een oogst van maximaal 60 miljoen kg versgewicht consumptiemosselen per jaar is als doelopbrengst gesteld voor het model.

Met toenemende MZI-productie nemen zowel de primaire als de schelpdierproductie toe in de zes modelcompartimenten van westelijke Waddenzee tezamen (Fig. 2.24). Deze toename is echter afhankelijk van de hoeveelheid consumptiemosselen die wordt geoogst. Hoe meer consumptiemosselen er worden geoogst hoe minder de toename in primaire productie (Fig. 2.25a). De schelpdierproductie toename is ook afhankelijk van de hoeveelheid consumptiemosselen die wordt geoogst. Hoe minder de oogst van consumptiemosselen, hoe lager de schelpdierproductie (Fig. 2.25b). De berekeningen laten daarnaast een toename zien van de biomassa van schelpdierbestanden met een toename van de

hoeveelheid MZI-oogst tot een MZI-oogst van 40 miljoen kg (Fig. 2.26). Boven een oogst van 40 miljoen kg MZI-zaad berekent het model een afname van de totale grazer-biomassa in de Waddenzee (Fig. 2.26). De biomassa van schelpdierpopulaties zonder MZI-mosselen neemt af met een toename van de MZI-oogst (Fig. 2.26). In de figuur is ook te zien dat de toename in het totale mosselbestand als gevolg van de MZI-productie voor een groot deel ten koste gaat van de overige (wilde) schelpdierpopulaties.

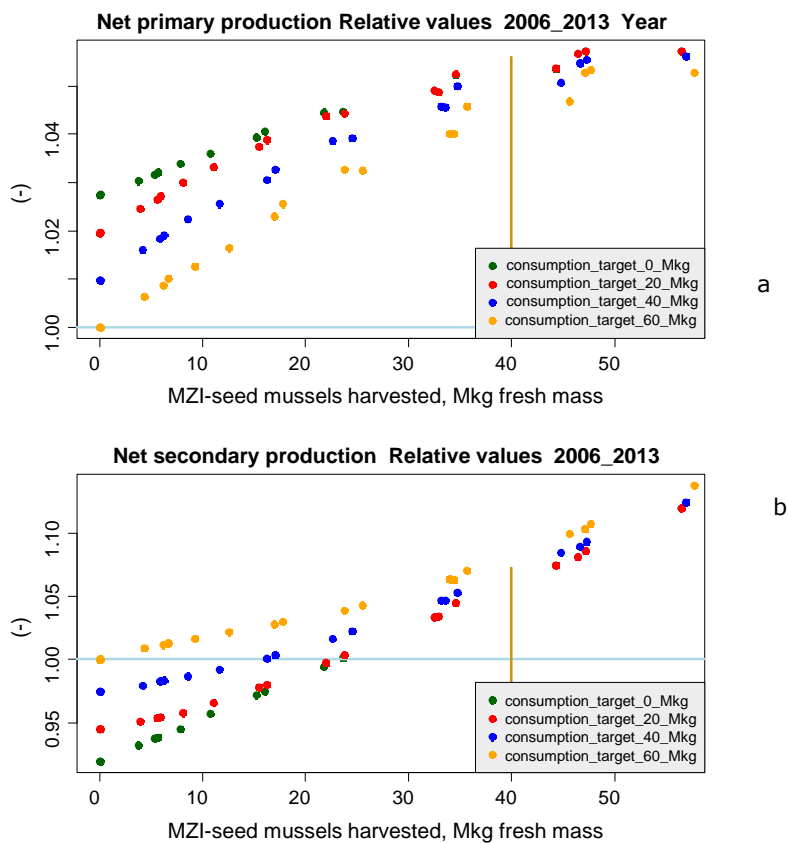


Fig. 2.25. Modelresultaten van (a) primaire productie en (b) secundaire productie (uitgedrukt als fractie van productie zonder MZI-mosselen) van de bestaande schelpdierpopulaties inclusief de MZI-mosselen bij verschillende MZI-oogsten (x-as) en consumptie oogsten (gekleurde symbolen) gemiddeld voor de hele westelijke Waddenzee en voor periode 2006-2013.

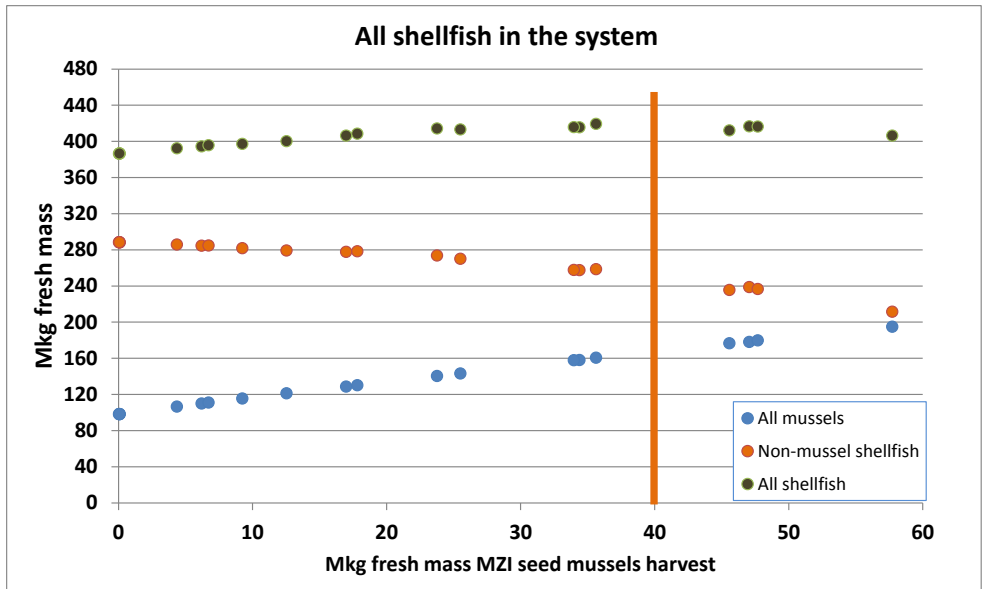


Fig. 2.26. Modelresultaten van biomassa aan schelpdierbestanden (blauw: alle mosselen, oranje: alle niet-mussel schelpdieren, groen: alle schelpdieren) bij verschillende MZI-oogsten (x-as) en een oogst aan consumptiemosselen van 60 miljoen kg gemiddeld voor de hele westelijke Waddenzee en voor periode 2006-2013.

2.6. Impact-indicatoren

Gebaseerd op:

Broekhoven W van et al. (in prep.) Mussel activity measured on farm scale

Ihnken S. & J.C. Kromkamp (2012) Phytoplankton cells and particles in the Oosterschelde: functional relationships to the underwater light climate and food availability for bivalves. NIOZ-Yerseke report.

Ihnken S. & J.C. Kromkamp (2013) Food availability and food quality for benthic filter feeders of the Oosterschelde estuary. NIOZ-Yerseke report.

Kamermans P (2010). Veldmetingen met Acrobat in Oosterschelde. IMARES Notitie

Kamermans P., Jak R, P. Jacobs & R. Riegman, (2013) Meerjarige effectmetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee en Oosterschelde. Deelproject 1: Effect MZI op Draagkracht 2010-2011 Taak 1.3 Nieuwe data en taak 1.4 Indicatoren. IMARES Rapport C187/13

Kamermans P, E Brummelhuis A van Gool (2013) MZI-mosselgewicht als indicator van voedselomstandigheden. IMARES Rapport C190/13

Kromkamp J.C. & S. Ihnken (2012) Primaire productie en nutriënten in de Oosterschelde, Update 2011 and long term changes in nutrients. NIOZ-Yerseke rapport.

Kromkamp J., S. Ihnken, J. Peene en J. Vlaming (2013) Primaire productie in de Oosterschelde, Update 2012. NIOZ-Yerseke rapport

Schellekens T, M van Stralen, J Kesteloo-Hendrikse, A Smaal (2013) Analyse historische data Oosterschelde en Waddenzee. IMARES Rapport C189/13

Smaal A.C., T. Schellekens, M.R. van Stralen, J.C. Kromkamp (2013) Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* 404-405: 28-34

2.6.1. *Onderzoeksvragen*

Welke parameters kunnen een indicatie geven of de draagkracht voor filtrerende schelpdieren in gevaar komt? Deze indicatoren worden in dit project stress-indicatoren genoemd. Dit zijn dus geen indicatoren die aangeven dat bepaalde soorten sub-optimaal functioneren (dat kan zijn door verminderde hoeveelheden voedingsstoffen, door abiotische factoren als temperatuur of door specifieke nadelige factoren als verontreinigingen). In dit project zijn het indicatoren die iets zeggen over de draagkracht van het systeem voor filtrerende schelpdieren.

2.6.2. *Toelichting*

Voor de indicatoren lijkt de conditie of groeisnelheid van voor vogels belangrijke schelpdieren, zoals mosselen een geschikte parameter. Ook de conditie van de MZI-mosselen zelf is mogelijk een indicator. De impact op de omgeving kan worden gemonitord door groei en/of conditie van bestaande schelpdierbestanden te registreren. Daarnaast komt uit met name Canadees onderzoek (Cranford et al, 2006) naar voren dat het percentage aanwezige picoplankton in het fytoplankton toeneemt wanneer het ecosysteem "overbelast" wordt met grazers.

2.6.3. *Aanpak*

Uit de historische data analyse (taak 1.1) komen relaties tussen het gemiddelde vleespercentage van mosselen en de totale biomassa van schelpdieren naar voren. Hiervoor zijn aanvoerstatistieken van mosselen van het Produktschap Vis gebruikt (zie 2.3.5). Metingen van percentage aanwezig picoplankton zijn in 2010 gestart en tot en met 2012 (Oosterschelde) en 2013 (Waddenzee) voorgezet. In augustus 2010 zijn veldmetingen uitgevoerd bij 1 hangcultuur en 3 MZI's in de Oosterschelde. Voor deze metingen is gebruik gemaakt van een met een sonde/CTD uitgeruste *Acrobat*. Dit is een innovatief Canadees apparaat dat met behulp van geautomatiseerde technieken (o.a. fluorescentie) de algenbiomassa meet terwijl het achter een boot op verschillende dieptes door het water beweegt (een "towed glider"). In augustus 2012 zijn monsternamen voor chlorofyl en picoplankton uitgevoerd bij 3 MZI's in de

Oosterschelde. Daarnaast zijn in 2013 metingen verricht aan het gewicht van MZI-mosselen die werden geogst aan de rand van MZI's en in het midden van MZI's. Bij voedselbeperking wordt een lager gewicht van de mosselen in het midden van de MZI verwacht.

2.6.4. Metingen aan percentage picoplankton

In de Oosterschelde nam picoplankton chlorofyl nam af in de periode juni tot oktober 2010, gelijk met het totale gehalte aan chlorofyl (Fig. 2.27). Het hoogste percentage picoplankton werd gevonden in de Noordelijke Tak wanneer het werd bepaald met de chlorofyl metingen en in de Kom wanneer het werd bepaald met flow cytometer tellingen. De flow cytometer bepaalt de concentratie van fluorescerende deeltjes. Fluorescentie kan verschillen per deeltje afhankelijk van de grootte van het deeltje. Bij een chlorofyl bepaling worden de deeltjes kapot gemaakt waarna de totale concentratie fluorescentie wordt gemeten. Dit kan leiden tot verschillen in resultaten tussen de beide methoden. Metingen uit 2011 van het NIOZ-YE wijzen ook op een hoger percentage picoplankton in de Noordelijke Tak en Kom van de Oosterschelde in vergelijking met het Midden en de Monding (Fig. 2.28). In 2012 wordt dit beeld bevestigd (Fig. 2.29). In de Noordelijke Tak en de Kom is de verblijftijd van het water hoger. Daardoor is de filtratiedruk door schelpdieren ook hoger. Dit kan het hogere percentage picoplankton verklaren. Het percentage picoplankton in de Waddenzee was over het algemeen lager dan 30 procent (Fig. 2.30). Dit wijst op een lagere filtratiedruk in dat gebied in vergelijking met de Noordelijke Tak en Kom van de Oosterschelde.

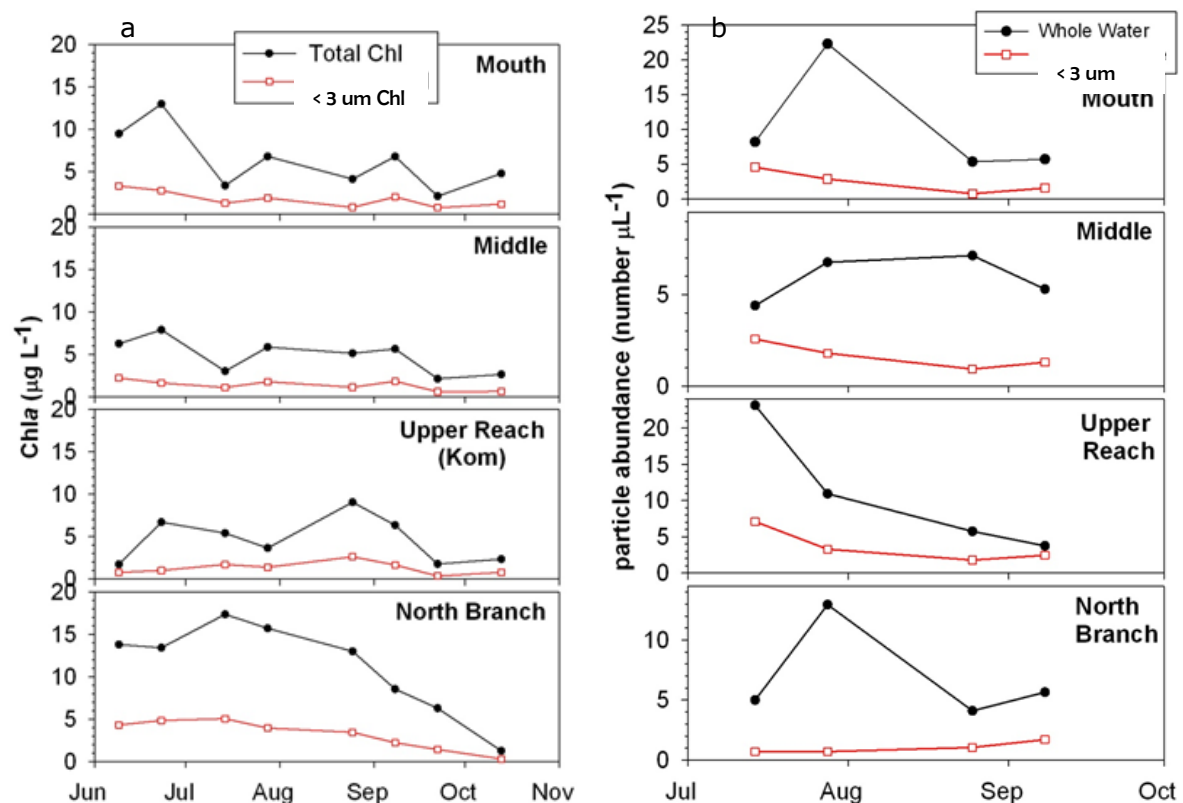


Fig. 2.27. Picoplankton in verhouding tot totaal algen gebaseerd op (a) chlorofyl metingen en (b) flow cytometer tellingen in de Oosterschelde in 2010.

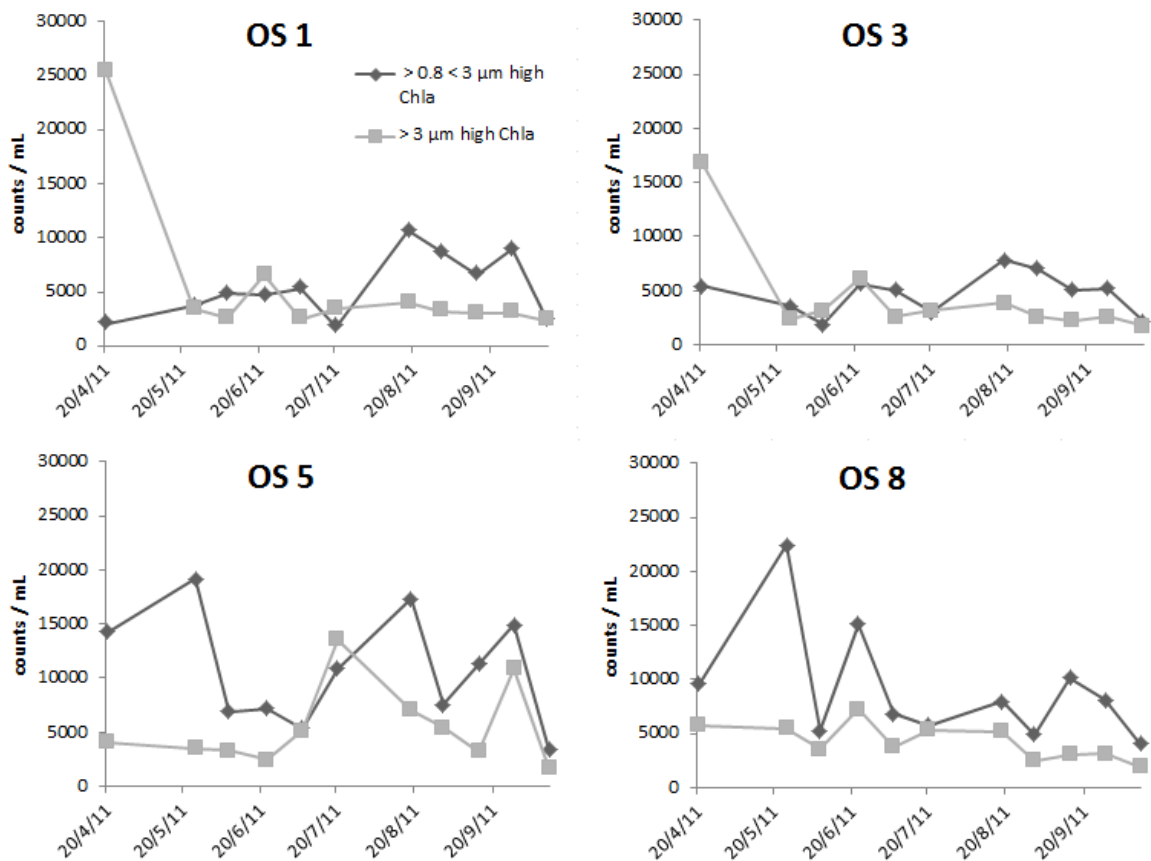


Fig. 2.28. Picoplankton in verhouding tot totaal algen gebaseerd op flow cytometer tellingen in de Oosterschelde in 2011. OS1 is Monding, OS3 is Midden, OS5 is Noordelijke Tak en OS8 is Kom.

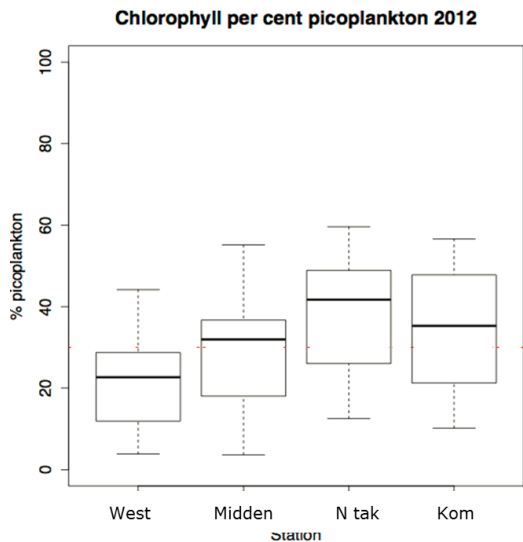


Fig. 2.29. Picoplankton in verhouding tot totaal algen gebaseerd op gemiddelde van chlorofyl metingen in de Oosterschelde in 2012. OS1 is Monding, OS3 is Midden, OS5 is Noordelijke Tak en OS8 is Kom.

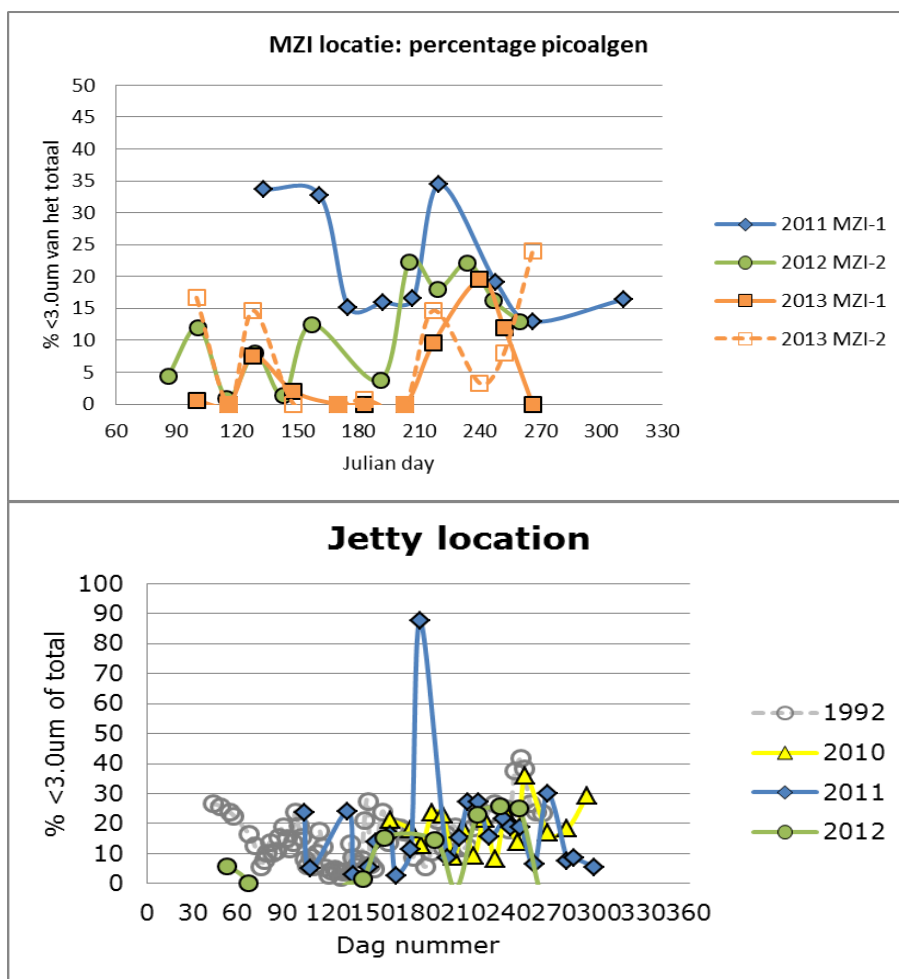


Fig. 2.30. Percentage picoplankton in het Marsdiep (MZI-locatie) en de NIOZ stijger (Jetty location) in de Waddenzee in 2010 - 2013. Ter vergelijking zijn ongepubliceerde gegevens van Riegman uit 1992 toegevoegd.

2.6.5. Farm-scale validatie

Wanneer lokale uitputting van algen wordt gemeten bij een MZI is dit een indicatie dat er een kans bestaat op draagkrachtoverschrijding bij een hogere dichtheid aan MZI's, omdat concurrentie optreedt met overige dieren die algen als voedselbron hebben. Bovendien kan dit de kwaliteit (vleesgewicht) van de mosselen nadelig beïnvloeden. Door luwe en meer dynamische gebieden met elkaar te vergelijken kan inzicht worden verkregen in de omstandigheden waaronder draagkracht problemen op lokale schaal kunnen optreden in relatie tot de toevoer van voedsel. In augustus 2010 zijn transecten met de Acrobat bemonsterd voor algenbiomassa op vier locaties in de Oosterschelde: 1 hangcultuur (Krammer) en 3 MZI's (Slaak, Galgeplaat en Vuilbaard). De Krammer en Slaak bevinden zich in het beschutte noordoostelijke deel van de Oosterschelde en de Galgeplaat en Vuilbaard zijn geëxponeerde locaties in het midden en westen van de Oosterschelde. De metingen met de Acrobat suggereren dat de algenbiomassa lokaal wordt verminderd door een mosselhangcultuur met eenjarige mosselen en een MZI op beschutte locaties in de Oosterschelde (Fig. 2.31a en b). Een degelijke vermindering werd niet gemeten bij MZI's op geëxponeerde locaties (Fig. 2.31c en d). Voor een volledige interpretatie van de data is informatie over de conditie van de mosselen nodig. Heeft de vermindering in chlorofyl ook een vermindering van groei of conditie van de mosselen tot gevolg? Daarnaast zijn gegevens over de stroming van belang.

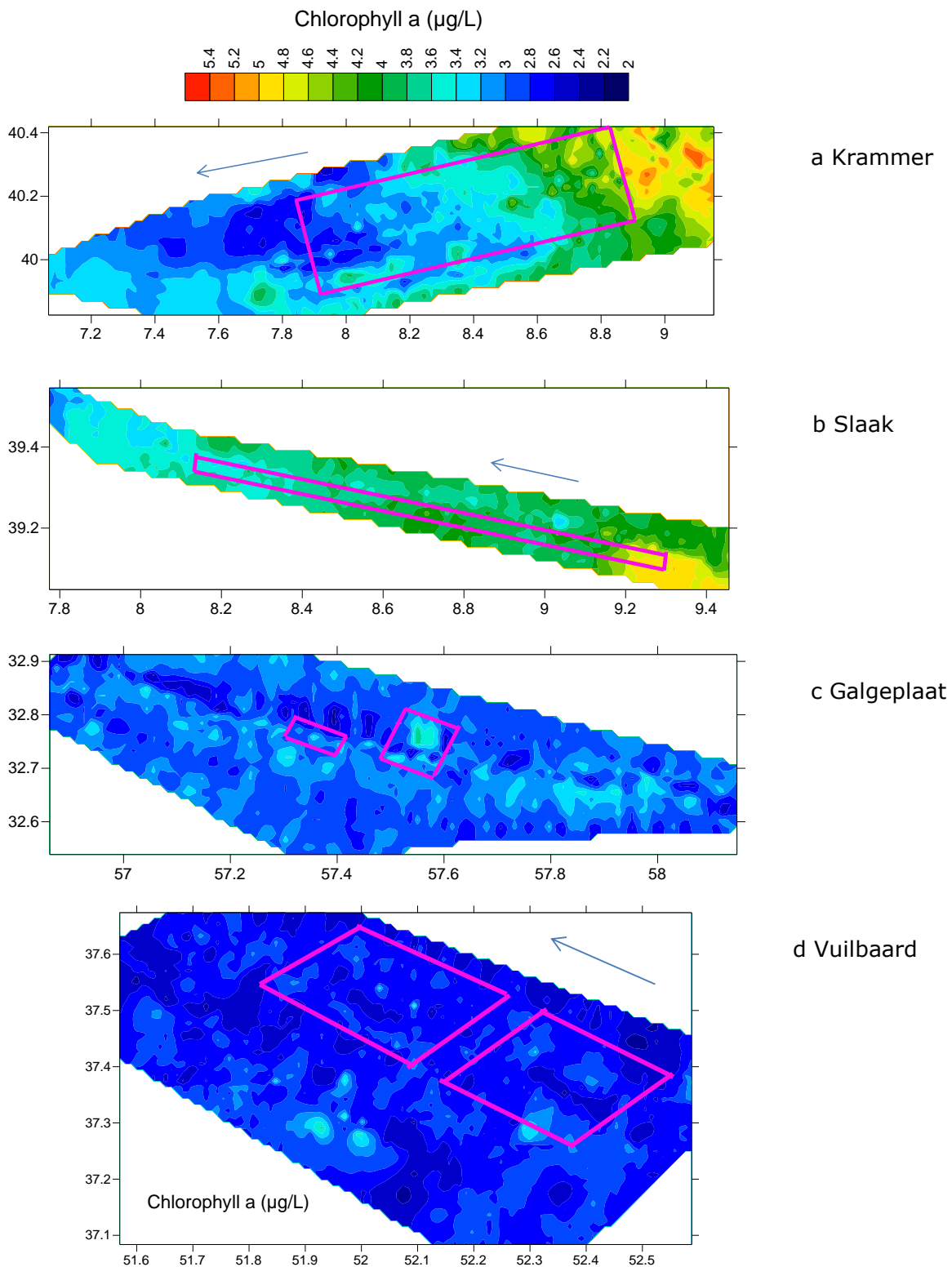


Fig. 2.31. Kaart (met NB en OL minuten langs de assen) van algenbiomassa (chlorofyl a) rond hangcultuur of MZI-installatie (aangegeven in roze). De stroomrichting is aangegeven met een blauwe pijl. Galgeplaat is met kentering bemonsterd.

In augustus 2012 zijn op drie MZI-locaties in de Oosterschelde watermonsters langs een transect door de MZI verzameld. De verwachting was dat, als gevolg van filtratie door MZI-mosselen, het chlorofyl

gehalte van het water lager zou zijn midden in de MZI dan voor de MZI. Bij sterke afname kan ook een lager chlorofyl gehalte achter de MZI worden verwacht. Deze afname geldt alleen voor de algen groter dan 3 μm . De algen kleiner dan 3 μm worden minder effectief opgenomen (zie paragraaf 2.4.7), waardoor het gehalte van deze fractie niet of nauwelijks af zal nemen. De algenbiomassa wordt lokaal verminderd in en achter de MZI op de locatie Slaak, maar niet op de locaties Neeltje Jans en Vuilbaard (Fig. 2.32a). Slaak is een locatie met weinig stroom, terwijl bij Vuilbaard en Neeltje Jans de stroomsnelheden hoger zijn. Er werd geen duidelijk lokaal effect op picoplankton waargenomen (Fig. 2.32b).

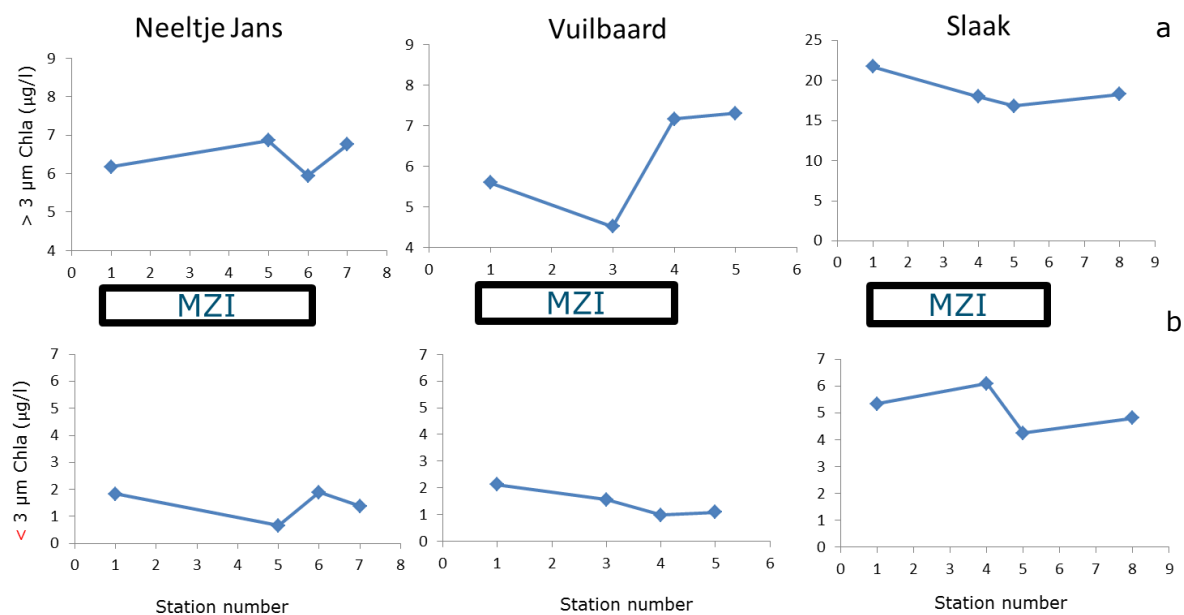


Fig. 2.32. Chlorofylgehalte van het water langs transecten door MZI's in de Oosterschelde in twee fracties: (a) algen groter dan 3 μm en (b) algen kleiner dan 3 μm . De MZI is aangegeven met een zwarte rechthoek. Station 1 is het begin van de MZI en het laatste station is achter de MZI gelokaliseerd. De stroomrichting loopt van station 1 naar het laatste station. Van Broekhoven et al in prep.

2.6.6. Metingen aan gewicht MZI-mosselen

Op 2 locaties in de Waddenzee (Zuidmeep en Gat van Stompe), 2 locaties in de Oosterschelde (Neeltje Jans en Galgeplaat) en 1 in de Voordelta (Brouwershavense Gat) zijn tijdens de oogst monsters verzameld. Zowel netten als touwen zijn bemonsterd. De mosselen zijn opgemeten en van 29 individuen van eenzelfde lengteklasse per locatie is het as-vrij drooggewicht bepaald. Er werd eenmaal een significant lager gewicht van MZI-mosselen in het midden van de MZI dan aan de rand van de MZI gevonden (Gat van Stompe, net MZI). Dit geeft aan dat op vier van de vijf locaties, bij de huidige schaalgrootte van de MZI systemen geen aanduidingen werden gevonden dat voedselbeperking is opgetreden. Gat van Stompe wordt minder intensief gebruikt dan de Zuidmeep-locatie, maar de MZI's liggen wel dicht bij elkaar. Dit kan een verklaring zijn voor het lagere gewicht van de mosselen in het midden van de MZI op die locatie. Het gewicht van de mosselen aan een MZI is een indicator die aan kan geven of voedselbeperking optreedt op het schaalniveau van een kwekerij.

2.6.7. Conclusies impact indicatoren

Bestudeerde impact indicatoren zijn het vleespercentage van consumptiemosselen aangeleverd aan de veiling in relatie tot de totaal aanwezige schelpdierbiomassa, de conditie van MZI-mosselen en de algenbiomassa binnenin een MZI in vergelijking met die aan de rand, en het percentage picoplankton. Op lokaal niveau geven metingen in en om een MZI op een beschutte locatie in de Oosterschelde aanwijzingen dat de algenbiomassa binnen het kweekgebied wordt verminderd. Er werd geen lokaal

effect op percentage picoplankton gevonden. Ook het gewicht van MZI-mosselen was over het algemeen niet lager binnen de MZI in vergelijking met de rand. Op het niveau van deelgebieden werd een hoger percentage picoplankton gemeten in het oostelijke deel en de noordtak van de Oosterschelde in vergelijking met het Midden en de Monding. Dit wijst op een sterkere begrazing in die gebieden. In de Waddenzee werd geen verhoogd percentage picoplankton gemeten. Een verlaging van het vleespercentage van consumptiemosselen kan op het niveau van deelgebieden aangeven of de draagkracht voor filtrerende schelpdieren minder wordt.

2.7. Conclusies

De historische-data-analyse laat zien dat jaren met een groot schelpdierbestand gepaard gaan met een lager percentage vleesgewicht. De negatieve correlatie tussen bestand en vleesgewicht leidt tot de hypothese dat een toename van het mosselbestand door het plaatsen van MZI's leidt tot een afname in vleesgewicht van mosselen in de Oosterschelde en het Vliestroomgebied in de Waddenzee. Voor het Marsdiepgebied wordt een dergelijk effect net niet significant bevonden.

De modelberekeningen geven ook een afname aan in productie van bestaande schelpdierpopulaties (dus zonder MZI-mosselen). Bij een MZI-oogst van 20 miljoen kg in de Oosterschelde is de primaire productie lager ten opzichte van een situatie zonder MZI-mosselen. In de Waddenzee neemt de schelpdier productie toe met toenemende MZI-productie. De berekeningen laten daarnaast een toename zien van de biomassa van schelpdierbestanden met een toename van de hoeveelheid MZI-oogst tot een MZI-oogst van 40 miljoen kg. Het totale bestand aan mosselen in de Waddenzee neemt toe met de MZI-oogst. Dit gaat ten koste van overige schelpdierpopulaties (zonder mosselen). Boven een oogst van 40 miljoen kg MZI-zaad berekent het model een afname van de totale grazer-biomassa in de Waddenzee.

Veelbelovende impact-indicatoren zijn het vleesgehalte van consumptiemosselen en het percentage picoplankton. Deze geven informatie op het niveau van een deelgebied. Om de vraag te beantwoorden of de draagkracht voor filterende schelpdieren bereikt wordt is het van belang om drempelwaarden voor de indicatoren te identificeren en criteria waar deze drempelwaarden op worden gebaseerd.

3. Bodemeffecten in verschillende habitat typen

3.1. Onderzoeksvragen

Treedt lokaal een organische verrijking van de bodem onder een MZI op, en indien ja, vindt er een verschuiving in bodemdierensamenstelling plaats?

Kunnen MZI-systemen bijdragen aan het ontstaan van mosselbanken?

Gebaseerd op:

Kamermans P & I De Mesel (2010) Meerjarige effectmetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee en Oosterschelde, Deelproject 2: Depositie van organisch materiaal van MZI (mosselen op de bodem in Waddenzee en Oosterschelde 2009. IMARES Rapport C081/10

Brummelhuis E & P Kamermans (2013) Invloed mosselzaad-Invanginstallaties op mosselzaadval op de bodem in de Waddenzee IMARES Notitie

3.2. Toelichting

Meerdere studies hebben veranderingen in bodemfauna onder mosselkwekerijen geconstateerd als gevolg van verrijking van de bodem met organisch materiaal (Mattsson & Linden, 1983; Hatcher et al., 1994; Grant et al., 1995; Stenton-Dozey et al, 1999; Mirto et al., 2000; Chamberlain et al., 2001; Hartstein & Rowden, 2004). Andere studies troffen dit patroon niet aan. Dat was voornamelijk een gevolg van de hogere dynamiek ter plaatse veroorzaakt door golven en stromingen (da-Costa & Nalesso, 2006). De grootschalige mosselkwekerijen uit de gerefereerde studies verschillen van MZI-installaties in het feit dat mosselen er worden doorgekweekt tot consumptiegrootte en de kwekerijen niet voor elke winter worden verwijderd.

In het kader van het Onderzoeksproject Duurzame Schelpdiervisserij (PRODUS) zijn twee modelstudies uitgevoerd naar de depositie en verspreiding van feces en pseudofeces van MZI-installaties in de Waddenzee (Kamermans et al, 2008; Meesters et al., 2007; De Mesel et al., 2008). De modelstudies tonen aan dat in theorie, zonder rekening te houden met verspreiding door stroming, organisch koolstof in de buurt van de MZI-installatie kan accumuleren. Wanneer rekening wordt gehouden met de verspreiding door stroming vindt geen meetbare organische verrijking in de buurt van de MZI-installatie plaats; in deze modelstudies betrof het evenwel een installatie van beperkte grootte.

In het kader van hetzelfde PRODUS-project is een beperkte veldstudie uitgevoerd naar de effecten van MZI-installaties op de bodem in de Waddenzee bij twee typen MZI's (Meesters et al., 2007, De Mesel et al., 2008). Deze liet zien dat de bodemfauna in het centrum van een MZI-installatie armer kan zijn, dat wil zeggen: een geringere soortenrijkdom bevat en een hoger gehalte aan wormen. De locatie waar dit werd waargenomen had relatief lage stroomsnelheden. Na verwijdering van de MZI was een jaar later een verhoogd organisch-koolstofgehalte tussen de MZI's niet meer aanwezig. De locatie waar de MZI-installatie stond was significant anders dan een locatie in vergelijkbare omstandigheden slechts een honderdtal meter hiervan verwijderd (lager koolstofgehalte, maar ook lager aantal soorten). Dit kan ofwel betekenen dat een opgetreden effect na 1 jaar nog zichtbaar was, of dat de referentielocatie altijd al afweek van de MZI-locatie voor de plaatsing van de MZI-installatie. Door het ontbreken van een nulmeting kan hierover geen uitspraak worden gedaan. Na twee jaar was het aantal MZI-installaties opgeschaald van 17 naar 36 en toen werd er wél een significant verschil gevonden in het gemiddeld percentage organisch koolstof van de verschillende zones. Daarnaast vertoonde de locatie na twee jaar een significant hoger organisch-koolstofgehalte in alle zones. Modelberekeningen lieten geen ophoping van organisch koolstof onder MZI-installatie zien. Dit verschil kan verklaard worden doordat het model geen rekening houdt met invang van organisch materiaal door bodemdieren en/of met zeer lokale

stromingspatronen. De meest voor de hand liggende verklaring voor het toegenomen percentage organisch koolstof is de opschaling van de MZI. Effecten van een methodisch verschil of temporele variatie zijn echter niet uit te sluiten. Op een andere, meer dynamische, locatie werd geen verschil in soortensamenstelling of aantal soorten met het omringende gebied waargenomen. Er werd ook geen significant verschil gevonden in het gemiddeld percentage organisch koolstof van de verschillende zones.

Observaties van mosselkwekers suggereren dat MZI-systemen kunnen bijdragen aan het ontstaan van mosselbanken. Een mogelijke verklaring is een tweede verspreiding van mosselbroed dat, na een eerste aanhechting op de MZI, zich na verloop van tijd opnieuw via de waterkolom verplaatst.

3.3. Aanpak

Effecten van depositie van organisch materiaal van MZI-mosselen op bodemfauna en bodemstructuur
Op negen MZI-locaties is de BACI-methodiek gevolgd. Dat wil zeggen monsternamen Before (T0, direct na installatie van de MZI-systemen) en After (T1, direct na oogst van de MZI-systemen) en zowel op Controle locaties (1000 m van MZI-systeem verwijderd) als op Impact locaties (tussen de MZI-systemen). Een minimale grootte van het MZI-project is een randvoorwaarde. Voor dit onderzoek konden alleen bodems worden geanalyseerd die al eerder verstoord zijn: MZI-locaties in geulen die al in gebruik waren in voorafgaande jaren en MZI-locaties op mosselpercelen die in gebruik zijn geweest voor mosselbodemcultuur. De te meten karakteristieken zijn: de hoeveelheid organisch koolstof, de C/N-ratio (geeft een indicatie van de versheid van het organisch koolstof) en de isotopen ^{13}C en ^{15}N (geven informatie over de herkomst van het materiaal). Ook zijn dezelfde parameters gemeten aan feces van MZI-mosselen. Hierdoor kan worden bepaald of feces verantwoordelijk zijn voor een verrijking van de bodem. De bemonstering is gefaseerd aangepakt. Dat wil zeggen dat in 2009 het proces van verrijking van de bodem met organisch koolstof is bestudeerd om inzicht te verkrijgen in omstandigheden waaronder bodems kwetsbaar kunnen zijn. Op basis van de resultaten is in 2010 besloten geen verder onderzoek uit te voeren naar dit onderdeel. Bij een eventueel vervolg is de timing van belang, omdat de nulmeting moet plaatsvinden in gebieden die nog niet eerder aan MZI-activiteiten zijn blootgesteld. Dit kan alleen in een jaar dat opschaling van het areaal plaatsvindt.

Effecten van aanwezigheid van MZI-systemen op ontstaan van mosselbanken
Sinds 2008 is een toenemende hoeveelheid mosselzaad invanginstallaties (MZI) aanwezig in de Waddenzee. De vraag is ontstaan of deze MZI's een gunstig effect hebben op zaadval op de bodem rond deze MZI's. Dit zou tot uiting kunnen komen in een verschuiving van de bodemzaadval richting de MZI locaties. Door historische en recente gegevens over verspreiding van mosselzaad te koppelen aan de aan- en afwezigheid van MZI's kan hier meer inzicht in worden verkregen. Voor het bepalen van de locatie van het mosselzaad op de bodem is gebruik gemaakt van gegevens uit de jaarlijkse mosselzaad inventarisatie van IMARES in het voorjaar. Hieruit zijn zwaartepunten berekend.

3.4. Effect van depositie van organisch materiaal van MZI-mosselen op bodem

Er zijn negen locaties geselecteerd voor de sediment bemonsteringen (Tabel 3.1)

Tabel 3.1. MZI-locaties waar bodembemonsteringen hebben plaatsgevonden in 2009.

Gebied	locatie (naam project)	type substraat	geul of perceel	diepte (m)
Oosterschelde	Vuilbaard (EMERGO)	net	geul	4.8
	Hammen 64 (Dhooge)	touw	perceel	8.4
	Slaak (van IJsseldijk)	net	perceel	6.9
	OSWD 205/206 (SMY)	touw	perceel	20.5
Waddenzee	Malzwin (West 6)	net	geul	7.1
	Malzwin (PD)	net	geul	8.2
	Scheurrak 32 (EMERGO)	net	perceel	8.5
	Scheurrak 59 (EMERGO)	net	perceel	4.5
	Scheer 9 (SMY)	touw	perceel	7.5

Het gemiddelde organisch-koolstofgehalte van het sediment varieerde sterk per transect; van 0.02% in het Malzwin (MZI PD) tot 1.9% bij OSWD 206. De waarden waren over het algemeen hoger in de Oosterschelde dan in de Waddenzee. Het percentage organisch koolstof aangetroffen in het sediment was veel lager dan dat van mossel feces (12%). Op geen van de transecten is een significante verhoging van het organisch-koolstofgehalte gevonden onder en op 50 meter afstand van de MZI's in vergelijking met 500 m en 1000 m er vandaan. De C/N-ratio van het sediment was over het algemeen hoger op tijdstip T1 dan op T0. De C/N-ratio van mossel feces was lager dan of ongeveer gelijk aan waarden gevonden in het sediment. Ook hier werd variatie gevonden langs de transecten, maar geen significante verhoging onder en op 50 meter afstand van de MZI's. Alleen op het transect Malzwin-PD was de C/N-ratio significant hoger op T1 dan op T0 op 500 m en 1000 m afstand van de MZI, maar niet onder de MZI en op 50 meter er vandaan. Er is geen verklaring voor dit onverwachte resultaat.

Het $\delta^{13}\text{C}$ -isotopensignatuur van het sediment varieerde tussen -26 (Scheurrak 32) en -18 (Vuilbaard). De waarde voor mossel feces was -21. Er werd geen significant verschil gevonden tussen transectdelen onder en op 50 meter afstand van de MZI's in vergelijking met 500 m en 1000 m er vandaan. Het $\delta^{15}\text{N}$ -isotopensignatuur van het sediment varieerde tussen 13.3 (Vuilbaard) en -1.8 (West 6). De waarde voor mossel feces was 10. Er werd geen indicatie gevonden dat onder en op 50 meter afstand van de MZI's de isotopensignatuur is veranderd richting mossel feces.

De transectbemonstering is bedoeld als een eerste inventarisatie van eventuele effecten. Zodoende is gekozen voor verschillende transecten (5 in Waddenzee en 4 in Oosterschelde) met als consequentie dat per transect minder monsters genomen konden worden. Dit betekent dat de schaal waarop gekeken is behoorlijk grof is. Alleen effecten die zich uitstrekken over gebieden groter dan 50m afstand van de MZI kunnen op deze manier worden gedetecteerd. Op deze schaal werd geen effect gevonden dat groter was dan de lokale variatie. Er kan geen uitspraak worden gedaan over aanwezigheid of afwezigheid van effecten op kleine schaal. Uit de resultaten blijkt dat er op de schaal van het transect geen aanwijzingen van verrijking van de bodem zijn. Mogelijk is lokaal (gebieden kleiner dan 50x50m) wel sprake van verrijking, maar dat is met de gebruikte methode niet te achterhalen.

3.5. Effecten van aanwezigheid van MZI-systemen op ontstaan van mosselbanken

De waarnemingen bevestigen de verwachting dat de zaadvondsten zich dichterbij de MZI-locaties concentreren (Fig. 3.1). Dit is vooral de laatste jaren met toegenomen MZI-oppervlak duidelijk. De grote ruimtelijke spreiding van zowel de MZI-locaties als de mosselzaad-vindplaatsen maakt dat het aantal vindplaatsen een sterke invloed heeft op de locatie van de zwaartepunten. Of de verschuiving van de mosselzaad-vindplaatsen richting MZI-locaties wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van MZI's is met de gebruikte methode niet vast te stellen. Om die vraag te beantwoorden is gericht veldonderzoek nodig.

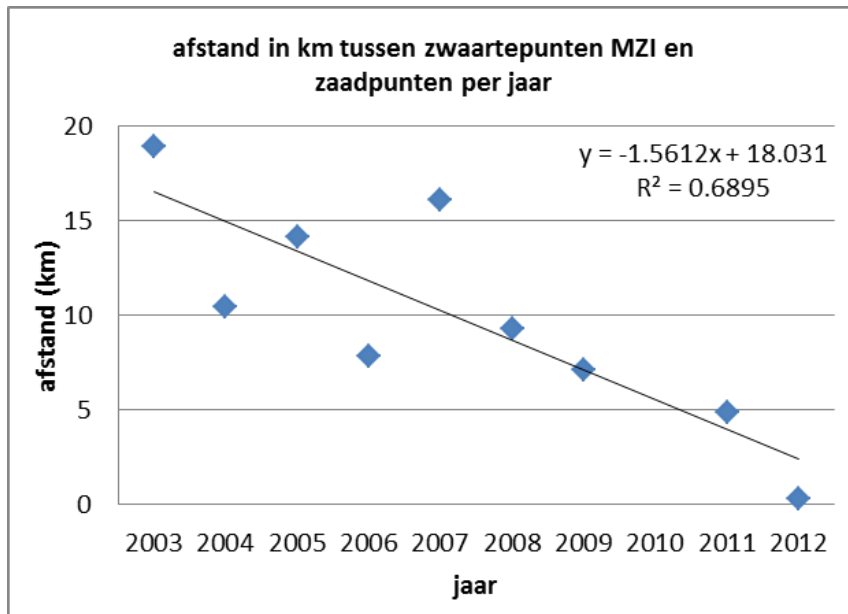


Fig. 3.1. Afstand, per jaar, tussen het zwaartepunt van de MZI locaties (totale oppervlak in km touw) en het zwaartepunt van de zaad vindplaatsen (weging op aantal).

3.6. Conclusies

Indien er een effect van depositie van feces van MZI-mosselen onder of in de buurt van MZI's aanwezig is moet dit zichtbaar worden bij de transectbemonstering. Het grootste effect wordt verwacht op het moment van grootste mosselbiomassa aan de MZI's: indien er een effect is zullen voor de gekozen meetvariabelen onder en in de buurt van de MZI's andere waarden worden aangetroffen dan op monsterstations verder van de MZI vandaan. Hierbij zou een verhoging van het organisch koolstofhalte, een hogere C/N-ratio en een verschuiving van de stabiele-isotopensignaturen $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ richting mossel feces worden verwacht. Dit effect kon niet worden aangetoond bij de transectbemonsteringen. MZI's worden geplaatst in gebieden met relatief veel stroming. Dit kan mogelijk een verklaring zijn voor het niet optreden van ophoping van organisch materiaal.

Op basis van dit resultaat heeft de opdrachtgever voor 2010 besloten geen verder onderzoek uit te laten voeren naar effecten van depositie van organisch materiaal van MZI-mosselen op bodemfauna en bodemstructuur. Indien, door voortschrijdend inzicht, toch besloten wordt tot een vervolg is de timing van belang, omdat de nulmeting moet plaatsvinden in gebieden die nog niet eerder aan MZI-activiteiten zijn blootgesteld. Dit kan alleen in een jaar dat opschaling van het areaal plaatsvindt.

Locaties waar mosselzaad wordt gevonden bevinden zich de laatste jaren dichterbij de MZI-locaties. Voor het achterhalen van de oorzaak is gericht veldonderzoek nodig.

4. Verstoring van vogels en zeehonden door MZI-activiteiten

4.1. Onderzoeksvragen

Vindt verstoring van vogels en zeehonden plaats door MZI-activiteiten in de Schaar van Renesse in de Voordelta en de Zuidmeep in de Waddenzee?

Zijn er aanwijzingen dat MZI's de aanwezigheid van de (gewone) zeehonden op de zandplaten beïnvloeden?

Gebaseerd op:

Cremer J., S. Brasseur & E. Meesters (2012) MZI's en zeehonden in de Waddenzee, een eerste aanzet tot een analyse. IMARES Rapport C133/12

Smit C. J., M. de Jong & R. H. Witte (2013) Effecten van MZI's op de aanwezigheid en het gedrag van specifieke vogelsoorten en zeehonden. IMARES Rapport C063/13

Smit C. J. & Jong, M. de (2011) Aantallen en verspreiding van Eiders, Toppers en zee-eenden in de winter van 2010 - 2011. IMARES Rapport C196/11

Smit C. J. & M. de Jong (2011) Aantallen en verspreiding van Eiders in de Waddenzee in het voorjaar van 2011 en van ruiende Bergeenden in augustus 2010 en 2011. IMARES Rapport C197/11

Smit C. J. & Jong, M. de (2012) Aantallen en verspreiding van Eiders en Toppers in de Waddenzee in het voorjaar van 2012. IMARES Rapport C167/12

4.2. Toelichting

In 2009 is door IMARES een Passende Beoordeling uitgevoerd over mogelijk geschikte en minder geschikte locaties voor MZI-installaties (Wiersinga et al., 2009). Geoordeeld werd dat er op de meeste locaties geen negatieve effecten van plaatsing en/of opschaling mogen worden verwacht op vogels en zeehonden maar dat op een tweetal locaties effecten niet op voorhand mogen worden uitgesloten. Dit was het geval in de Schaar van Renesse in de Voordelta (vanwege de aanwezigheid van concentraties Roodkeelduikers en een ligplaats van Gewone zeehonden) en in de Zuidmeep in de Waddenzee (vanwege de aanwezigheid van concentraties ruiende Bergeenden en omdat er een belangrijk geboortegebied van Gewone zeehonden in de directe omgeving ligt). De mogelijk negatieve effecten, vooral in de vorm van verstoring, zijn een gevolg van extra scheepvaartbewegingen in relatief rustige gebieden en het ter plaatse aanwezig zijn van schepen waarop werkzaamheden worden uitgevoerd. In de Passende Beoordeling werd geadviseerd om op deze locaties plaatsing van MZI's te combineren met aanvullend onderzoek.

4.3. Aanpak

Roodkeelduikers en zeehonden in de Voordelta

In de omgeving van de Schaar van Renesse zijn tellingen en waarnemingen uitgevoerd vanaf de duinen van de kop van Schouwen en vanaf de Brouwersdam, vanaf een aantal locaties vanwaar de Verklikkerplaat en de Schaar van Renesse goed kunnen worden overzien en vanwaar een deel van de Roodkeelduikers in de Schaar kan worden geteld. In 2010 en 2011 werd waargenomen vanaf 3 locaties, in 2012 vanaf 10 locaties. De tellingen werden uitgevoerd in de periode 20 februari t/m 29 april. Per week werd gedurende 3 dagen (2010) of 2 dagen (2011 en 2012) waargenomen, steeds verdeeld over de dagen zondag t/m dinsdag. Hierdoor kunnen de effecten in zowel de periode voor de installatie van MZI's, tijdens de installatie als tijdens het in gebruik zijn worden bestudeerd. De waarnemingen zijn zo opgezet dat hiermee ook de verspreiding van Roodkeelduikers in kaart kan worden gebracht en dat deze ook de mogelijkheid bieden om de gedragingen als gevolg van recreatie (vooral op zondag) te onderzoeken. Op deze wijze kan worden nagegaan welke bijdrage recreatie levert aan het verstoren van Roodkeelduikers en zeehonden en in hoeverre cumulatie van effecten (met MZI's en

windsurfen/kitesurfen) optreedt. Om specifiek aanwezig te zijn als er aan MZI's wordt gewerkt zijn afspraken met MZI-ondernemers gemaakt.

Bergeenden en zeehonden in de Zuidmeep

In de nabijheid van de Zuidmeep zijn waarnemingen uitgevoerd vanaf een schip, dat op een zodanige afstand was afgemeerd dat hiervan geen effecten op vogels mogen worden verwacht. Hierbij zijn gedurende 2 dagen in juli, en 2 dagen in augustus 2010 waarnemingen uitgevoerd om het gedrag van de in de omgeving van de MZI-locatie aanwezige Bergeenden vast te leggen. Zeehonden op nabijgelegen platen zijn ook geobserveerd. Uit in de afgelopen jaren uitgevoerde tellingen vanaf het land en vanaf schepen is duidelijk geworden dat in de zomer ruiende Bergeenden uit een zeer uitgestrekte groep bestaat waarvan mogelijk een deel door MZI-activiteiten wordt beïnvloed. Teneinde het verspreidingsgebied van ruiende Bergeenden en Eiders in kaart te brengen is in augustus 2010 een gerichte vliegtuigtelling en in augustus 2011 een Waddenzee-brede vliegtuigtelling uitgevoerd.

Verspreiding Eiders in de Waddenzee

In zijn algemeenheid kunnen we stellen dat overwinterende Eiders wegtrekken in de loop van maart, Toppers iets eerder. Om de effecten van plaatsing van MZI's goed te kunnen inschatten moeten we meer weten over de verspreiding van deze vogels over de Waddenzee. Het effect van het intrillen van palen waarmee MZI's worden verankerd werd niet meegenomen in de Passende Beoordelingen (Wiersinga et al., 2009; Smaal & Hartog, 2010). De in het verleden uitgevoerde tellingen beslaan het seizoen november t/m februari, in maart en april is hoogst zelden geteld. Vanaf 2011 wordt niet meer buiten de maand januari geteld. Vanwege de wens om het plaatsen van de MZI's te vervroegen en de mogelijke effecten hiervan op overwinterende Eiders te onderzoeken zijn 6 vliegtuigtellingen in de westelijke Waddenzee uitgevoerd (februari, maart en april 2011 en februari (2x) en maart 2012). In 2012 is speciaal aandacht gegeven aan het intrillen van palen die gebruikt worden voor verankering van MZI's.

Analyse meerjarige zeehondentellingen Waddenzee

Tellingen van Gewone zeehonden in de Internationale Waddenzee vinden plaats sinds het midden van de jaren '60. De zeehonden die bij laag water op de zandbanken aanwezig zijn worden vanuit een vliegtuig geteld. Dit wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie dat in Nederland verantwoordelijk is voor het natuurbeheer; sinds 2000 is er ook een specifieke monitoring voor Grijze zeehonden. Tijdens de zoogperiode in juni worden de aantallen Gewone zeehondenpups bepaald en in augustus, tijdens de verharingsperiode, wordt de hele populatie geteld. De getallen worden geaggregeerd gerapporteerd, maar zijn voor het huidige project per ligplaatsgebied geanalyseerd. Voor deze studie zijn aantallen Gewone zeehonden en hun jongen in gebieden met MZI's vergeleken met referentiegebieden waar geen MZI's geplaatst waren.

4.4. Roodkeelduikers en zeehonden in de Voordelta

De aantallen Roodkeelduikers in de Schaar van Renesse in februari kunnen van jaar op jaar sterk fluctueren, maar over de hele linie is er een vrij constant aantal in het gebied aanwezig, dat in de laatste jaren tendeert naar een afname (Fig. 4.1a). De aantallen in maart zijn in de meeste jaren hoger dan in februari en vertonen een sterk fluctuerend beeld waaruit geen duidelijke trend blijkt (Fig. 4.2). De lagere aantallen in 2010 en 2011 lijken niet direct een gevolg te zijn van de aanwezigheid van de MZI's die vanaf 2005 in het gebied aanwezig zijn. Ook in gebieden op grotere afstand van de MZI, die in 2010 en 2011 gedurende de gehele winter aanwezig was, liggen de aantallen op een beduidend lager niveau dan in 2005 en 2006 (Fig. 4.1b). De aantallen in 2012 zijn weer duidelijk hoger en liggen op sommige telposten op een vergelijkbaar niveau als in 2005 en 2006. Gezien de afstand tot de MZI bij Renesse

(afstand >3 km) is een effect van deze MZI niet zeer waarschijnlijk, temeer omdat in de winter en het vroege voorjaar zeer weinig activiteiten rond deze MZI plaatsvinden. Helaas kon in 2010 en 2011 geen onderzoek in een echte nul-situatie worden uitgevoerd. De reden hiervoor is dat op één locatie in de Schaar van Renesse een MZI gedurende de gehele winter blijft liggen. Deze locatie is ook voor 1 april zo nu en dan door mosselvisser bezocht. De frequentie hiervan is echter laag zodat hiervan voor de in 2010 en 2011 bestudeerde situatie geen zeer sterk versturende effecten mogen worden verwacht. Menselijke activiteiten kunnen lokaal wel tot lagere aantallen Roodkeelduikers leiden. Observaties tijdens werkzaamheden aan MZI's gaven aan dat Roodkeelduikers van naderende schepen wegzwommen of vlogen. De MZI-activiteiten op 5 en 6 maart 2012 gaan gepaard met lage aantallen op het telpunt Renesse, terwijl er op 4 maart (zonder MZI-activiteiten) juist veel Roodkeelduikers aanwezig waren (Fig. 4.3). In enkele gevallen zijn ook hogere aantallen vastgesteld terwijl toch recreatieve druk in de omgeving of andere menselijke activiteiten aanwezig waren. De uitgevoerde waarnemingen leveren dus geen eenduidig beeld op.

Er blijkt geen duidelijk effect te zijn van de aanwezigheid van de MZI's op de verspreiding van Roodkeelduikers (Fig. 4.4). Een statistische analyse, op basis van de gecombineerde resultaten in 2010, 2011 en 2012 laat zien dat 70% van de waargenomen variatie in de aantallen wordt verklaard door de factor tijd (dagnummer). Verstoring, als gevolg van scheepsbewegingen, recreatieverkeer en werkzaamheden bij MZI's, draagt 2% bij aan het genoemde percentage maar deze bijdrage is niet significant. Op basis hiervan moet worden geconstateerd dat menselijke activiteiten wel een tijdelijk en lokaal effect kunnen hebben op de verspreiding van Roodkeelduikers in het Brouwershavensche Gat, maar niet op de totaal aanwezige aantallen.

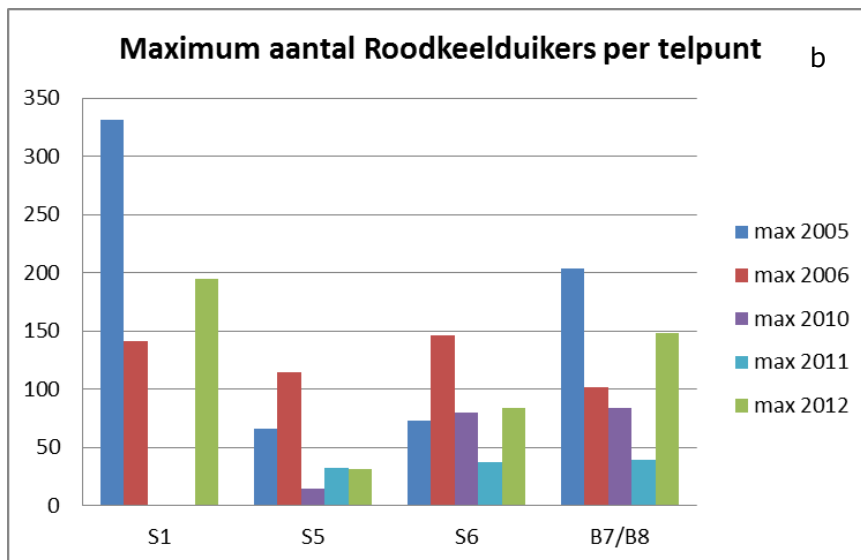
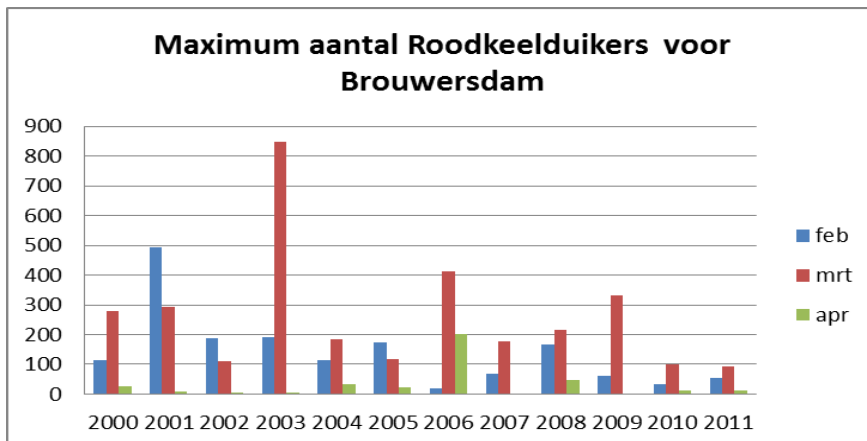
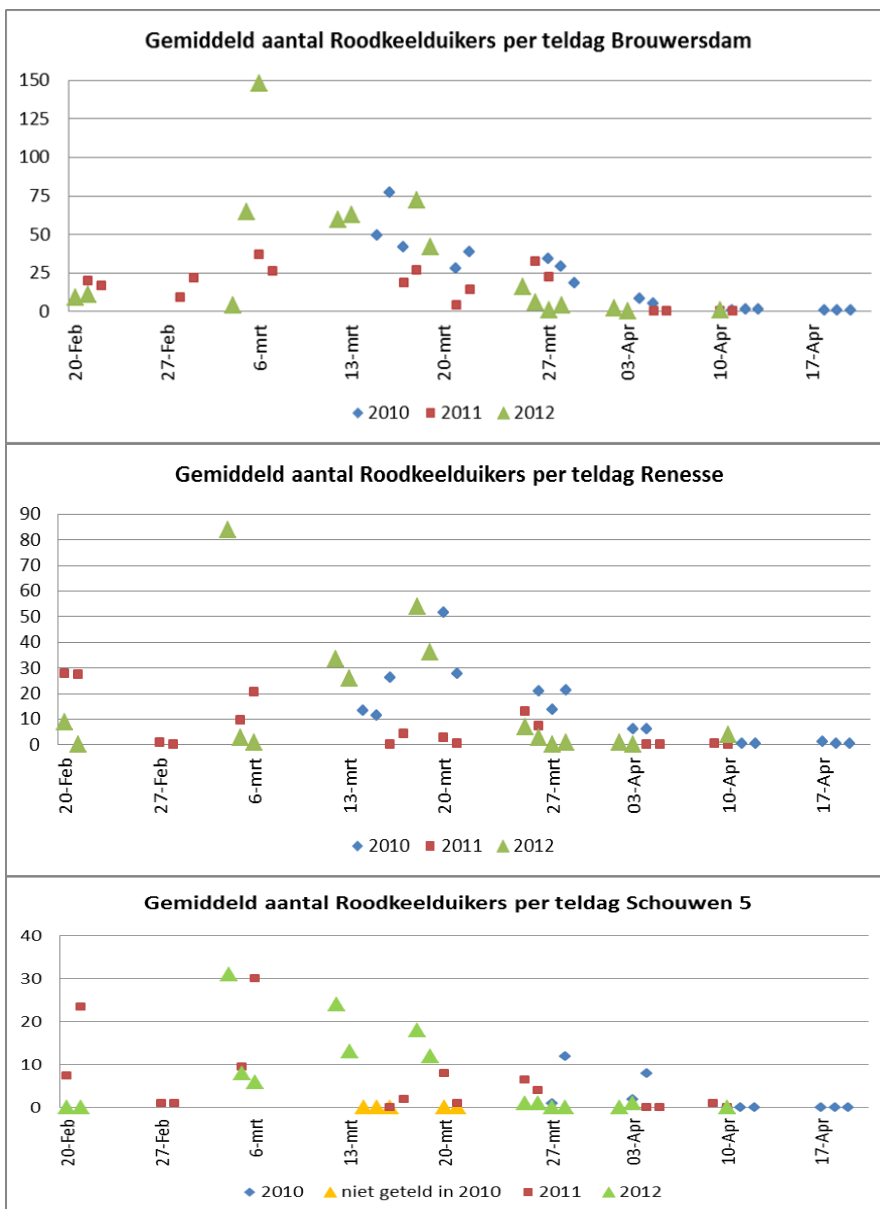


Fig. 4.1. (a) Maximum aantal Roodkeelduikers per maand in het gehele telgebied Brouwershavensche Gat / Schaar van Renesse, gemonitord in het kader van de MWTL-RWS. Bron: Rijkswaterstaat – BasisInfo desk. (b) Vergelijking tussen de tellingen van Bureau Waardenburg van 4 telposten rond het Brouwershavensche Gat in de jaren 2005-2006 (Poot et al., 2006) en tellingen die in 2010 t/m 2012 zijn uitgevoerd in het kader van dit project.

Tijdens de uitgevoerde waarnemingen heeft de aandacht zich nadrukkelijk gericht op de aantallen Roodkeelduikers rond der Schaar van Renesse. Bij drijvende Roodkeelduikers die zich met de stroom laten meevoeren, en daarbij de MZI's naderen, is enkele keren een gedragsverandering waargenomen. Het gedrag veranderde van rustend naar kop-op en bij te dicht naderen tot opvliegen. In hetzelfde gebied is echter ook waargenomen dat Roodkeelduikers op een afstand van enkele honderden meters van de MZI gewoon foerageerden. Dit verschil in gedrag zou kunnen worden veroorzaakt doordat sommige duikers gewend zijn geraakt aan de MZI omdat ze al langer in het gebied verblijven, terwijl andere exemplaren net zijn aangekomen uit verder zuidwaarts gelegen overwinteringsgebieden. Intrillen van palen is boven water nauwelijks hoorbaar. Tot op heden is echter onvoldoende goed in kaart gebracht hoe deze vogels zich over een groter gebied verspreiden wanneer zij zijn verstoord en wat het specifieke belang is van het gebied waar de MZI's zijn of worden geplaatst.



a

b

c

Fig. 4.2. Tellingen die in 2010, 2011 en 2012 op telposten (a) B7=Brouwersdam, (b) S6=Renesse en (c) S5=Schouwen 5 zijn uitgevoerd. Voor informatie over de ligging van de locaties vanaf waar werd waargenomen zie Figuur 4.4.

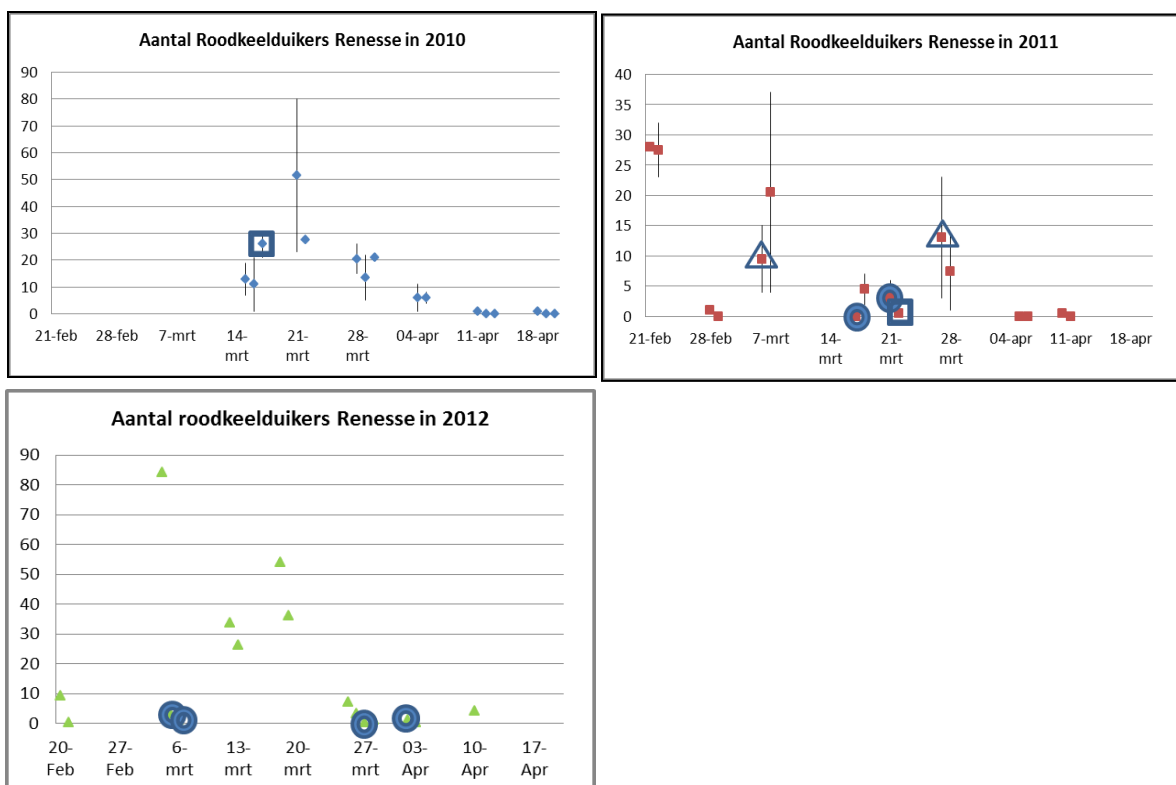
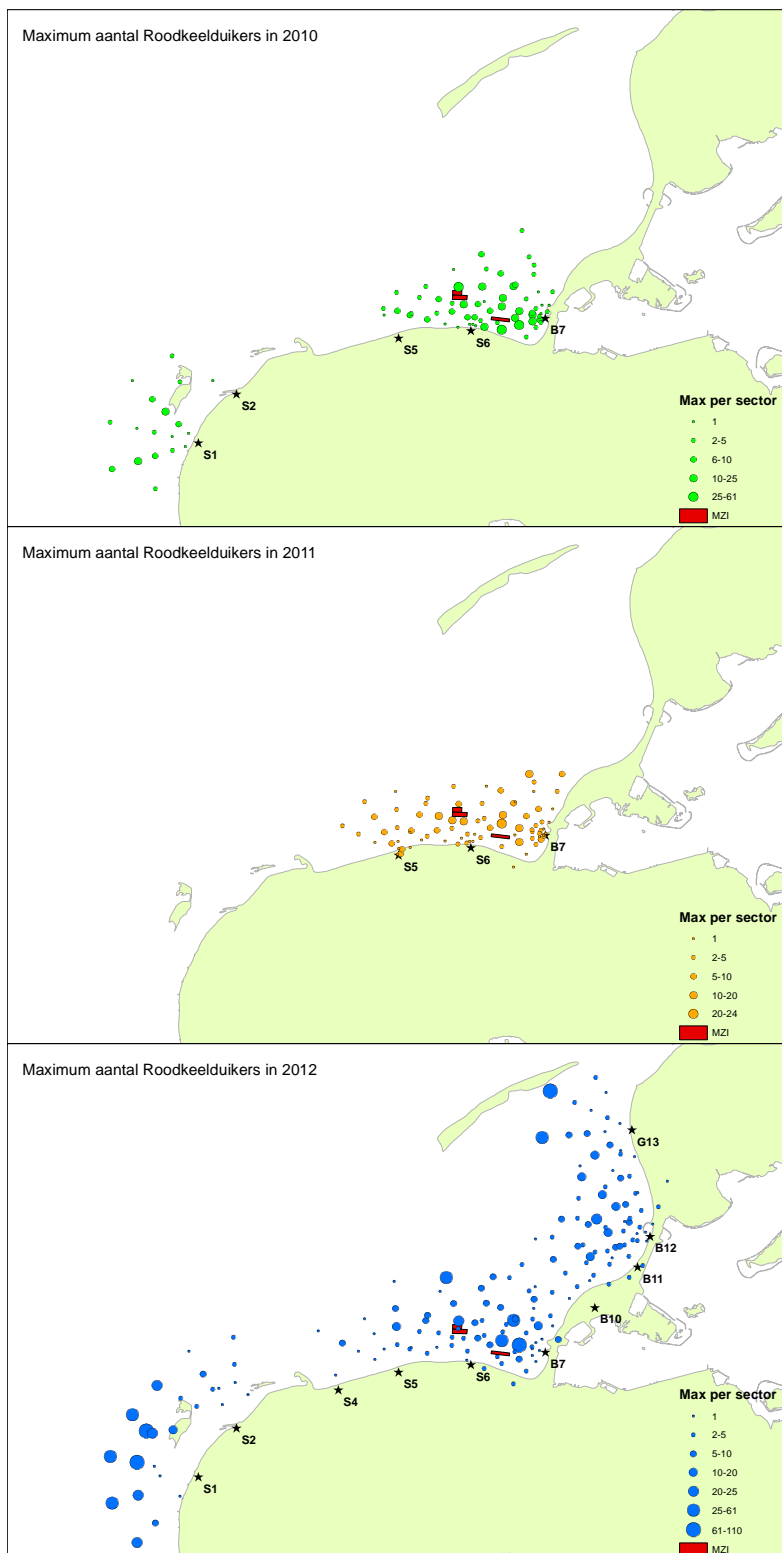


Fig. 4.3. Gemiddelde aantallen Roodkeelduikers (gekleurde stip) en de range van de getelde aantallen zoals die zijn waargenomen vanaf de locatie Renesse (S6) per teldag. De blauwe symbolen in de figuren verwijzen naar activiteiten en werkzaamheden op een bepaalde dag. Ronde symbolen duiden op MZI-activiteiten, vierkanten op werkzaamheden ten behoeve van peilingen of surveillance en driehoeken op recreatief verkeer.

De in de Schaar van Renesse aanwezige zeehonden worden soms verstoord door scheepvaart in deze geul (ten behoeve van surveyance en visserij), en in beperkte mate door recreatievaart (kano's, een enkele kitesurfer). Uit de waargenomen reacties blijkt dat scheepvaart soms tot gevolg heeft dat zeehonden te water gaan. Uit de in het voorjaar verzamelde waarnemingen (2010-2012) blijkt echter ook dat de frequentie van de vaarbewegingen laag is en geen duidelijk negatief effect op de aanwezige aantallen de zeehonden en hun gedrag heeft.

4.5. Bergeenden en zeehonden in de Zuidmeep

Uit de waarnemingen in de Zuidmeep in 2010 blijkt dat er geen reactie is waargenomen van vaarbewegingen en werkzaamheden rond MZI's en mosselpercelen op de aanwezige vogels en zeehonden in de Zuidmeep. Ook werden geen effecten waargenomen van werkzaamheden op Eiders die aanwezig waren op de aan de noordelijke rand van de Zuidmeep aanwezige mosselpercelen. Dit betekent niet dat er geen effecten optreden omdat alleen een beeld kan worden verkregen van de vogels en zeehonden die nog ter plaatse in het gebied aanwezig zijn en de waarnemingen slechts momentopnamen betreffen. Om deze reden, en om het verspreidingsgebied van ruiende Bergeenden en Eiders in kaart te brengen, zijn aanvullende vliegtuigtellingen uitgevoerd (zie 4.6).



a

b

c

Fig. 4.4. Maximum aantal Roodkeelduikers dat per telpunt werd vastgesteld op basis van de inschatting van afstand waarnemer-vogel en de geschatte hoek ten opzichte van de telpunten in (a) 2010, (b) 2011 en (c) 2012. In 2010 werd waargenomen op de telpunten S1, S5, S6 en B7, in 2011 op de telpunten S5, S6 en B7 en in 2012 op alle telpunten die in de figuur zijn weergegeven.

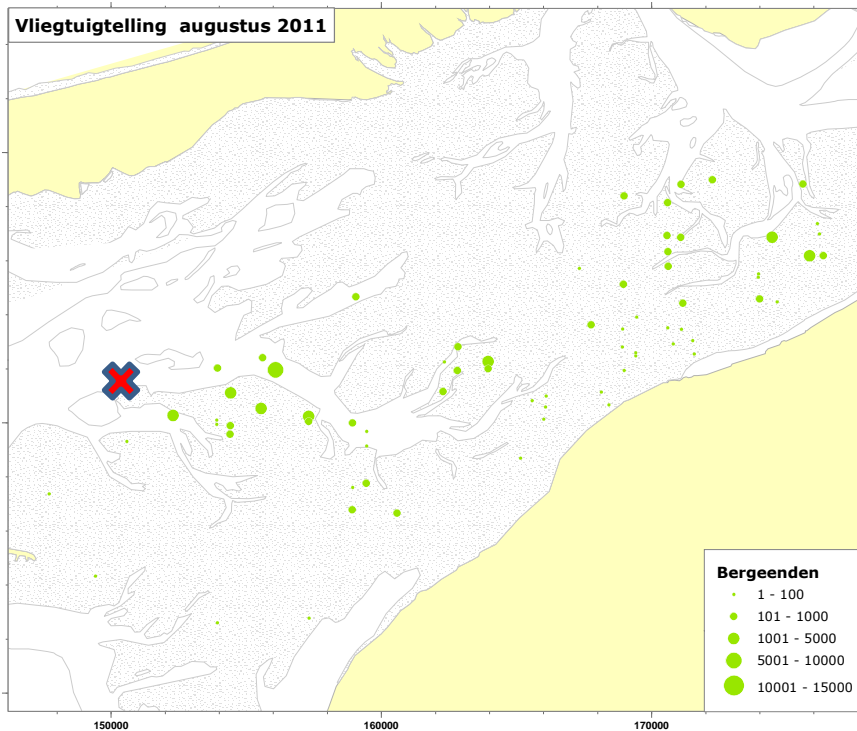
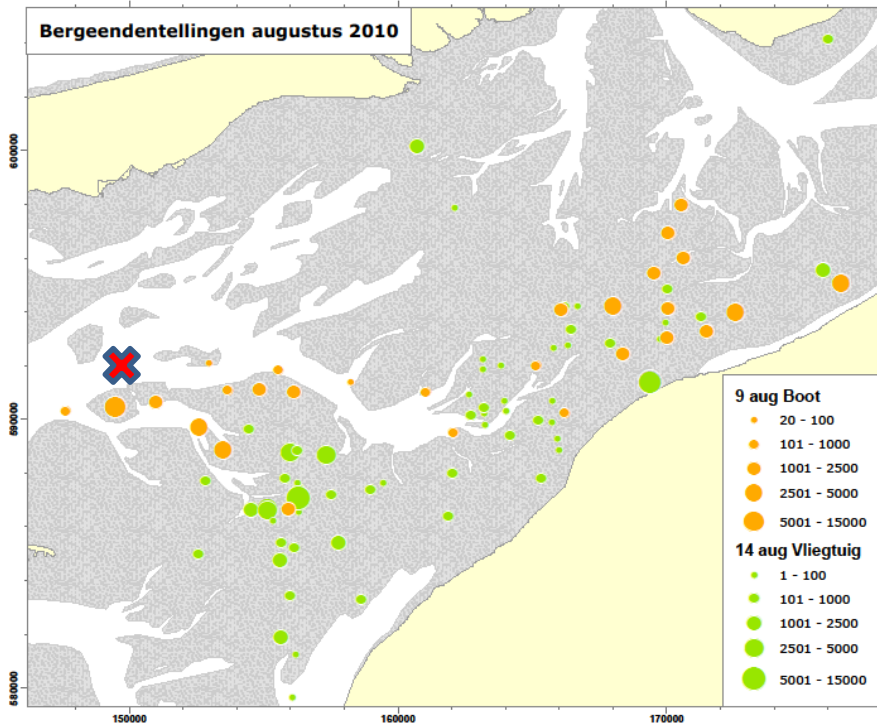
4.6. Verspreiding van Bergeenden en Eiders in de Waddenzee

Bergeenden zijn tijdens de rui kwetsbaar omdat ze gedurende enkele weken niet kunnen vliegen. Het feit dat Bergeenden in grote aantallen in de Nederlandse Waddenzee ruien is een betrekkelijk recent verschijnsel. In 1988 verschenen de eerste groepen ruiende Bergeenden op het wad bij Wieringen. De hier aanwezige aantallen namen snel toe tot maximaal 9700 vogels in augustus 1991. In dat jaar werden ook 16.000 ruiende Bergeenden geteld langs de Friese waddenkust ten noorden van Sint Jacobiparochie en Holwerd. Terwijl de aantallen bij Wieringen geleidelijk afnamen, namen ze toe langs de Friese kust. Dit verspreidingsbeeld heeft zich in de erop volgende jaren geconsolideerd. Tellingen van deze vogels worden in de laatste jaren uitgevoerd in het kader van trilaterale afspraken, onder andere om een compleet beeld te krijgen van de ontwikkeling van de populatie ruiende vogels. Het aantal ruiende vogels in Duitsland is in de afgelopen jaren afgenomen van meer dan 200.000 naar minder dan 150.000 vogels. De resultaten van de tellingen uit de laatste jaren wijzen erop dat het rui gebied van de Bergeenden zich gedeeltelijk heeft verplaatst van de Duitse naar de Nederlandse Waddenzee.

Tijdens de telling in augustus 2010 zijn in totaal 55.175 Bergeenden geteld (Figuur 4.5). Dit aantal komt vrij goed overeen (+ 11%) met de 49.660 Bergeenden die op 9 augustus 2010 zijn geteld vanaf de EL&I-schepen MS Stormvogel en Krukel. Deze telling is uitgevoerd door medewerkers van SOVON en de WaddenUnit van het Ministerie van EL&I. Tijdens de waarnemingen bij de MZI in de Zuidmeep werden op 9 augustus 2010 7800 Bergeenden geteld. Dit aantal komt goed overeen met het aantal dat in dit gebied is geteld vanaf de MS Stormvogel (7460 Bergeenden). Op 7 en 8 augustus 2011 zijn er tijdens een vliegtuigtelling 31.537 Bergeenden geteld in de gehele Waddenzee (Fig. 4.5). Dit zijn er veel minder dan in 2010 en ook veel minder dan tijdens de telling van 8 augustus 2011 vanaf de EL&I-schepen Stormvogel en Krukel. Deze leverde 49.120 Bergeenden op. De verklaring voor het veel lagere aantal is dat op 7 augustus onder invloed van een opkomend tij, een waterstandsverhoging van 50 cm en een harde Zuidwesten wind van 5 Bft grote groepen Bergeenden uit het op deze dag getelde gebied verder naar het oosten zijn afgedreven, dat wil zeggen buiten het gebied waar ze in de afgelopen jaren steeds zijn aangetroffen. Omdat een integrale telling van de in de Waddenzee aanwezige eenden 2 dagen in beslag neemt en de eenden zich een dag later weer in westelijke richting kunnen hebben verplaatst kan een deel van de aanwezige Bergeenden in 2011 zijn gemist. De in 2010 en 2011 uitgevoerde tellingen suggereren dat Bergeenden, ondanks het feit dat ze in de ruitijd niet kunnen vliegen, toch relatief mobiel zijn en zich door wind en getijdestroming over grote afstanden kunnen verplaatsen (voor nadere details zie Kleefstra et al., 2011).

Uit de in het voorjaar van 2011 uitgevoerde vliegtuigtellingen blijkt dat in februari 2011 slechts 38.074 Eiders zijn geteld. Dit aantal is laag ten opzichte van eerder in deze winter vastgestelde aantallen, maar zeker ook ten opzichte van andere tellingen in februari. Met nog geen 1500 Eiders in de oostelijke Waddenzee is vooral daar het waargenomen aantal erg laag. Ongeveer 90% van de getelde Eiders was aanwezig in de westelijke Waddenzee. Alleen in het gebied tussen Vlieland, Terschelling en Harlingen was nog een groot aantal van 34.317 Eiders aanwezig. De daling in de aantallen die in februari inzette heeft zich in maart 2011 verder doorgezet. Er werden in deze maand slechts 24.590 Eiders geteld. Het aantal in 2011 is gehalveerd ten opzichte van de jaren 2001 en 2002. De aantallen namen vooral af in het gebied tussen Vlieland, Terschelling en Harlingen maar hier is nog wel verreweg het hoogste aantal aanwezig. Tijdens de telling in april 2011 zijn erg weinig Eiders geteld: in totaal slechts 7.750.

De telling in augustus 2011 was de eerste integrale telling van Eiders die in deze maand in de Waddenzee is uitgevoerd. Dit is de periode waarin de Eiders hun slagpenrui doormaken waardoor ze gedurende een periode van enkele weken niet kunnen vliegen.



Figuur 4.5. Verspreiding Bergeenden tijdens een telling vanaf een schip (MS Stormvogel) op 9 augustus 2010 en op basis van een vliegtuigtelling van 14 augustus 2010 en vliegtuigtellingen van 7 en 8 augustus 2011. Het kruis in de figuur geeft de locatie van de MZI in de Zuidmeep weer.

Ook in augustus bevindt zich het grootste deel van de Eiders in het gebied tussen Vlieland, Terschelling en Harlingen. Wanneer voor de Eider een vergelijking wordt gemaakt van de modelberekeningen uit 1987 (op basis van Swennen et al., 1989) met de resultaten die in 2011 zijn verzameld blijkt dat de aantallen in de oostelijke Waddenzee in het verleden steeds veel lager waren dan die in het westelijke deel, en dat dit nog steeds het geval is. De in 2011 in het oostelijke deel aanwezige aantallen zijn echter beduidend lager dan de modelberekeningen voor het jaar 1987, met uitzondering van de aantallen in de maanden november en december. Vooral de relatief sterke afname in februari en in maart is opmerkelijk. Waren in de jaren '80 nog 140.000 Eiders aanwezig in februari en 70.000 in maart, tijdens de tellingen in het vroege voorjaar van 2011 waren van deze soorten respectievelijk slechts 38.000 en minder dan 25.000 exemplaren aanwezig. Hieruit blijkt dus niet alleen dat de aantallen Eiders in de Nederlandse Waddenzee in december en januari zijn gehalveerd, in februari t/m april zijn ze nog sterker afgenomen. Dit betekent dat de periode waarin de hoogste aantallen aanwezig zijn aanzienlijk lijkt te zijn versmald.

Uit een vergelijking van de aantallen uit de tellingen van februari (voor de plaatsing van MZI's) en in maart 2011 (vlak nadat een aantal MZI's waren geplaatst) blijkt dat binnen een gebied met een straal van 1000 m rond deze MZI's vrijwel geen Eiders meer aanwezig waren terwijl de aantallen in een gebied in de wijdere omgeving waren toegenomen. Dit is een aanwijzing dat plaatsing van MZI's, en de daarmee gepaard gaande werkzaamheden en geluidsproductie, tot effect heeft de directe omgeving van de MZI gedurende een bepaalde tijd wordt gemeden. Een vlieguitgusting uit maart 2012 geeft echter een duidelijk ander beeld. Toen waren er procentueel veel vogels aanwezig binnen een straal van 500 meter van de kort tevoren geplaatste MZI's.

4.7. Analyse meerjarige zeehondentellingen Waddenzee

De voor de Nederlandse Waddenzee geaggregeerde teldata van de Gewone zeehond werden opgedeeld in gebieden, verdeeld door wantijen (Fig. 4.6). Het lange-termijn beeld voor de zeehondenpopulatie in de Waddenzee is dat van een voorspoedig herstel na een kritisch minimum in de jaren '80 en een sterke daling van de aantallen door een virusepidemie in 2002 (Fig. 4.7a). In vergelijking met andere gebieden blijkt dat in de deelgebieden 01 en 13, waarin de meeste MZI's aanwezig zijn en waarin ze ook het langst MZI's geplaatst zijn, de aantalsgroei achterblijft ten opzichte van de andere gebieden sinds de plaatsing van de MZI's. Alleen verder, specifiek, onderzoek kan aantonen of er een directe link is tussen de aanwezigheid van MZI's en het aantal zeehonden. Het is opvallend dat het relatieve aantal pups (per totaal aantal zeehonden) in de MZI-gebieden (01, 03 en 13) de laatste 2 jaar toeneemt (Fig 4.7b).

Om de effecten nader te onderzoeken zijn, naast de onderscheiden grotere deelgebieden, ook enkele kleinere gebieden geselecteerd. Ook in deze vergelijking is een onderscheid gemaakt in gebieden met en zonder MZI's. Deze gebieden zijn zodanig gekozen dat er logische eenheden ontstaan, bijvoorbeeld alle ligplaatsen langs één geul. In het Amsteldiep (met MZI's) dalen de aantallen in aanwezigheid van MZI's (Fig. 4.7c). In het Mosselgaatje nemen de aantallen onregelmatig toe, ondanks de aanwezigheid van MZI's. In jaren met een sterke toename van het aantal MZI's (bijv. 2003, 2008 en 2010) daalt daar het aantal getelde zeehonden. Daarentegen was de toename in getelde aantallen zeehonden groter in 2009, toen het aantal MZI's verlaagd werd. Bij een gelijkblijvend aantal MZI's (2003-2004, 2005-2007) in het Mosselgaatje stijgt het aantal getelde zeehonden of blijft het gelijk. Deze aantalsveranderingen zouden kunnen duiden op een mogelijk effect van de MZI's. Iets vergelijkbaars zien we ook in het Amsteldiep. Hoewel in 2005, bij de plaatsing van de eerste MZI's de aantallen toenemen, nemen ze daarna weer af. In het Lange Gat (zonder MZI) nemen de aantallen, met uitzondering van 2007, gestaag toe. Het is bij deze analyses niet duidelijk of de vastgestelde veranderingen in getelde aantallen direct het gevolg zijn van de aanwezigheid van MZI's.

De zeehondenpopulatie maakt in de Waddenzee een grote groei door omdat het herstellend is van jarenlange jacht (tot 1960), geremde voortplanting door de aanwezigheid van gechloreerde koolwaterstoffen in het voedsel (jaren '60-'80) en een halvering van de aantallen in 2002 vanwege een virusinfectie. In een groeiende populatie zijn effecten van verstoring moeilijker te meten dan in een populatie in evenwicht. De interpretatie van de veranderingen in aantallen wordt verder bemoeilijkt omdat de gebruikte data niet werden verzameld met het doel deze analyses uit te voeren. Het detail dat nodig is lijkt ontoereikend om harde uitspraken over de mogelijke effecten van de aanwezigheid van MZI's en de daar plaatsvindende werkzaamheden te kunnen doen. Daarnaast is de monstergrootte (drie gebieden waar MZI's werden geplaatst) zeer klein. Met behulp van statistische analyses is gekeken of een effect meetbaar was in het deelgebied met de zwaarste belasting, dat wil zeggen met de meeste MZI's en de langste historie. In dit geval was het effect van MZI's negatief: meer MZI's correleerde met minder zeehonden. In gebieden met veel MZI's blijft de groei van de getelde aantallen significant achter ten opzichte van de waargenomen totale groei in de Waddenzee. Het relatieve aantal pups, per totaal getelde aantal zeehonden neemt in de deelgebieden 01 en 13 (met MZI's) de laatste 2 jaar toe, in lijn met de groei van het percentage pups in de totale populatie. Op kleinere schaal blijkt de verhouding pup/adult in het MZI-vrije gebied Lange Gat groter te zijn dan in het Mosselgaatje (met MZI's) (Fig. 4.8).

In het licht van de gevonden (statistisch significante) verbanden blijkt het des te belangrijker om specifiek op de vraagstelling gerichte data te verzamelen en nadere analyses uit te voeren. Zonder begrip van de mogelijke mechanismen achter de aantalsfluctuaties en inzicht in cumulerende factoren, zoals de veranderingen in andere menselijke activiteiten in de meetperiode in het gebied, is het niet mogelijk aan te geven of en hoe de aanleg en aanwezigheid van MZI's hebben bijgedragen tot mogelijke variatie in getelde aantallen. Het uitsluiten of bepalen van effecten van MZI's op de zeehonden kan alleen door specifiek hierop gericht onderzoek.

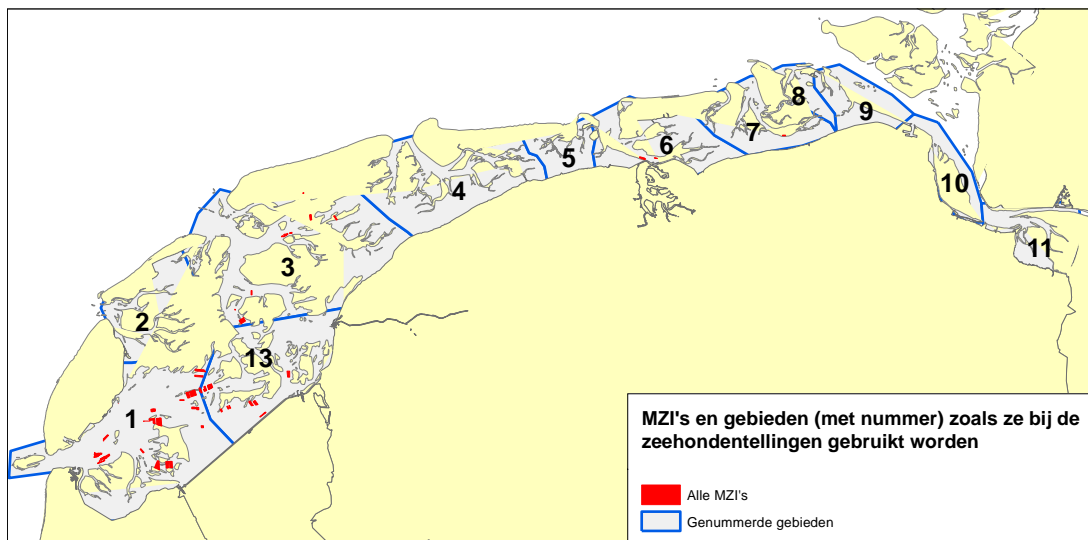


Fig. 4.6. Overzicht van de Waddenzee met de genummerde stroomgebieden zoals ze bij de zeehondentellingen worden gebruikt en de MZI-locaties die sinds 2003 in gebruik zijn of zijn geweest.

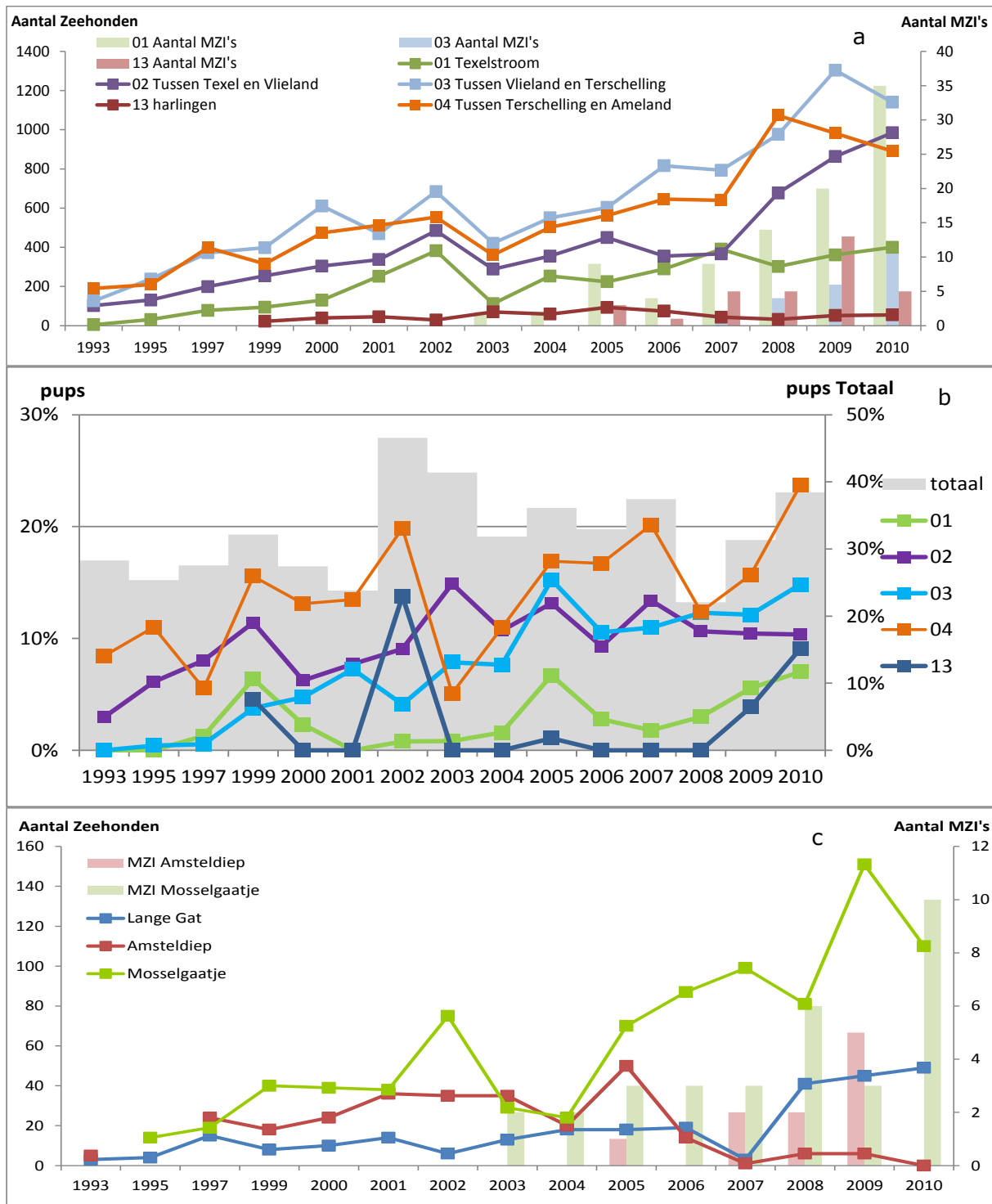


Fig. 4.7. (a) Aantal zeehonden in de verschillende gebieden van de westelijke Waddenzee (lijnen) en de aanwezigheid van MZI's in aantallen (kolommen). Weergegeven zijn gegevens uit de gebieden 01 met MZI, 02 zonder MZI, 03 met MZI, 04 zonder MZI en 13 met MZI. (b) Pups per gebied (lijnen) (als percentage van het totaal aantal zeehonden in het betreffende gebied (kolommen)). (c) Aantal zeehonden (lijnen) in een aantal kleinere gebieden met MZI's (Amsteldiep, Mosselgaatje) (kolommen) en zonder MZI's (Lange Gat). In 2002 vond sterfte als gevolg van een virusuitbraak plaats.

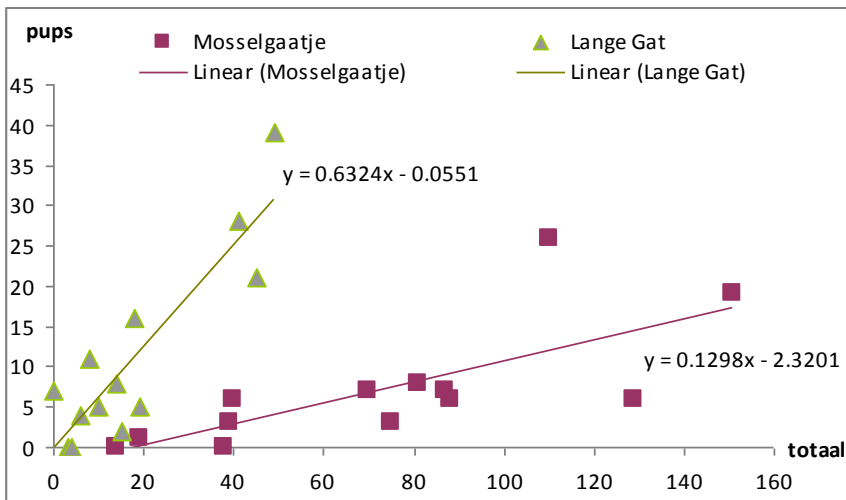


Fig. 4.8. Relatie tussen het maximaal aantal pups in juni (y-as) en het maximaal aantal zeehonden in augustus (x-as) in de jaren 1993-2010. Ieder punt vertegenwoordigt 1 jaar, exclusief 2003 en 2004 vanwege afwezigheid van detail op ligplaatsniveau.

4.8. Conclusies

In de meeste jaren blijken de aantallen Roodkeelduikers in het Brouwershavensche Gat in april erg laag te zijn. Deze aantallen zijn lager dan op grond van gegevens uit 2005 en 2006, die gebruikt werden in de Passende Beoordeling, werd verwacht. Op basis van dit gegeven mogen we concluderen dat wanneer MZI's in april worden geplaatst er dus geen significant effect op deze soort is te verwachten. Er was vanaf 2005 echter sprake van een permanente aanwezigheid van één MZI gedurende de gehele winter. Er is dus bestudeerd in hoeverre de aanwezigheid van deze MZI gedurende de hele winter een effect heeft op de aanwezige aantallen Roodkeelduikers. De aantallen Roodkeelduikers in februari kunnen van jaar op jaar sterk fluctueren, maar over de hele linie is een vrij constant aantal in het gebied aanwezig, met tussen 2009 en 2011 een licht dalende trend. In 2012 zijn weer hogere aantallen gevonden. De lagere aantallen in 2010 en 2011 lijken niet direct een gevolg te zijn van de aanwezigheid van de MZI's. Ook in gebieden op grotere afstand van de MZI, die in 2010 en 2011 gedurende de gehele winter aanwezig was, liggen de aantallen op een beduidend lager niveau dan in 2005 en 2006. Dit is onder andere het geval op de telpost Brouwersdam. Gezien de afstand tot de MZI bij Renesse (afstand >3 km) is een effect van deze MZI niet zeer waarschijnlijk, temeer omdat in het vroege voorjaar van 2010 en 2011 zeer weinig activiteiten rond deze MZI zijn waargenomen. Op basis van de uitgevoerde statistische analyse wordt geconcludeerd dat vaarbewegingen, werkzaamheden aan MZI's en recreatieve activiteiten geen effect hebben op de aanwezige aantallen Roodkeelduikers in het Brouwershavensche Gat. Observaties geven aan dat menselijke activiteiten (scheepvaartbewegingen, recreatie, werkzaamheden) echter wel een tijdelijk en lokaal effect kunnen hebben op de verspreiding van Roodkeelduikers binnen dit gebied. Effecten kunnen dan ook niet worden uitgesloten wanneer op een geheel andere locatie tot plaatsing van nieuwe MZI's wordt overgegaan omdat dit de uitwijkmogelijkheden van Roodkeelduikers binnen het Brouwershavensche Gat doet verminderen.

Uit tellingen van ruiende Bergeenden vanuit de lucht blijkt dat het gebied rond de MZI in de Zuidmeep meer dan 15% van het totaal aantal in de Nederlandse Waddenzee ruiende Bergeenden kan herbergen. Ook blijkt dat deze vogels zich onder invloed van wind en getijdestromen over een vrij groot gebied kunnen verspreiden. Dit zou kunnen betekenen dat incidenteel optredende verontrustingen als gevolg van werkzaamheden aan MZI's door deze populatie ruiende vogels kunnen worden opgevangen door zich passief door wind en getij te laten meevoeren naar rustiger gebieden. Er zijn vooralsnog geen aanwijzingen dat deze vogels door de aanwezigheid van MZI's en de werkzaamheden die daaraan plaatsvinden een significant negatief effect ondervinden. Het hoogste aantal Eiders dat in de omgeving van de MZI in de Zuidmeep werd geteld bedroeg 7800 vogels. Dit betekent dat ca. 34% van het op dat moment in de Nederlandse Waddenzee aanwezige aantal hier ter plekke aanwezig was. Uit de waarnemingen bleken geen duidelijke effecten van de aanwezigheid van de MZI in de Zuidmeep en evenmin van effecten van werkzaamheden op de aan de noordelijke rand van de Zuidmeep aanwezige mosselpercelen. Ook werden geen reacties waargenomen tijdens de werkzaamheden die hier op 21 juli en 8 augustus 2010 plaatsvonden.

Uit de vergelijkingen van zeehondentellingen blijkt een (statistisch significante) correlatie tussen de aanwezigheid van MZI's en het aantal getelde Gewone zeehonden. Meer MZI's correleerde met minder zeehonden. In gebieden met veel MZI's blijft de groei van de aantallen volwassen zeehonden achter ten opzichte van de waargenomen totale groei in de Waddenzee. Terwijl in MZI-gebieden de verhouding pups/totaal aantal de laatste 2 jaar wel is meegestegen met de rest van de Waddenzee. Omdat o.a. gegevens ontbreken over andere (antropogene) ontwikkelingen in de verschillende gebieden kunnen de geconstateerde aantalsveranderingen niet specifiek worden toegeschreven aan MZI's. Om een exacte schatting en kwantificering van de effecten van MZI's te verkrijgen zijn uitgebreidere analyses nodig die bovendien, doordat de zeehond een langlevende soort is, over een langere periode moeten worden uitgevoerd. Daarbij zou niet alleen gekeken moeten worden naar de MZI's, maar zouden ook alle anderen vormen van verstoring en mogelijke invloeden op de populatie meegenomen moeten worden.

Een meer praktische benadering zou zijn om de mogelijke overlap tussen de MZI's en zeehonden te minimaliseren. In de uitgevoerde Passende Beoordelingen (Wiersinga et al., 2009, Smaal & Hartog, 2010) is het advies gebaseerd op verstoringsafstanden bepaald op basis van recreatie-activiteiten terwijl grotere en luidruchtiger vaartuigen tot grotere verstoringsafstanden kunnen leiden. Daar waar er al overlap is (bijvoorbeeld in het deelgebied tussen Texel en Den Helder; in het Mosselgatje en in het Amsteldiep) kan men proberen om effecten te mitigeren. Hiervoor is echter meer detailkennis nodig over het specifieke gebruik van het gebied door de dieren.

5. Contaminatie door zwerfvuil

5.1. Onderzoeksvraag

Vindt slijtage van MZI-materiaal plaats??

Zo ja, om wat voor partikels gaat het en welke hoeveelheden komen vrij?

Hoe verhoudt productie van plastics door MZI's zich tot andere bronnen van plastic?

Gebaseerd op:

Hartog, E., Brink, A van den & P Kamermans (2013) Eerste inschatting van vrijkomen van plastics als gevolg van slijtage van Mosselzaad-Invangsystemen (MZI's). IMARES Rapport C188/13

Strietman WJ, 2013. Pluis in de Waddenzee. Een inschatting van de hoeveelheid pluis die via de garnalenvisserij jaarlijks in de Waddenzee terechtkomt. Wing Rapport.

Poelman M (2009) Notitie Inventarisatie macrozwerfvuil MZIs 2009 Hoofdstuk 5

Poelman M (2010) Notitie Zwerfvuil 2010

5.2. Toelichting

In de Passende Beoordeling voor Mosselzaadinvang (MZI) in Nederlandse kustwateren worden aanbevelingen gedaan voor het invullen van de kennisleemtes omtrent zwerfvuil kustwateren (Wiersinga et al., 2009). Er ontbreken gegevens over de schaal waarin microplastic-verontreiniging direct vrijkomt bij MZI-procedures, en over de karakteristieken van het vrijkomende materiaal (vorm en materiaaleigenschappen, ook op langere termijn). Dergelijke emissies zijn nader onderzocht voor verschillende MZI-vormen.

In het kader van verontreinigingen als gevolg van zwerfvuil is gekeken naar twee aspecten:

1). Macro-elementen: grote elementen zoals tonnen, touwen, draden en andere met het blote oog zichtbare elementen die drijven of aanspoelen. Dit materiaal kan verloren raken bij het mobiliseren en demobiliseren van de MZI, maar ook tijdens het oogsten van het mosselzaad op zee.

2). Microplastic-elementen: fijne partikeltjes die zich kunnen binden aan slibdeeltjes en daardoor zinken. Deze partikels komen in het sediment terecht waarbij de kans bestaat dat ze vervolgens opgenomen worden door filtrerende organismen (mosselen) of door sediment-etende organismen (wormen). Het onderzoek naar deze minipartikelen is recent (minder dan 5 jaar geleden) opgestart en bevindt zich nog in een verkennende fase. Ook de effecten van microplastic-elementen zijn niet bekend en de beoordeling is derhalve veelal speculatief.

5.3. Aanpak

In 2009 en 2010 heeft een inventarisatie plaatsgevonden van gegevens over de aanwezigheid van het voorkomen van zwerfvuil als macro-elementen in Waddenzee en Oosterschelde. De waarnemingen op het gebied van macrozwerfvuil dat afkomstig is van MZI-activiteiten zijn in kaart gebracht door verschillende waarnemers te contacteren. De waarnemers bestonden uit medewerkers van RWS, Noord Nederland District Waddenzee (Buitenpost), de LNV-Waddenunit, LNV-Zuid en RWS, Post-Wemeldinge. Daarnaast is beschikbare informatie verzameld uit de rapportages van de MZI-ondernemers. Eind 2010 is besloten deze inventarisatie niet meer uit te voeren in het kader van de MZI-effectmonitoring, maar deze door een andere instantie te laten uitvoeren, dit omdat de problematiek omtrent de macro-elementen vooral een veiligheidskwestie is en niet een ecologisch effect dat de Natura 2000 doelstellingen betreft. Vooralsnog zijn er geen meldingen van dieren die verstrikt zijn geraakt in touwen en netten (Poelman & Kamermans, 2010; van Stralen, 2011; 2012; 2013; 2014).

De aanwezigheid van microplastics is nog onvoldoende in kaart gebracht. In 2011, 2012 en 2013 is een schatting gemaakt van het microplastic-probleem door informatie te vergaren over slijtage van MZI-

materiaal zoals touwen, netten en borstel machines. Hiervoor is contact gelegd met MZI-ondernemers die al enige jaren bezig zijn. Door gebruikt materiaal te vergelijken met nieuw materiaal is een inschatting gemaakt van de slijtage per jaar. Gebruikte en ongebruikte MZI-touwen en netten zijn beschikbaar gesteld door MZI-ondernemers. De mosselen waren verwijderd van de touwen en netten, maar het gebruikte materiaal had nog wel aangroei van organismen zoals algen, mosdiertjes en pokken.

Alle substraten ondergingen een peroxide-behandeling (1st prep) en een zuur- (pH1) en base- (pH13) behandeling (2nd prep) om het organisch materiaal te verwijderen. Om slijtage van de borstelharen aan de borstelrol te detecteren zijn individuele borstelharen op lengte gemeten. Een andere bron van plastic is de slijtage van sleeplappen zoals die gebruikt worden in de garnalenvisserij (het zogenaamde pluis). De functie van deze sleeplappen is om slijtage van de visnetten zelf te verminderen. Op basis van een steekproef van geanonimiseerde aankoopgegevens van garnalenvissers en informatie over het aantal weken dat alle garnalenvissers in totaal op de Waddenzee hebben gevist is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid pluis die jaarlijks in de Waddenzee terecht komt. Daarbij is aangenomen dat ongeveer 25% door slijtage in zee achter blijft.

5.4. Inventarisatie macroplastic

Uit 43 rapportages van de waarnemers uit 2009 en 2010 blijkt dat in de Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta met regelmaat afgedreven boeien, tonnen, buizen of complete systemen inclusief touw of netwerk zijn aangetroffen. In één geval is een los anker aangetroffen. Deze waarnemingen betreffen zowel locaties nabij MZI-gebieden als daarbuiten. Hierbij zijn uitsluitend meldingen geregistreerd van materiaal afkomstig van MZI's. De waarnemingen zijn beschikbaar uit de maanden april (1), mei (2), juni (1), juli (7), augustus (8), september (7), oktober (11) en november (3). Daarnaast zijn waarnemingen zonder datumspecificatie gedaan (3). Gezien de periode van de waarnemingen is het meeste zwerfvuil niet ontstaan tijdens de installatie van de MZI's, aangezien dit voornamelijk in de periode april – mei heeft plaatsgevonden. De waarnemingen in augustus, september en oktober kunnen verband houden met de oogstactiviteiten die in die periode plaatsvinden. De vermoedelijke oorzaak van het losraken is in veel gevallen te wijten aan de weersomstandigheden, zoals aanhoudende harde wind. In overige gevallen waren de oorzaken verkeerd materiaal voor bevestiging, slechte bevestiging en scheepvaart door de MZI (aanvaring).

5.5. Observaties slijtage MZI-materiaal

5.5.1. *Ontstaan microplastics bij gebruik MZI's: slijtage touwen & netten*

Om een eerste indruk te krijgen van slijtage van de gebruikte Polypropyleen touwen en Nylon netten zijn metingen uitgevoerd. De gebruikte aanpak heeft echter te veel onzekerheden om kwantitatieve conclusies te trekken. De hier vermelde getallen moeten dan ook gezien worden als een eerste inschatting. Het gewicht van ongebruikt en gebruikt Polypropyleen touw, en van ongebruikt, 1 jaar gebruikt en 4 jaar gebruikt Nylon net is bepaald. Om de verschillen in gewicht aan te tonen zijn de monsters geanalyseerd nadat het aangehechte organisch materiaal was verwijderd met twee chemische behandelingen. De gewichten van de gebruikte touwen en netten waren per cm hoger dan de ongebruikte touwen en netten, waarschijnlijk als gevolg van krimpen van het materiaal (Fig. 5.1a). De afstand tussen de knopen van het gebruikte net waren korter dan die van het ongebruikte net. Het gewicht van het netmateriaal per maaslengte van de netten liet wel een gewichtsafname zien (Fig. 5.1b). Omgerekend komt dit op ongeveer 10 g per m² net per jaar. Dit is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van slijtage. Voor de touwen was een inschatting van de slijtage niet mogelijk, omdat er geen indicaties waren van de mate van krimp.

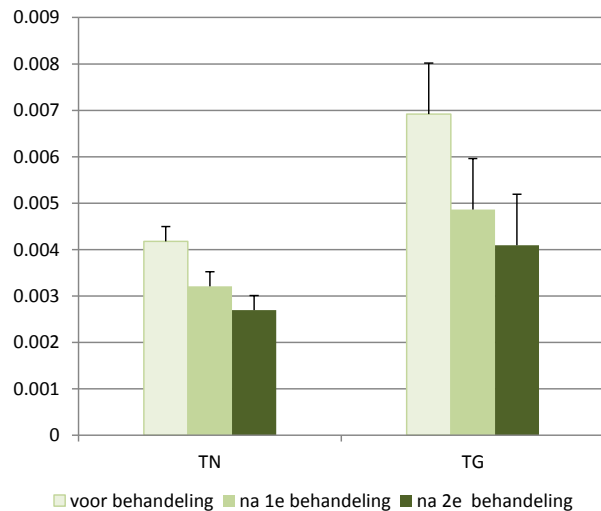
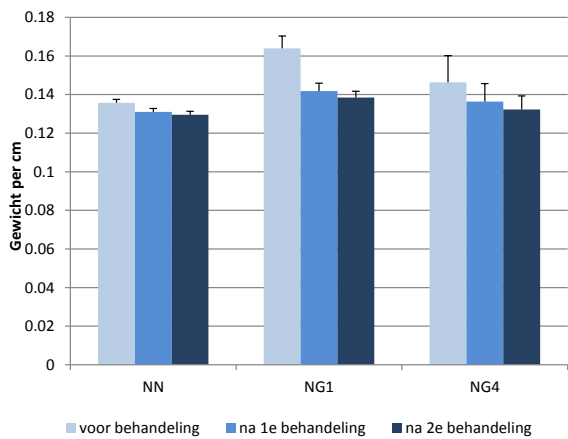
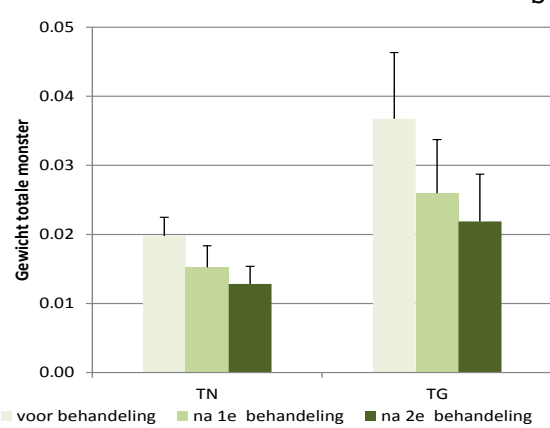
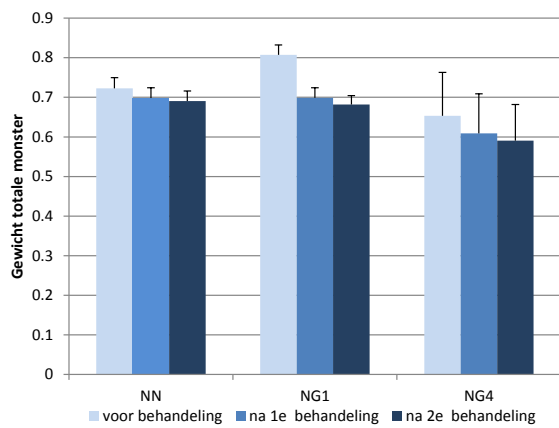


Fig. 5.1. Gewicht in grammen van (a) ongeveer 5 cm lang stuk net of touw (geknipt tussen 2 mazen) en (b) gewicht per cm. Gewicht vóór behandelingen en ná behandeling. NN= nieuw net, NG1 = 1jaar gebruikt, NG4 = 4 jaar gebruikt net, TN= nieuw touw, TG = 1 jaar gebruikt touw.

5.5.2. Ontstaan microplastics bij gebruik MZI's: slijtage borstels

Lengtemetingen aan borstelharen zijn uitgevoerd aan twee borstelsystemen. Een systeem met twee borstelrollen van ieder 3.50 meter lang toonde een slijtage aan van omgerekend 9.5 mg plastic per m² afgeborsteld net per jaar (Fig. 5.2) en een systeem met twee tegenover elkaar liggende lopende banden met om de halve meter een borstel toonde 3.8 mg plastic per m² geogst net per jaar (Fig. 5.3). Omdat een limiet zit aan de nauwkeurigheid van de lengtemeting van borstelharen is een marge van ± 1 mm aangehouden. Dat wil zeggen dat lengteverschillen tussen gebruikt en nieuw die kleiner zijn dan ± 1 mm niet worden gemeten. De borstelharen lieten vooral slijtage van de korte haren zien. Deze haren raken bij het afborstelen van de netten als eerste de mosselen.

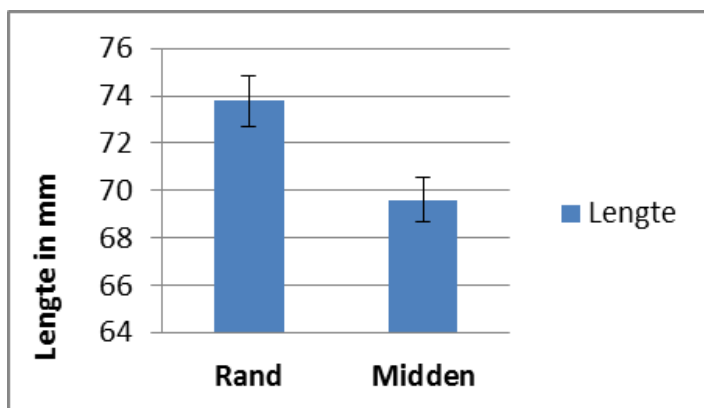


Fig. 5.2. Gemiddelde lengte (mm) van de borstelharen aan de rand en in het midden van de borstelrol na vier jaar gebruik. $N=10$ met standaard deviatie.

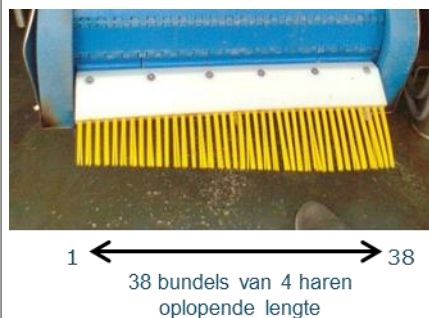
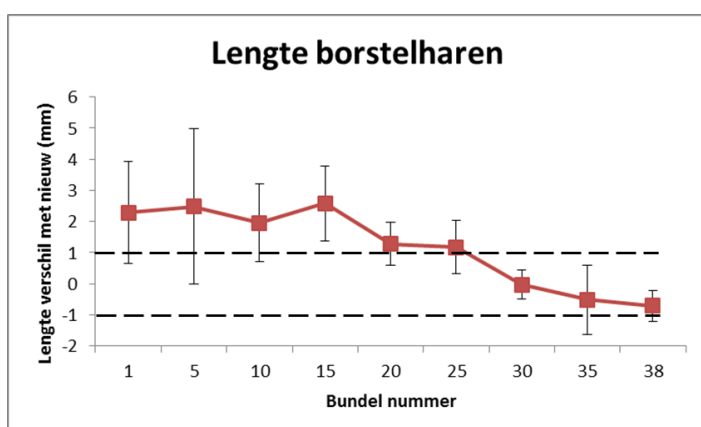


Fig. 5.3. Gemiddelde lengteverschil tussen oude en nieuwe borstelharen op verschillende locaties langs de borstel. De stippellijn geeft de foutenmarge aan. $N=4$ met standaard-deviatie.

5.6. Productie microplastics door MZI's in relatie tot andere bronnen: slijtmatten garnalenvisserij

Op basis van de verkregen informatie is geschat dat jaarlijks 1060 kg plastic in de Waddenzee achter blijft als gevolg van het gebruik van pluis door garnalenvissers. Op basis van het uitgevoerde onderzoek kan ook een hypothetische doorrekening van microplasticproductie door slijtage van MZI-materiaal worden uitgevoerd. In 2011 bevond zich 95.820 m² net in de Waddenzee (van Stralen, 2012). Bij een slijtage van 10 g per m² zou 958 kg nylon door slijtage in het water terecht gekomen zijn. Door slijtage van de borstels (3.8 mg tot 9.5 mg plastic per m² afgeborsteld) komt daar nog maximaal 9 kg plastic per jaar bij.

5.7. Conclusies

Er wordt macroplastic-zwerfvuil afkomstig van MZI's aangetroffen in de vorm van tonnen, buizen, touwen en netten. Deze objecten kunnen vooral effect hebben op de veiligheid en hebben naar alle waarschijnlijkheid geen ecologisch effect op de Natura 2000 doelstellingen. Er zijn geen specifieke aanwijzingen dat macro-zwerfvuil van MZI-systemen ernstige problemen voor vogels of zeezoogdieren oplevert (Kamermaans & Smaal, 2009). De hypothetische doorrekening van microplasticproductie door slijtage van MZI-materiaal geeft aan dat de hoeveelheid van 967 kg vergelijkbaar is met de geschatte hoeveelheid pluis van 1060 kg. Daadwerkelijke detectie van (micro)plastics in het water als gevolg van

slijtage van MZI-materiaal heeft niet plaatsgevonden. Derhalve is vooralsnog maar globaal inzicht hoeveel en in welke vorm de plastics in het water terecht zijn gekomen.

6. Conclusies voor het beleid

6.1. Beantwoorden van beleidsvragen

De eerste stap bij het vaststellen van effecten op instandhoudingsdoelen is onderzoeken of er een positief dan wel negatief effect op soorten en habitats optreedt. Hierbij is onderscheidt gemaakt tussen effecten op draagkracht, depositie en verstoring. Voor draagkracht is het effect dat toename van het mosselbestand door het plaatsen van MZI's in de Oosterschelde en de Waddenzee kan leiden tot een afname in de groei van voor vogels belangrijke schelpdiersoorten, zoals kokkels en mosselen, in die gebieden. Voor depositie werden geen aanwijzingen gevonden van verrijking van de bodem in de buurt van de MZI's ten opzichte van monsterstations op grotere afstand van de MZI. Voor verstoring blijkt uit de huidige observaties dat Roodkeelduikers in de Schaar van Renesse in een vrij constant aantal in het gebied aanwezig zijn, met een lichte afname tussen 2009 en 2011. De lagere aantallen in 2010 en 2011 lijken niet direct een gevolg te zijn van de aanwezigheid van de MZI's. De aantallen in 2012 zijn weer duidelijk hoger en liggen op sommige telposten op een vergelijkbaar niveau als in 2005 en 2006. Er zijn voornamelijk nog geen aanwijzingen dat ruiende Bergeenden en Eiders in het gebied rond de MZI in de Zuidmeep door de aanwezigheid van MZI's en de werkzaamheden die daaraan plaatsvinden een significant negatief effect ondervinden. In gebieden met veel MZI's blijft de toename van de aantallen Gewone zeehonden achter ten opzichte van de waargenomen totale toename in de Waddenzee. Er werd tot nu toe geen effect van de aanwezigheid van MZI's op het aantal zeehondenpups gevonden. Voornamelijk lagen de MZI's alleen in de nabijheid van een gebied met een relatief lage reproductie. Bovendien ontbreken gegevens over andere (antropogene) ontwikkelingen in de verschillende gebieden en zijn de gebruikte zeehondenteldata niet speciaal voor dit doel verzameld. Daarom kunnen eventuele effecten niet specifiek worden toegeschreven aan MZI's. Daarnaast is onderzocht wat de slijtage van MZI materiaal is om inzicht te krijgen in het mogelijk ontstaan van microplastics. Een voorlopige schatting van de hoeveelheid microplastic die ontstaat door slijtage van MZI- netten was vergelijkbaar met pluiscproductie door garnalenvissers. De slijtage van het net kon echter niet met zekerheid worden vastgesteld vanwege methodische complicaties. Daarnaast is onduidelijk of en in wat voor vorm de plastics in het water terecht zijn gekomen. Hoe bovengenoemde effecten doorwerken naar de instandhoudingsdoelen (b.v. via veranderingen in voortplanting) is geen onderdeel van het huidige onderzoek.

6.1.1. *Mogelijke effecten op soorten*

Door het beschikbaar komen van kleine mosselen zou het voedselaanbod voor vogelsoorten kunnen toenemen als gevolg van het toepassen van een MZI-systeem (potentieel positief effect). Door een verminderd aanbod van microalgen in de vorm van fytoplankton, zou het voedselaanbod voor bepaalde vogelsoorten kunnen afnemen, omdat schelpdiersoorten die voor hen als voedsel dienen mogelijk minder groeikansen hebben ('draagkracht-effect'; potentieel negatief effect).

Uit modelberekeningen blijkt dat toename van het mosselbestand door het plaatsen van MZI's in de Oosterschelde en de Waddenzee kan leiden tot een afname in de groei van voor vogels belangrijke schelpdiersoorten, zoals kokkels en mosselen, in die gebieden. De modellen berekenen dat er boven een bepaalde grens aan MZI-biomassa totaal minder biomassa aan schelpdieren aanwezig zal zijn als gevolg van het vergroten van het aanbod aan zaad dmv MZI's. Dit wordt veroorzaakt doordat kleine en snel groeiende MZI-mosselen een relatief sterke begrazing van het in het water aanwezige plankton uitvoeren. Op basis van de modelberekeningen is de verwachting dat vergroting van de overleving van grotere mosselen op percelen de totale biomassa in het systeem wél kan verhogen zonder te leiden tot een afname van groei van schelpdieren. Omdat modellen alleen voorspellingen geven is parallel hieraan gewerkt aan indicatoren die de impact op de productie-capaciteit aangeven. Het vleesgewicht van consumptiemosselen (mosselveiling) in relatie tot het totale bestand aan grazende schelpdieren in de Oosterschelde (bestandsopnamen) is een goede indicator. Een tweede indicator is het percentage

picoplankton. Samen geven ze een beeld of draagkracht voor schelpdieren verandert. Hoe eventuele verandering in schelpdierbestanden doorwerkt naar de instandhoudingsdoelen voor vogels is geen onderdeel van het huidige onderzoek. De relatie tussen schelpdierbestanden en schelpdieretende wadden watervogels is voor de Waddenzee onderzocht door Smit et al., (2011). Zij berekenden dat 20-30 miljoen kg schelpdiervlees (dat is ongeveer 80-120 miljoen kg versgewicht) per jaar 80.000-120.000 Scholeksters en 40.000-60.000 Eiders kan voeden. Aanname hierbij is dat er geen visserij en andere sterfte onder de schelpdieren zou zijn en dat al die schelpdieren bereikbaar en beschikbaar zijn voor alleen deze twee soorten vogels. Voor de Oosterschelde is een dergelijk onderzoek niet uitgevoerd. Ter vergelijking, bij een totale opbrengst van ongeveer 20 miljoen kg MZI-mosselen in de Oosterschelde, zal de jaarlijkse netto secundaire productie van de overige grazers (vooral Japanse oesters en kokkels) afnemen met 18 miljoen kg.

MZI-activiteiten zouden vogels en zeehonden kunnen verstoren (potentieel negatief effect). MZI-systemen kunnen dienen als rustplaats, beschutting leveren of mogelijk ook voedsel in de vorm van vissen en macroalgen aantrekken (potentieel positief effect).

In de Passende Beoordeling (Wiersinga et al., 2009) werd geoordeeld dat op een tweetal locaties effecten niet op voorhand mogen worden uitgesloten. Dit was het geval in de Schaar van Renesse in de Voordelta (Roodkeelduikers en Gewone zeehonden) en in de Zuidmeep in de Waddenzee (ruiende Bergeenden en Gewone zeehonden). Uit de huidige observaties blijkt dat Roodkeelduikers in de Schaar van Renesse in een vrij constant aantal in het gebied aanwezig zijn, met een lichte afname tussen 2009 en 2011. De lagere aantallen in 2010 en 2011 lijken niet direct een gevolg te zijn van de aanwezigheid van de MZI's. De aantallen in 2012 zijn weer duidelijk hoger en liggen op sommige telposten op een vergelijkbaar niveau als in 2005 en 2006. Er zijn vooralsnog geen aanwijzingen dat ruiende Bergeenden en Eiders in het gebied rond de MZI in de Zuidmeep door de aanwezigheid van MZI's en de werkzaamheden die daaraan plaatsvinden een significant negatief effect ondervinden. Uitbreiding en vervroeging van MZI-activiteiten kunnen plaatselijk mogelijk wel effecten hebben. Een statistische analyse van meerjarige tellingen van aantallen zeehonden op zandplaten en aan- of afwezigheid van MZI-systemen laat zien dat in gebieden met veel MZI's de toename van de aantallen Gewone zeehonden achter blijft ten opzichte van de waargenomen totale toename in de Waddenzee. Wil men nauwkeurig het effect van MZI's op het aantal zeehonden kunnen vaststellen, dan zal het noodzakelijk zijn hiervoor specifiek gegevens te verzamelen. Dit geldt nog sterker voor het effect van de aanwezigheid van MZI's op het aantal pups, waarop tot nu toe geen negatieve effecten werden gevonden. Vooralsnog lagen de MZI's alleen in de nabijheid van een gebied met een relatief lage reproductie. Bovendien ontbreken gegevens over andere (antropogene) ontwikkelingen in de verschillende gebieden en zijn de gebruikte zeehondenteldata niet speciaal voor dit doel verzameld. Daarom kunnen eventuele effecten niet specifiek worden toegeschreven aan MZI's.

Microplastics kunnen mogelijk vrijkomen bij MZI-werkzaamheden zoals oogsten. Daarbij bestaat de kans dat deze deeltjes vervolgens opgenomen worden door filtrerende organismen (mosselen) of door sediment etende organismen (wormen). Recent onderzoek laat zien dat mosselen microplastics uit het water kunnen filtreren (Wegner et al., 2012).

Een voorlopige schatting van de hoeveelheid microplastic die ontstaat door slijtage van MZI-netten was vergelijkbaar met pluus- productie door garnalenvissers. De slijtage van het net kon echter niet met zekerheid worden vastgesteld vanwege methodische complicaties. Daarnaast is onduidelijk of en in wat voor vorm de plastics in het water terecht zijn gekomen. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

6.1.2. Mogelijke effecten op habitattypen

Het organisch rijker worden van de bodem als gevolg van depositie zou kunnen leiden tot het veranderen van de omstandigheden voor soorten die in arme omstandigheden voorkomen (potentieel negatief

effect). Andere soorten kunnen juist baat hebben bij depositie en verrijkte omstandigheden (potentieel positief effect).

Er werden geen aanwijzingen gevonden van verrijking van de bodem in de buurt van de MZI's ten opzichte van monsterstations op grotere afstand van de MZI. Mogelijk is lokaal (gebieden kleiner dan 50x50m) wel sprake van verrijking, maar dat is met de gebruikte methode niet te achterhalen.

6.2. Leemten in kennis

6.2.1. *Draagkracht van Waddenzee en Oosterschelde voor filtrerende schelpdieren*

Om de vraag te beantwoorden of de draagkracht voor filtrerende schelpdieren bereikt wordt is het van belang om drempelwaarden voor de impact indicatoren te identificeren en criteria te ontwikkelen waarop deze drempelwaarden worden gebaseerd. Ook is het van belang dat de bestandsopnamen van filtrerende soorten volledig zijn. Momenteel worden in de Oosterschelde geen bestandsopnamen uitgevoerd voor *Ensis* of voor harde substraten. Daarnaast zijn er weinig of geen data over de zoöplanktonpopulatie in de Oosterschelde en de Waddenzee. Deze groep is ook een belangrijke consument van algen, alsmede potentieel voedsel voor schelpdieren. En tenslotte zijn basisgegevens zoals primaire productie metingen cruciaal om iets te weten te komen over de potentiële productiviteit van het systeem.

6.2.2. *Bodemeffecten in verschillende habitat typen*

Het onderzoek aan bodemeffecten als gevolg van MZI's in 2009 is uitgevoerd op plaatsen waar voorheen ook MZI's zijn opgehangen, en boven percelen die in het verleden zijn gebruikt voor mosselbodemcultuur. Er werd geen aanwijzing van extra depositie van organisch materiaal gedurende een seizoen gevonden. Het geproduceerde materiaal wordt waarschijnlijk snel over een groot gebied verspreid door de stroming. Een opschaling van het MZI-areaal zal mogelijk plaatsvinden in relatief beschutte gebieden. Indien dit gebeurt kan voorafgaand aan plaatsing van de MZI's een nulmeting voor organisch gehalte sediment en biodiversiteit bodemdieren worden uitgevoerd in een gebied dat nog niet eerder aan MZI-activiteiten is blootgesteld.

Er lijkt een verschuiving van de mosselzaad-vindplaatsen richting MZI-locaties op te treden. Of dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van MZI's is met de gebruikte methode niet vast te stellen. Om die vraag te beantwoorden is gericht veldonderzoek nodig.

6.2.3. *Verstoring van vogels en zeehonden door MZI-activiteiten*

Om inzicht te verkrijgen in de verhouding van MZI-activiteiten als verstoringbron tot andere verstoringbronnen is het nodig om activiteiten van MZI-kwekers in kaart te brengen en dit te relateren aan wat er verder in dit gebied gebeurt. Zo zal bijvoorbeeld de recent in gebruik genomen verankering door geheide palen (in dit rapport niet getoetst) meer onderwatergeluid bij de aanleg en het afbreken veroorzaken. Door de beperkingen van bestaande data in dit onderzoek, is het effect van een beperkt aantal MZI's bestudeerd. Een meer experimentele setting, waarbij meer inzicht in de natuurlijke en antropogene factoren die dit beïnvloeden verkregen kan worden, kan het relatieve belang van deze factoren aan het licht brengen.

6.2.4. *Contaminatie door zwerfvuil*

De inschatting van productie van microplastics door MZI's is vergelijkbaar met plus-productie door garnalenvissers. De gebruikte aanpak heeft echter te veel onzekerheden om kwantitatieve conclusies te trekken. Een vervolg onderzoek zou kunnen bestaan uit experiment waarin stukken ongebruikt touw en net met vooraf bekende gewichten en afmeting en liefst uit dezelfde batch (rol touw of pak netwerk) een seizoen in de waterkolom gehangen worden (als onderdeel van de MZI-netten en touwen). De gewogen netten en touwstukken krijgen dan dezelfde behandeling als de MZI-touwen en netten en eventuele krimp werkt dan niet door in de metingen. Daarna kunnen de gewichten voor en na met elkaar vergeleken worden. Hier kunnen ook materiaal deskundigen bij betrokken worden. Dit zou een meer effectieve en betrouwbare manier zijn voor het detecteren van slijtage. Het is echter onduidelijk of en in wat voor vorm de plastics van MZI-netten in het water terecht zijn gekomen. Ook is niet bekend in welke concentraties microplastic aanwezig zijn en wat het effect is op de instandhoudingsdoelen. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Referenties

- da-Costa, K. G. and R. C. Nalesso (2006). Effects of mussel fanning on macrobenthic community structure in Southeastern Brazil. *Aquaculture* 258(1-4): 655-663.
- Chamberlain, J., T. F. Fernandez, P. Read, T. D. Nickell and I. M. Davies (2001). Impacts of biodeposits from suspended mussel (*Mytilus edulis* L.) culture on the surrounding surficial sediments. *ICES J. Mar. Sci.* 58: 411-416.
- Cranford, P.J., R. Anderson, P. Archambault, T. Balch, S.S. Bates, G. Bugden, M.D. Callier, C. Carver, L.A. Comeau, B. Hargrave, W.G. Harrison, E. Horne, P.E. Kepkay, W.K.W. Li, A. Mallet, M. Ouellette and P. Strain (2006). Indicators and thresholds for use in assessing shellfish aquaculture impacts on fish habitat. Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2006/034, 116p
- Cranford P., Ward J.E. and Shumway S. (2011). Bivalve filter feeding: Variability and limits of the aquaculture biofilter. In: *Shellfish Aquaculture and the Environment*. Ed Shumway. Wiley & Blackwell, 81-124.
- Dekker, R. (2011). Macrozoobenthosonderzoek MWTL, voor- en najaar 2009, Waterlichaam: Waddenzee (Balgzand en sublitorale westelijke Waddenzee). Rijkswaterstaat rapportnummer BM10.01.
- Duren L. van (2011). Waarom draagkrachtmodellering in de Schelde? Deltares memo.
- Gibbs, M. (2009). Implementation barriers to establishing a sustainable coastal aquaculture sector. *Marine Policy*, 33: 83-89
- Goudswaard P.C., K.J. Perdon, J.J. Kesteloo, J. Jol, C. van Zweeden & J.M. Jansen (2009). Mesheften (*Ensis directus*), Strandschelpen (*Spisula subtruncata*), Kokkels (*Cerastoderma edule*), Mosselen (*Mytilus edulis*) en Otterschelpen (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren in 2009. IMARES Rapport nr. C086/09.
- Grant, J., A. Hatcher, D. B. Scott, P. Pocklington, C. T. Schafer and G. V. Winters (1995). A multidisciplinary approach to evaluating impacts of shellfish aquaculture on benthic communities. *Estuaries* 63: 269-275.
- Hartstein and Rowden (2004). Effect of biodeposits from mussel culture on Macroinvertebrate assemblages at sites of different hydrodynamic regime *Mar. Env. Res.* 56: 339-357
- Hatcher, A., J. Grant and B. Schofield (1994). Effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a Coastal Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 115: 219-235.
- Jansen, H. (2008). The role of suspended mussel farming in nutrient dynamics of oligotrophic systems WIAS proposal.
- Kamermans, P., M. Poelman, E. Meesters, I. De Mesel, C. Smit, S. Brasseur (2008) Onderzoek naar Duurzame Schelpdiervisserij (PRODUS) Eindrapport deelproject 1c Rapport C075/08
- Kamermans, P. & A.C. Smaal (2009). Evaluatie van de mosselzaadinvang (MZI) proefperiode 2008. Rapport C022/09. IMARES, Wageningen UR.
- Kleefstra, R., Smit, C., Kraan, C., Aarts, G., van Dijk, J., de Jong, M., (2011). Het toegenomen belang van de Nederlandse Waddenzee voor ruiende Bergeenden. *Limosa* 84, 145-154
- Goudswaard P.C., K.J. Perdon, J. Jol, E. Hartog, M. van Asch & K. Troost (2012). Het bestand aan schelpdieren in de Nederlandse kustwateren in 2012. IMARES Rapport nr. C085/12
- LNV, (2009). Beleid Mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) periode 2010 t/m 2013.
- Mattsson, J. and O. Linden (1983). Benthic macrofauna succession under mussels, *Mytilus edulis* L. (*Bivalvia*), cultured on hanging long-line. *Sarsia* 68: 97-102.
- Meesters H.W.G., Brinkman A.G., Meijboom A., Fey-Hofstede F.E., De Jong M.L., Van Leeuwen P.W., Niemeijer C.M., Verdaat H. & Lewis W. (2007). Beïnvloeding bodemfauna en organisch koolstof door mosselzaadinvanginstallaties en transport van slib. Wageningen IMARES/Texel Rapport C135/07

- Mesel I. De, Meesters H.W.G., Meijboom A., Wijsman J.W.M.. (2008). Impact van MZI's op organische koolstof in de bodem. Wageningen IMARES/Texel Rapport C037/08
- Mirto, S., R. L. Rosam, R. Danovaro and A. Mazzola (2000). Microbial and meiofaunal response to intensive mussel-farm biodeposition in the coastal sediments of the Western Mediterranean. Mar. Poll. Bull. 40: 244–252.
- Poot, M.J.M., Heunks C., Prinsen H.A.M., van Horssen P.W. & Boudewijn, T.J., (2006). Zeevogels in de Voordelta in 2004/2005 en 2005/2006. Nulmeting in het kader van Monitoring en Evaluatie Programma, Project Mainport Rotterdam – MEP MV2; Perceel 4: Vogels. Bureau Waardenburg Rapport nr. 06-244, 187 p.
- Philippart, C. J. M. et al. (2007). Impacts of Nutrient Reduction on coastal Communities. Ecosystems 10: 95-118.
- PvU, (2010). Plan van Uitvoering Convenant transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee
- Scholten M.C.Th., Veenstra F.A., Jongbloed R.H., Poelman M., Kamermans P., Van Hoof L.J.W., Brinkman A.G., De Mesel I.G., Meesters E.H.W.G., Tamis J.E., Smit C.J., Roos-Klein Lankhorst J. & Van Tatenhoven J.P.M.. (2007). Perspectieven voor mosselzaadinvang (MZI) in de Nederlandse kustwateren. een evaluatie van een proefperiode 2006-2007. Wageningen IMARES. 124 pp
- Smaal A.C. & H.A. Haas (1997) Seston Dynamics and Food Availability on Mussel and Cockle Beds. Estuarine, Coastal and Shelf Science 45: 247–259.
- Smaal, A.C., A.P.M.A. Vonck & M. Bakker (1997). Seasonal variation in physiological energetics of *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule* of different size classes. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 77: 817-838.
- Smaal A.C. & E. Hartog (2010) Passende Beoordeling Start MZI's per 1 maart. IMARES Rapport C165/10
- Smit, C.J., Brinkman, A.G., Ens, B.J., Riegman, R. (2011) Voedselkeuzes en draagkracht: de mogelijke consequenties van veranderingen in de draagkracht van Nederlandse kustwateren op het voedsel van schelpdieretende wad- en watervogels Den Burg : IMARES, rapport C155/11.
- Stenton-Dozey, J.M.E., L.F. Jackson & A.J. Busby (1999). Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha Bay, South Africa. Mar. Pollut. Bull. 39: 357-366.
- Stralen, M. van 2011. Invang van mosselzaad in MZI's. Resultaten 2010. MarinX rapport 2011.103
- Stralen, M. van 2012. Invang van mosselzaad in MZI's. Resultaten 2011. MarinX rapport 2012.17
- Stralen, M. van 2013. Invang van mosselzaad in MZI's. Resultaten 2012. MarinX rapport 2013.126
- Stralen, M. van 2014. Invang van mosselzaad in MZI's. Resultaten 2013. MarinX rapport 2014.136
- Swennen, C., Nehls, G., Laursen, K., (1989). Numbers and distribution of Eiders *Somateria mollissima* in the Wadden Sea. Netherlands Journal of Sea Research 24, 83-92.
- Troost K, M. van Asch, E.B.M. Brummelhuis, D. van den Ende, P.C. Goudswaard, E. Hartog, J.J. Jol, J.J. Kesteloo-Hendrikse, K.J. Perdon, C. van Zweeden (2012). Handboek bestandsopnames schelpdieren WOT. CVO rapport: 12.007
- Wegner A., E. Besseling, E.M. Foekema, P. Kamermans, A.A. Koelmans (2012) Effects of Nanopolystyrene on the Feeding Behaviour of the Blue Mussel (*Mytilus edulis* L.). Environmental Toxicology and Chemistry 31: 2490–2497
- Wiersinga, W.A., Tamis, J.E., C.J. Smit, A.G. Brinkman, & Jongbloed, R.H. (2009) Passende Beoordeling voor Mosselzaadinvang (MZI) in Nederlandse kustwateren. IMARES rapport C089/09, IJmuiden, 142 p.

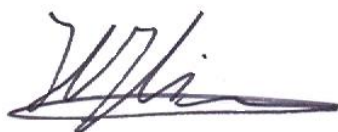
Verantwoording

Rapport C191/13
Projectnummer: 4308301013

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

Akkoord: Prof. Dr. Han Lindeboom
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 21 augustus 2014

Akkoord: Dr. Ing. Robert Trouwborst
Hoofd afdeling Delta

Handtekening:



Datum: 21 augustus 2014

Bijlage A. Lijst van technisch onderliggende rapporten

- Brinkman A.G. (2014) Modelling the effects of mussel seed collectors on the Wadden Sea ecosystem. IMARES Rapport C061/13 *Hoofdstuk 2*
- Brummelhuis E & P Kamermans (2014) Invloed mosselzaad-Invanginstallaties op mosselzaadval op de bodem in de Waddenzee IMARES Notitie *Hoofdstuk 3*
- Cremer J., S. Brasseur & E. Meesters (2012) MZI's en zeehonden in de Waddenzee, een eerste aanzet tot een analyse. IMARES Rapport C133/12 *Hoofdstuk 4*
- Hartog E., J. Jol, J.J. Kesteloo, K.J. Perdon, & K. Troost (2013) Het bestand aan Mesheften (*Ensis* sp.) in de Oosterschelde in 2012. IMARES Rapport C035/13 *Hoofdstuk 2*
- Hartog, E., Brink, A van den & P Kamermans (2014) Eerste inschatting van vrijkomen van plastics als gevolg van slijtage van Mosselzaad-Invangsystemen (MZI's). IMARES Rapport C188/13 *Hoofdstuk 5*
- Herman P.M.J. (2012) The effect of partial spatial isolation between mussels and their algal food on carrying capacity. NIOZ-Yerseke report. *Hoofdstuk 2*
- Ihnken S. & J.C. Kromkamp (2012) Phytoplankton cells and particles in the Oosterschelde: functional relationships to the underwater light climate and food availability for bivalves. NIOZ-Yerseke report. *Hoofdstuk 2*
- Ihnken S. & J.C. Kromkamp (2013) Food availability and food quality for benthic filter feeders of the Oosterschelde estuary. NIOZ-Yerseke report. *Hoofdstuk 2*
- Jansen HM, W v Broekhoven, E Brummelhuis & E Hartog (2013) Technisch rapport: Productiemetingen aan mosselzaad-Invang-installaties (MZI): 2012. IMARES Rapport C031/13 *Hoofdstuk 2*
- Kamermans P (2010). Veldmetingen met Acrobat in Oosterschelde. IMARES Notitie *Hoofdstuk 2*
- Kamermans P, E Brummelhuis A van Gool (2014) MZI-mosselgewicht als indicator van voedselomstandigheden. IMARES Rapport C190/13 *Hoofdstuk 2*
- Kamermans P., Jak R, P. Jacobs & R. Riegman (2014) Groei en begrazing van mosselzaad, primaire productie en picoplankton in de Waddenzee. IMARES Rapport C187/13 *Hoofdstuk 2*
- Kamermans P & I De Mesel (2010) Meerjarige effectmetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee en Oosterschelde, Deelproject 2: Depositie van organisch materiaal van MZI (mosselen op de bodem in Waddenzee en Oosterschelde 2009. IMARES Rapport C081/10 *Hoofdstuk 3*
- Kromkamp J.C. & S. Ihnken (2012) Primaire productie en nutriënten in de Oosterschelde, Update 2011 and long term changes in nutrients. NIOZ-Yerseke rapport. *Hoofdstuk 2*
- Kromkamp J., S. Ihnken, J. Peene en J. Vlaming (2013) Primaire productie in de Oosterschelde, Update 2012. NIOZ-Yerseke rapport. *Hoofdstuk 2*
- Malkin S. Y., J. C. Kromkamp & P. M. Herman (2011) Primary production in the Oosterschelde: an analysis of historical data, size distribution and effect of grazing pressure. NIOO-CEME report. *Hoofdstuk 2*
- Poelman M (2009) Notitie Inventarisatie macrozwerfvuil MZIs 2009 *Hoofdstuk 5*
- Poelman M (2010) Notitie Zwerfvuil 2010 *Hoofdstuk 5*
- Poelman M. & P. Kamermans (2010) Inventarisatie MZI oogst 2009 IMARES Rapport C033/10 *Hoofdstuk 2*
- Riegman R (2014) Schatting van de primaire productie in de Waddenzee in de laatste drie decennia. IMARES Rapport C186/13 *Hoofdstuk 2*
- Schellekens T, M van Stralen, J Kesteloo-Hendrikse, A Smaal (2014) Analyse historische data Oosterschelde en Waddenzee. IMARES Rapport C189/13 *Hoofdstuk 2*
- Smit C. J., M. de Jong & R. H. Witte (2013) Effecten van MZI's op de aanwezigheid en het gedrag van specifieke vogelsoorten en zeehonden. IMARES Rapport C063/13 *Hoofdstuk 4*
- Smit C J. & Jong, M. de (2011) Aantallen en verspreiding van Eiders, Toppers en zee-eenden in de winter van 2010 - 2011. IMARES Rapport C196/11 *Hoofdstuk 4*
- Smit C.J. & M. de Jong (2011) Aantallen en verspreiding van Eiders in de Waddenzee in het voorjaar van 2011 en van ruiende Bergeenden in augustus 2010 en 2011. IMARES Rapport C197/11 *Hoofdstuk 4*
- Smit C J. & Jong, M. de (2012) Aantallen en verspreiding van Eiders en Toppers in de Waddenzee in het voorjaar van 2012. IMARES Rapport C167/12 *Hoofdstuk 4*

- Strietman WJ, (2013) Pluis in de Waddenzee. Een inschatting van de hoeveelheid pluis die via de garnalenvisserij jaarlijks in de Waddenzee terechtkomt. Wing Rapport. *Hoofdstuk 5*
- Troost K, E Brummelhuis & E Hartog (2013) Productiemetingen aan mosselzaad-Invang-Installaties (MZI's) 2009, 2010, 2011. IMARES Rapport C093/13 *Hoofdstuk 2*
- Troost TA (2013) Draagkracht voor MZI's in de Oosterschelde. Deltares rapport. *Hoofdstuk 2*

Peer reviewed publicaties

- Broekhoven W van, Troost K, Jansen H, Smaal A (2014) Nutrient regeneration by mussel *Mytilus edulis* spat assemblages in a macrotidal system. *Journal of Sea Research* 88: 36-46 *Hoofdstuk 2*
- Broekhoven W van et al. (in prep.) Remineralisation of mussel biodeposits *Hoofdstuk 2*
- Broekhoven W van et al. (in prep.) Mussel activity measured on farm scale *Hoofdstuk 2*
- Broekhoven W van et al. (in prep.) Role of SMCs in nutrient circulation (basin scale) *Hoofdstuk 2*
- Jacobs P., C. Beauchemin, R. Riegman (2014) Growth of juvenile blue mussels (*Mytilus edulis*) on suspended collectors in the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 85:365-371 *Hoofdstuk 2*
- Jacobs, P, Troost, K, Riegman, R, Van der Meer, J. (submitted) Length and weight dependent clearance rates of juvenile mussels (*Mytilus edulis*) on various planktonic prey items. *Hoofdstuk 2*
- Jacobs, P et al. (in prep.) Effect of mussel grazing on the planktonic food web *Hoofdstuk 2*
- Jacobs, P et al. (in prep.) Effect of mussel filtration on phytoplankton growth *Hoofdstuk 2*
- Kamermans P, W van Broekhoven, A Uppabullung, E Brummelhuis, B Wetsteyn, P Herman & A Smaal (in prep.) Settlement, retention and growth of *Mytilus edulis* spat on collectors in Dutch coastal waters. *Hoofdstuk 2*
- Smaal A.C., T. Schellekens, M.R. van Stralen, J.C. Kromkamp (2013) Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* 404-405: 28-34 *Hoofdstuk 2*