



Ontwikkeling van bodemdieren in de voor mosselzaadvijsserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee

Auteur(s): Karin Troost, Johan Craeymeersch, Douwde van den Ende, Yoen van Es, Margriet van Asch en Marnix van Stralen (Bureau MarinX)

Wageningen University & Research rapport C027/19

Ontwikkeling van bodemdieren in de voor mosselzaadvisserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee

Evaluatie na vier jaar monitoring (2015-2018)

Auteur(s): Karin Troost, Johan Craeymeersch, Douwe van den Ende, Yoeri van Es, Margriet van Asch en Marnix van Stralen (Bureau MarinX)

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Ecologische basiskwaliteit water' (projectnummer BO-43-021.02-012)

Wageningen Marine Research
Yerseke, maart 2019

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C027/19

Keywords: Waddenzee, gesloten gebieden, bodemdieren, monitoring.

Opdrachtgever: Ministerie van LNV
T.a.v.: Dhr. Angelo Kouwenhoven
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

BO-43-021.02-012

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/473019>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigt door Dr. M.C.Th.
Scholten, Algemeen directeur

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V28 (2018)

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding en achtergrond	9
1.2 De gesloten gebieden	9
1.3 Monitoring van de gesloten gebieden	11
1.3.1 Onderzoeksvraag	11
1.3.2 Globale opzet	11
1.3.3 Bestaande monitoring en eerder onderzoek	11
1.4 Verwachtingen	12
2 Methoden	13
2.1 Reguliere mosselzaadinventarisatie	13
2.2 MEGMA bemonstering	13
2.2.1 Onderzoekslocaties	13
2.2.2 Monsternamen	14
2.2.3 Verwerking van de monsters	16
2.3 Visserij activiteiten	16
2.4 Analyses	17
2.5 Ordinatieplots (DCA)	17
2.6 Principal Response Curves (PRC)	17
3 Resultaten	19
3.1 Aangetroffen taxa	19
3.2 Visserij activiteiten	20
3.3 Ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken	21
3.4 Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap	22
3.4.1 Verschillen tussen onderzoekslocaties	22
3.4.2 Alle onderzoekslocaties samen	23
3.4.3 Onderzoekslocatie Molenrak Oost	25
3.4.4 Onderzoekslocatie Molenrak West	28
3.4.5 Onderzoekslocatie Omdraai	31
3.4.6 Onderzoekslocatie Vlieter	33
4 Discussie en conclusies	36
4.1 Conclusies	36
4.1.1 Het areaal aan mosselbanken	36
4.1.2 De bodemdiergemeenschap	36
4.2 Ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken	36
4.3 Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap	36
4.3.1 Broedval binnen en buiten gesloten gebieden	37
4.3.2 Invloed van gebiedssluiting	40
4.3.3 Mogelijke oorzaken voor waargenomen verschillen in ontwikkeling	42
4.4 Verwachtingen en aanbevelingen	43
5 Kwaliteitsborging	44
Literatuur	45

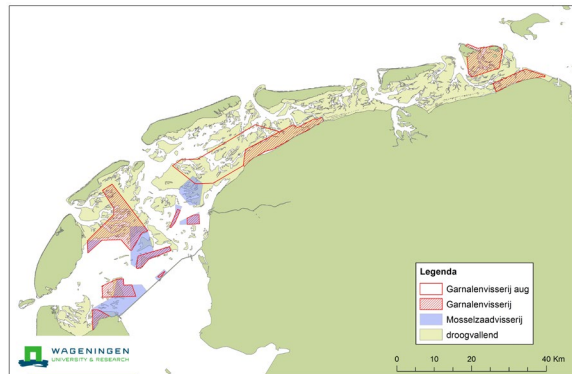
Verantwoording **47**

Bijlage 1 Mosselbanken 2015-2018 **48**

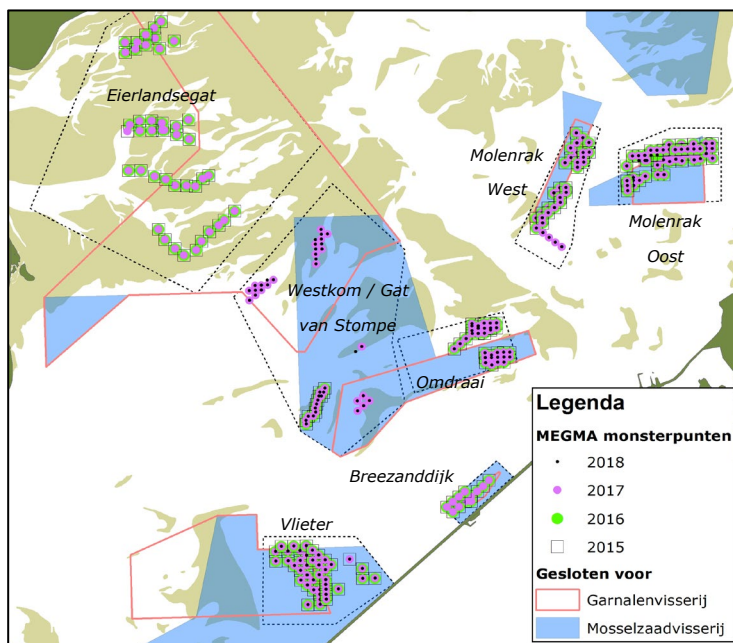
Samenvatting

Aanleiding en onderzoeksvraag

Binnen de kaders van de convenanten "Transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee" en "VISWAD" zijn in 2014 in de Westelijke Waddenzee gebieden gesloten voor mosselzaadvisserij en/of garnalenvisserij (Figuur 1). Deze gebieden zijn gesloten vanuit de wens om bodem beroerende visserij in de Waddenzee te beperken en om natuurontwikkeling te bevorderen, in het bijzonder de ontwikkeling van meerjarige mosselbanken. Hierin zit de aanname dat bodem beroerende visserij de ontwikkeling van bepaalde natuurwaarden verstoort, waaronder de ontwikkeling van meerjarige mosselbanken. In 2015, dus ná instellen van de gesloten gebieden, is het MEGMA-monitoringsprogramma opgestart (*Monitoring Effectiviteit Gebiedsbeschermende MAatregelen*). De onderzoeksvraag en monitoring die daarvoor minimaal is, is in een gezamenlijk overleg tussen partijen betrokken bij VISWAD en het Mosselconvenant en Wageningen Marine Research vastgesteld. Het hoofddoel van de monitoring is om de ontwikkeling van bodemdieren in de voor visserij gesloten gebieden te beschrijven, om te kunnen beoordelen of de gebiedssluiting leidt tot veranderingen en zo ja, tot welke.



Figuur 1 in Hoofdstuk 1. De gesloten gebieden voor verschillende visserijvormen.



Figuur 4 in Hoofdstuk 2. De zeven locaties en bemonsterde monsterpunten. Blauw = gesloten voor mosselzaadvisserij.

Om in te kunnen schatten of veranderingen ook daadwerkelijk samenhangen met de gebiedssluiting, en niet veroorzaakt worden door andere factoren, worden ook bodemdieren gemonitord in de gebieden waar visserij wel is toegestaan (de open gebieden). Het gaat primair om mosselbanken maar daarnaast ook om andere soorten bodemdieren. Bij een verschil in ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap tussen de gesloten en open gebieden is vervolgens bekeken tot in hoeverre dit een gevolg kan zijn van de gebiedssluiting. De analyses uitgevoerd in dit rapport gaan uit van de verzamelde gegevens tot nu toe (2015-2018) en richten zich enkel op de gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij.

Gebiedskeuze en monsterpunten

De ontwikkeling van bodemdieren is onderzocht op zeven locaties binnen de gesloten gebieden, waar ieder jaar 119 – 132 monsters zijn verzameld (Figuur 4). Deze locaties zijn geselecteerd op basis van twee criteria: 1) het voorkomen van hoge natuurwaarden of een hoge potentie hiervoor, gebaseerd op

historische informatie, en 2) de mogelijkheid om monsters te nemen in het aangrenzende gebied dat nog open is voor visserij, waarbij de omgevingsvariabelen zo gelijk mogelijk zijn in het gesloten en open gebied. Deze zeven paren van monsterpunten in zowel het gesloten als open gebied worden aangeduid als de *onderzoekslocaties*. In de open gebieden zijn ieder jaar tussen de 72 en 111 monsters genomen (Figuur 4). De posities van de monsters zijn bepaald volgens een vast raster met een onderlinge afstand van 360 m of 230 m. In sommige kleinere gebieden is dit raster verfijnd. In 2018 zijn vijf van de zeven onderzoekslocaties bemonsterd en hiervan zijn vier onderzoekslocaties meegenomen in de analyses (Molenrak Oost en West, Omdraai en Vlieter).

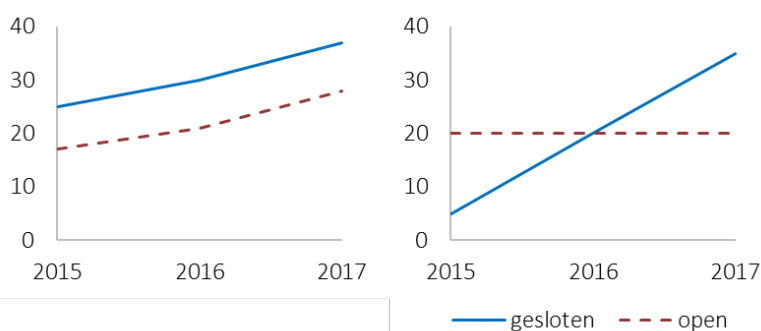
Methodiek en aansluiting op reguliere monitoring

Sinds 1992 wordt jaarlijks in opdracht van de Producentenorganisatie van de Nederlandse Mosselcultuur een mosselzaad inventarisatie uitgevoerd door Bureau MarinX en Wageningen Marine Research in het sublitoraal van de kombergingen Marsdiep en Vliestroom. Niet alleen mosselen worden geregistreerd, maar alle soorten schelpdieren en veel andere soorten bodemdieren zoals zeesterren en krabben. MEGMA maakt gebruik van dezelfde bemonsteringsmethodiek (zuigkor, zeven over 5 mm), maar richt zich specifiek op de gesloten gebieden. In MEGMA worden alle aangetroffen taxa (=soorten en soortgroepen) geregistreerd (dus ook bijv. anemonen, zakpijpen, wormen, garnalen, vissen, hydroïdpoliepen). Omdat de methodiek van bemonsteren gelijk is kunnen de gegevens uit de mosselzaadinventarisatie gebruikt worden om de MEGMA-resultaten in een breder ruimtelijk (gehele Marsdiep en Vliestroom) en historisch (vanaf 1992) perspectief te plaatsen, wat helpt bij de interpretatie.

Vergelijking met de open gebieden

Indien er in de gesloten gebieden een ontwikkeling te zien is, welke niet zichtbaar is in de open gebieden, is er mogelijk sprake van een effect van de gebiedssluiting. Benadrukt wordt dat de *ontwikkeling* anders moet zijn dan in de open gebieden, en dat het niet gaat om absolute verschillen. Als er bijvoorbeeld op enig moment meer mosselbanken aanwezig zijn in het gesloten gebied dan in het open gebied wil dat nog niet zeggen dat dat door de gebiedssluiting komt. Het kan ook zo zijn dat al bij aanvang van het onderzoek meer mosselbanken aanwezig waren in het gesloten gebied, en dat dit verschil over de jaren in stand blijft (Figuur 3 links).

Maar stel nu dat over een periode van enkele jaren het areaal aan mosselbanken toeneemt (of afneemt) in het gesloten gebied terwijl het in het open gebied gelijk blijft (Figuur 3 rechts)? Dat zou een



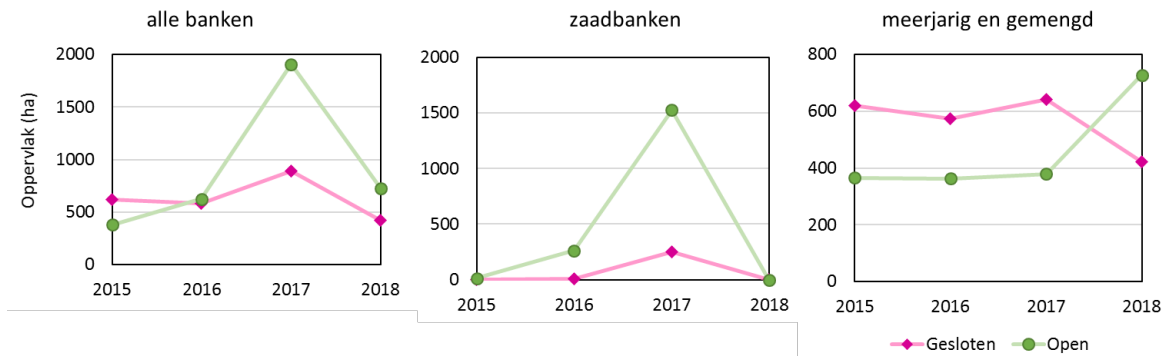
Figuur 3 in Hoofdstuk 1. Illustratie van mogelijke resultaten aan de hand van een fictief voorbeeld waarbij links een absoluut verschil aanwezig is bij aanvang maar geen verschil in ontwikkeling en rechts een duidelijk verschil in ontwikkeling.

gevolg kunnen zijn van de gebiedssluiting, maar ook van al aanwezige verschillen in de lokale omstandigheden in de open en gesloten gebieden. Daarbij moet beseft worden dat de gesloten gebieden bewust zijn gekozen als gebieden die relatief kansrijk voor natuurontwikkeling gezien worden. In de gesloten gebieden kunnen soorten dus betere kansen hebben voor ontwikkeling omdat de natuurlijke omstandigheden hier gunstiger zijn. Voor het onderzoeken van visserij effecten is het MEGMA onderzoek niet geschikt en ook niet bedoeld. Een experimentele vergelijkende studie zoals het PRODUS-onderzoek is voor onderzoek naar visserijeffecten meer geschikt.

Resultaten 2015-2018

In Figuur 8 is de ontwikkeling van het oppervlak aan mosselbanken in de open en gesloten gebieden weergegeven, en onderverdeeld naar het oppervlak nieuwe zaadbanken en meerjarige banken. Opvallend is dat het totale areaal aan meerjarige banken in 2018 in de gesloten gebieden afnam, terwijl in de open gebieden juist een toename gezien werd (Figuur 8 rechts). Dit kwam doordat de omvangrijke

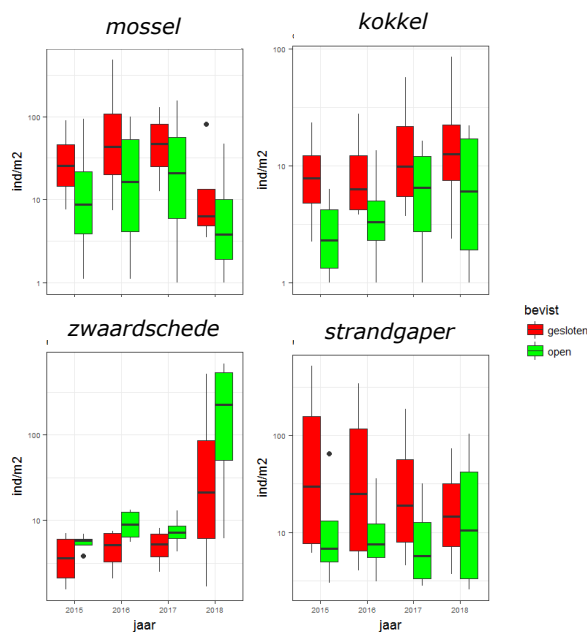
zaadval in de zomer van 2016 zich vooral voordeed in de open gebieden. Deze banken zijn in 2017 nog als nieuwe zaadbanken geassocieerd, en waren in 2018 uitgegroeid tot tweejarige (en dus meerjarige) banken. Tegelijkertijd zijn alle mosselbanken ouder dan twee jaar in 2018 grotendeels verdwenen, in zowel de gesloten als de open gebieden. De oorzaak voor de waargenomen afname van het areaal aan meerjarige mosselbanken in de gesloten gebieden is daarom veroorzaakt door een beperkte zaadval in



Figuur 8 in Hoofdstuk 3. Ontwikkeling van het totale oppervlak aan sublitorale mosselbanken in de gesloten en open gebieden, links voor alle leeftijden samen, in het midden voor pure zaadbanken en rechts de meerjarige banken (en gemengd met mosselzaad).

2016 in combinatie met het verdwijnen van oudere banken. De voornaamste oorzaak voor de verschillende ontwikkeling in de gesloten en open gebieden lijkt dus de omvangrijke zaadval van 2016 te zijn, welke zich vooral heeft voorgedaan in de open gebieden (zie ook de kaarten in Bijlage 1).

Uit gemeenschapsanalyses bleek dat de samenstelling van de bodemdiergemeenschap in de gesloten gebieden in 2018 duidelijk verschilde van de voorgaande periode (2015-2017). Ook in de open gebieden werd dit waargenomen. Omdat uit gemeenschapsanalyses verder bleek dat de bodemdiergemeenschap duidelijk verschillend was tussen de verschillende onderzoekslocaties, zijn verschillen tussen gesloten en open gebieden ook voor de afzonderlijke onderzoekslocaties geanalyseerd.



Figuur 14 in Hoofdstuk 3. De ontwikkeling van dichtheden van de mossel, kokkel, Amerikaanse zwaardschede en strandgaper in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden.

Absolute verschillen die in 2015 reeds aanwezig waren, bleven in stand. Op onderzoekslocatie Molenrak Oost is het verschil in bodemdiergemeenschap tussen het gesloten en open gebied in 2018 groter geworden. Dit werd vooral veroorzaakt door verschillen in de broedval van de kokkel (*Cerastoderma edule*) en de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*). Broed van kokkels bleek vooral gevallen te zijn in het gesloten gebied, en broed van zwaardschedes vooral in het open gebied. Op de andere onderzoekslocaties was geen sprake van een verschil in ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap tussen beide gebieden. De meest opvallende ontwikkelingen, in zowel de gesloten als de open gebieden, bestonden uit plaatselijk goede broedval van kokkels, zwaardschedes en strandgapers (*M. arenaria*), en een afname van het bestand aan meerjarige mosselen en daarmee geassocieerde taxa (vooral anemonen). In Figuur 14 is de ontwikkeling weergegeven van laatstgenoemde vier soorten.

Conclusies en discussie

Het areaal aan mosselbanken in alle voor mosselzaadvisserij gesloten gebieden is in 2018 afgenomen. Het verschil in ontwikkeling tussen gesloten en open gebieden is een gevolg van de omvangrijke broedval van 2016 die vooral in het open gebied plaatsvond. Het deel van die zaadbanken dat overleefde tot 2018, en in 2018 was uitgegroeid van zaad tot meerjarig, is verantwoordelijk voor de netto toename in het areaal aan meerjarige banken in de open gebieden. Mogelijk zijn in 2016 relatief weinig mosselbanken ontstaan in de gesloten gebieden omdat hier op dat moment al meerjarige mosselbanken aanwezig waren.

De bodemdiergemeenschap ontwikkelde zich *binnen de gesloten gebieden* in 2018 duidelijk anders dan in de voorgaande periode. Dit werd vooral veroorzaakt door plaatselijke broedval van kokkels, Amerikaanse zwaardscheden en strandgapers, en door een afname in de dichtheid van mosselen en daarmee geassocieerde taxa (voornamelijk anemonen). Alleen op de onderzoekslocatie Molenrak Oost verschilde de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap *tussen het gesloten en open gebied*. Dit verschil is vooral toe te schrijven aan broedval van kokkels in het gesloten gebied in 2017 en 2018, en broedval van Amerikaanse zwaardscheden in het open gebied in 2018. Een hogere dichtheid van kokkelbroed binnen de grenzen van het gesloten gebied is enkel op de onderzoekslocatie Molenrak Oost waargenomen. Er kan vooralsnog niet geconcludeerd worden of dit een natuurlijke oorzaak heeft, of dat dit een effect is van de gebiedssluiting.

Invloed van gebiedssluitingen voor garnalenvisserij

Per onderzoekslocatie is vaak een deel of het geheel van het voor mosselzaadvisserij gesloten gebied ook gesloten voor garnalenvisserij. Daardoor kunnen de volgende complicaties ontstaan: 1) bij gedeeltelijke sluiting voor garnalenvisserij kan binnen het gesloten gebied een nog grotere variatie tussen de monsterpunten ontstaan waardoor verschillen tussen gesloten en open moeilijker aan te tonen worden, 2) bij gehele sluiting voor ook garnalenvisserij is het onduidelijk of een eventueel verschil in ontwikkeling tussen gesloten en open gebied is veroorzaakt door de gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij of voor garnalenvisserij. Het is dus belangrijk om in de analyse en interpretatie rekening te houden met het al dan niet gesloten zijn voor garnalenvisserij, maar op dit moment maakt dit geen verschil voor de algemene conclusies.

Verwachting

Of de bodemdiergemeenschap zich anders zal ontwikkelen in het voor mosselzaadvisserij gesloten gebied hangt af van de mate waarin de gebieden bij sluiting door de mosselzaadvisserij waren beïnvloed. Door Smaal *et al.*, 2013 werden significante effecten van mosselzaadvisserij aangetoond tot 2 jaar na de eerste visserij op zaadbanken in relatief stabiele gebieden. Na verloop van tijd doofde het verschil tussen beviste en onbeviste banken uit omdat ook in de onbeviste banken de dichtheid en biomassa van mosselen afnam als gevolg van natuurlijke factoren. De levensduur van een mosselbank in het sublitoraal leek niet verschillend te zijn voor beviste en onbeviste banken. Het PRODUS-onderzoek duurde zes jaar. Hoe mosselbanken zich ontwikkelen in een gebied dat gedurende een langere periode wordt gevrijwaard van mosselvisserij is nog niet onderzocht. Onbekend is hoe oud een mosselbank in het sublitoraal kan worden onder de meest gunstige omstandigheden, dus in een relatief beschut gebied met voldoende voedsel en weinig predatoren, en zonder mossel- en garnalenvisserij. Het MEGMA-onderzoek biedt hier de mogelijkheid voor, mits dit onderzoek lang genoeg blijft doorlopen. Hoewel MEGMA al loopt sinds 2015, ontstonden pas na de bemonstering van 2016 nieuwe zaadbanken, maar voornamelijk in het open gebied. Of dit toeval is (natuurlijke variatie) of te maken heeft met het sluiten is nog onduidelijk. Dat geldt ook voor de betere broedval van kokkels en zwaardschedes in respectievelijk de gesloten en open gebieden. Om hier meer zicht op te krijgen en inzicht te krijgen in hoe oud ongestoorde mosselbanken in het sublitoraal kunnen worden, is het noodzakelijkknodig de natuur zijn gang te laten gaan en dit goed te blijven monitoren.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

In 2014 is in de westelijke Waddenzee een aantal gebieden gesloten voor mossel- en garnalenvisserij. Deze gebiedssluitingen zijn gedaan in het kader van de convenanten *transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee* (afgekort het *Mosselconvenant*) en *VisWad* (Van Stralen 2014). Het doel was een ongestoorde ontwikkeling van meerjarige mosselbanken mogelijk te maken, alsmede de ontwikkeling van overige natuurwaarden die van belang zijn voor een goede structuur en functie van het binnen Natura 2000 onderscheiden habitatype H1110 (EZ 2014). Om te kunnen evalueren of de gebiedssluitingen leiden tot de gewenste doelen is monitoring noodzakelijk. In 2014 is in een gezamenlijk overleg tussen partijen¹ betrokken bij het Mosselconvenant, VisWad en Natura 2000 in de Waddenzee en onderzoekers van Wageningen Marine Research (WMR, toen nog IMARES) en Bureau MarinX op hoofdlijnen besloten welk type monitoring daarbij minimaal nodig is. Uitgangspunt was om zoveel mogelijk gebruik te maken van reeds bestaande monitoringprogramma's. In de loop van 2014 hebben WMR en Bureau MarinX het monitoringplan vormgegeven, in overleg met het ministerie van LNV (toen nog EZ). De monitoring is opgestart in 2015 en is daarna jaarlijks herhaald tot en met 2018. De onderzoeksresultaten tot en met 2017 zijn gerapporteerd en geëvalueerd door Troost et al. (2018). Zij constateerden op dat moment geen verschillen in ontwikkeling tussen de gesloten en open gebieden welke mogelijk een gevolg zouden kunnen zijn van de gebiedssluiting voor mosseladvisserij. Er kon niet uitgesloten worden dat er toch op garnalen gevestigd was in de gesloten gebieden. Daarom konden er geen conclusies getrokken worden over de ontwikkeling van bodemdieren in voor garnalenvisserij gesloten gebieden, en welke invloed de gebiedssluiting hier mogelijk op heeft gehad. Voor 2018 heeft het ministerie van LNV opdracht gegeven om de monitoring volledig te richten op de gebieden gesloten voor mosseladvisserij (binnen het programma voor beleidsondersteunend onderzoek, BO-43-021.02-012).

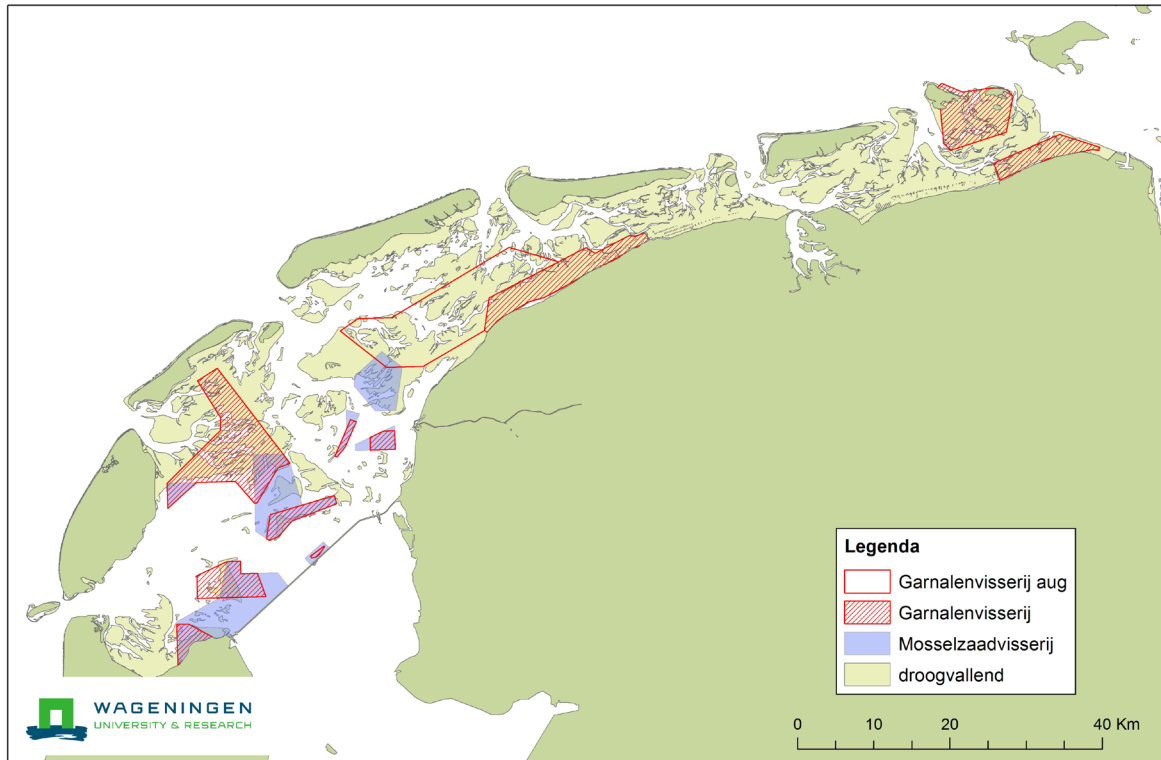
1.2 De gesloten gebieden

De gesloten gebieden zijn weergegeven in Figuur 1. De keuze voor deze gebieden is grotendeels gebaseerd op de veronderstelde geschiktheid van deze gebieden voor ontwikkeling van mosselbanken en overige natuurwaarden die van belang zijn binnen Natura 2000. Voor het vaststellen van de uiteindelijke begrenzing zijn gegevens gebruikt over de verspreiding van mosselen en andere schelpdieren, de verspreiding van vogelsoorten als toppereend, bergeend en eidereend, economisch ruimtegebruik, kennis van betrokken vissers over aanwezige natuurwaarden, en op de visserijbelangen in het gebied (zie Van Stralen 2014 voor meer informatie).

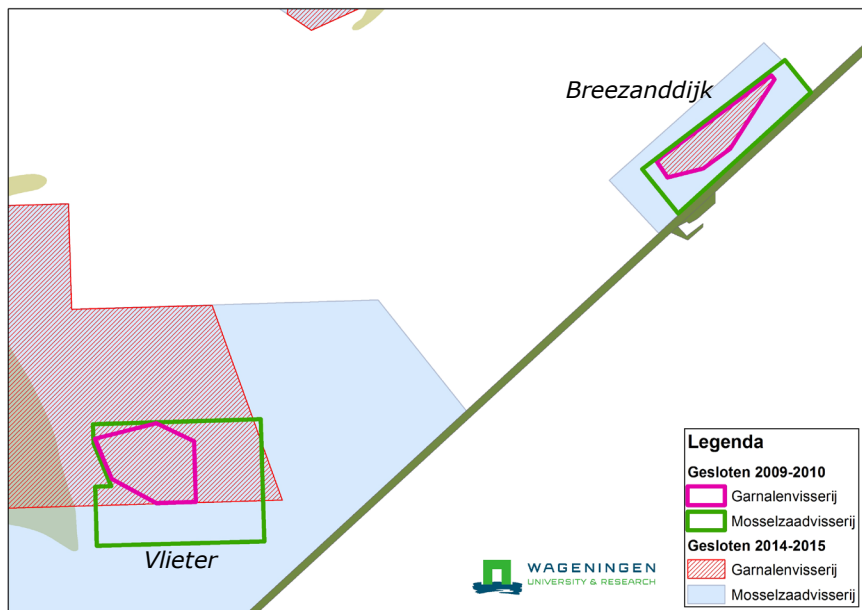
In Figuur 1 is de ligging van de gesloten gebieden weergegeven. De volgende typen gebiedssluitingen zijn daarin te onderscheiden:

- Jaarrond gesloten voor mossel- en garnalenvisserij;
- Jaarrond gesloten voor alleen mosselvisserij. De mosselbanken in deze gebieden zijn ook gesloten voor garnalenvisserij. Wanneer de mosselbanken zijn verdwenen, mag er door de garnalenvissers weer gevestigd worden;
- Jaarrond gesloten voor alleen garnalenvisserij
- In augustus gesloten voor garnalenvisserij, met uitzondering van de delen die liggen in het doorgaande vaarwater.

¹ Aanwezig bij het overleg op 10 februari 2014 waren Aante Nicolai (I&M), Vincent van der Meij (EZ), Angelo Kouwenhoven (EZ), Jeroen Wijsman (IMARES, nu Wageningen Marine Research), Marnix van Stralen (MarinX), Martijn de Jong (Coalitie Wadden Natuurlijk) en Bram Streefland (EZ).



Figuur 1. Overzicht van de gesloten gebieden in de Waddenzee. "Garnalenvisserij aug" is alleen in augustus gesloten voor garnalenvisserij. Binnen de gebieden jaarrond gesloten voor de mosselvisserij (blauw) zijn mosselbanken ook gesloten voor de garnalenvisserij. De rood gearceerde gebieden zijn jaarrond gesloten voor de garnalenvisserij.



Figuur 2. De in 2009 en 2010 gesloten gebieden Vlieter en Breezanddijk (groen omkaderd = gesloten voor mosselzaadvissersij). Ook de in 2014/2015 gesloten gebieden (uit Figuur 1) zijn weergegeven (waarin blauw=gesloten voor mosselzaadvissersij).

De gebiedssluiting voor garnalenvisserij is begin 2015 ingegaan. De gebiedssluiting voor mosselzaadvissersij is voor het eerst toegepast in het visplan voor de voorjaarsvisserij in 2014. Effectief zijn de gebieden dus gesloten voor mosselvisserij per 2014. Het deel van de gesloten gebieden dat al vóór 2014 gesloten was binnen de kaders van het Mosselconvenant is weergegeven in Figuur 2. In het voorjaar van 2009 en 2010 is 20% van de aanwezige mosselzaadbanken gesloten voor mosselzaadvissersij. Dit is achtereenvolgens gerealiseerd in de Vlieter (140 ha) en bij

Breezanddijk (70 ha). Binnen deze gebieden zijn toen kleinere oppervlakken gesloten voor ook de garnalenvisserij.

1.3 Monitoring van de gesloten gebieden

1.3.1 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag die ten grondslag ligt aan de uitgevoerde monitoring is: "Hoe ontwikkelen mosselen en andere bodemdieren zich in de voor mosselzaadvisserij gesloten gebieden?" Met als vervolgvragen:

1. Is er een verschil met de ontwikkeling in voor visserij toegankelijke gebieden?
2. Zijn eventuele verschillen in ontwikkeling een gevolg van de gebiedssluiting? Zo nee: is er een andere oorzaak voor het waargenomen verschil aan te wijzen?

Anders dan in de voorgaande periode is in 2018 dus niet gekeken naar de ontwikkeling van bodemdieren in voor garnalenvisserij gesloten gebieden. Door het wegvallen van onderzoek in de voor garnalenvisserij gesloten gebieden is de focus meer verschoven naar mosselbanken en geassocieerde fauna. Daarnaast wordt ook gekeken naar overige natuurwaarden die van belang zijn voor het voldoen aan de Natura 2000-instandhoudingsdoelstellingen voor habitatype H1110 (permanent overstromde zandbanken).

1.3.2 Globale opzet

De monitoring is zodanig opgezet dat zoveel mogelijk gebruik gemaakt kon worden van de bestaande inventarisatie van mosselzaad in de westelijke Waddenzee welke jaarlijks in het voorjaar wordt uitgevoerd (zie Van Stralen *et al.*, 2018). De monitoring in de gesloten en open gebieden is aanvullend op deze bestandsopnamen in het voorjaar uitgevoerd op grotendeels dezelfde wijze en met dezelfde monstertuigen (zuigkor en bodemhapper). Door deze aanpak kunnen de resultaten van beide studies direct vergeleken worden, waarbij de resultaten uit de voorjaarsbemonstering, die plaatsvindt sinds 1992, gebruikt kunnen worden als referentiekader in ruimte en tijd. Net zoals in de voorgaande periode (zie Troost *et al.*, 2018) is primair gekeken naar de grotere bodemdieren die goed gevangen worden met de zuigkor. Door middel van gemeenschapsanalyse (ordinatieplots) is onderzocht of er een verschil in ontwikkeling is van de bodemdiergemeenschap in het gesloten en open gebied. Wanneer een verschil werd gevonden, is vervolgens bekeken waardoor dit verschil verklaard kon worden en of het gevonden verschil toegeschreven kon worden aan de gebiedssluiting.

1.3.3 Bestaande monitoring en eerder onderzoek

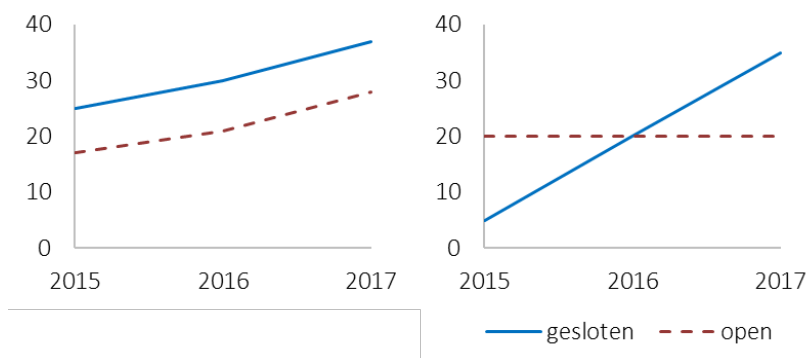
In monitoring van mosselbanken en geassocieerde soorten wordt al grotendeels voorzien door de jaarlijkse mosselzaadinventarisatie in het voorjaar in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee (zie Van Stralen *et al.*, 2018). Primair doel van deze inventarisatie, die loopt sinds 1992, is het schatten van de sublitorale bestanden aan mosselen (zaad en meerjarig). Daarbij worden ieder voorjaar alle gebieden bezocht waarvan uit verschillende bronnen bekend is dat daar mosselen aangetroffen kunnen worden. De bronnen bestaan onder andere uit resultaten van eerdere surveys, informatie van visserijkundig ambtenaren en (garnalen)vissers. Alle aangetroffen mosselbanken worden gekarteerd. De survey is specifiek ontworpen voor een schatting van het bestand aan mosselen en is daarmee ook zeer geschikt voor ruimtelijk en temporeel onderzoek naar soorten die geassocieerd zijn met mosselbanken, zoals bijvoorbeeld Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) en muiltjes (*Crepidula fornicata*). Omdat een deel van de monsterpunten ieder jaar bemonsterd wordt, ook als daar geen mosselen worden verwacht, leent de survey zich ook goed voor onderzoek naar de langjarige ontwikkeling van overige, niet aan mosselbanken geassocieerde soorten (zoals de kokkel (*Cerastoderma edule*), de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*), en de strandgaper (*Mya arenaria*). Uit de survey wordt van de ruimtelijke verspreiding van dergelijke soorten echter een beperkter beeld verkregen dan voor mosselen en soorten die met de mosselbanken zijn geassocieerd. Dus om ook de ontwikkeling van deze soorten in de gesloten en open gebieden te kunnen volgen en vergelijken, is aanvullende monitoring nodig. Daarbij worden tijdens de mosselzaadinventarisatie weliswaar alle

schelpdiersoorten, krabben en zeesterren geregistreerd, maar een aantal andere soorten zoals anemonen en grotere wormen niet. De MEGMA-monitoring voorziet daar wél in, en richt zich specifiek op de vergelijking tussen voor visserij gesloten en open gebieden waarbij ieder jaar in principe dezelfde onderzoekslocaties en monsterpunten bemonsterd worden.

Voor interpretatie van de uitkomsten van het MEGMA-onderzoek zijn de inzichten verkregen uit het PRODUS-onderzoek belangrijk. Binnen PRODUS is onder andere onderzoek gedaan naar de effecten van mosselzaadvisserij op de ontwikkeling en overleving van sublitorale mosselzaadbanken (Smaal *et al.*, 2013). Gebaseerd op de PRODUS-resultaten lijken mosselbanken in het sublitoraal zelden langer dan vijf jaar te overleven als gevolg van natuurlijke factoren zoals predatie en wegspoelen door stormen. Dit komt overeen met observaties op de droogvallende platen, waar sinds 1995 niet meer op gevist is. Van der Meer *et al.* (2018) lieten zien dat mosselbanken tot een leeftijd van 5 jaar nog een groot risico lopen om te verdwijnen door natuurlijke omstandigheden maar dat ze daarna een grote kans hebben om zich tot oude meerjarige mosselbanken te ontwikkelen, tot en met een leeftijd van minstens 14 jaar. In het litoraal spelen echter andere oorzaken voor het verdwijnen van banken dan in het sublitoraal, zoals meer invloed van golven en minder vraat door zeesterren. Mits MEGMA minstens 10 jaar voortgezet wordt, kan dit programma de vraag beantwoorden hoe onbeviste mosselbanken in het sublitoraal zich ontwikkelen op een langere termijn (dan het PRODUS-onderzoek), en hoe oud ze kunnen worden.

1.4 Verwachtingen

Bij aanvang van het onderzoek in 2015 was al duidelijk dat de gesloten en open gebieden binnen onderzoekslocaties van elkaar verschilden, omdat de gesloten gebieden gericht zijn gekozen in gebieden waarvan uit historische data bekend was dat zich daar rijke bodemdiergemeenschappen bevonden en/of de kans op ontwikkeling van stabiele meerjarige mosselbanken groot was (zie Van Stralen, 2014). Bij het vergelijken van ontwikkelingen in de gesloten gebieden met die in de open gebieden zijn daarom absolute verschillen tussen gesloten en open niet zo zeer interessant en ligt de focus echt op verschillen in ontwikkeling. Dit wordt met een fictief voorbeeld geïllustreerd in Figuur 3. In de linker figuur is al bij aanvang van de tijdreeks een verschil aanwezig, dat in de loop der tijd in stand blijft. Hier is dus een absoluut verschil te zien, maar geen verschil in ontwikkeling. In de rechter figuur is wél sprake van een verschil in ontwikkeling.



Figuur 3. Illustratie van mogelijke resultaten aan de hand van een fictief voorbeeld, waarbij een willekeurige variabele (bijvoorbeeld biomassa of dichtheid) van een denkbeeldige soort is uitgezet tegen de tijd, voor zowel het gesloten (blauw, ononderbroken) als open (rood, onderbroken) gebied. Links: in ofwel het open ofwel het gesloten gebied wordt consequent een hogere dichtheid aangetroffen, maar de ontwikkeling over de tijd is hetzelfde. Rechts: De ontwikkeling over de tijd verschilt.

Een absoluut verschil dat al ten tijde van de gebiedssluiting aanwezig was, kan bijvoorbeeld veroorzaakt zijn door verschillen in abiotische omstandigheden tussen het gesloten en open gebied, waarbij één van beide gebieden een geschikter habitat vormt voor de betreffende soort. Het is minder waarschijnlijk dat een dergelijk verschil is veroorzaakt door de gebiedssluiting, en dus het uitsluiten van visserij.

2 Methoden

Hieronder wordt kort beschreven welke methodieken zijn toegepast in zowel de reguliere mosselzaad inventarisatie als de aanvullende MEGMA-bemonstering. De methodieken worden beknopt beschreven en voor een meer uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar eerder gepubliceerde rapporten.

2.1 Reguliere mosselzaadinventarisatie

De mosselzaadinventarisatie in het voorjaar wordt sinds 1992 jaarlijks uitgevoerd door Bureau MarinX en Wageningen Marine Research in opdracht van de Producentenorganisatie Mosselcultuur. Voor uitleg over de methodiek wordt verwezen naar de jaarlijkse survey rapporten (Van Stralen *et al.*, 2015, 2016a, 2017, 2018). Ten behoeve van het MEGMA-onderzoek zijn alle data uit de gehele meetreeks sinds 1992 gebruikt als referentiekader in tijd en ruimte. Ook zijn in voorliggend rapport de arealen van mosselbanken, zoals jaarlijks ingetekend door Van Stralen *et al.*, (2015, 2016a, 2017, 2018) gebruikt om inzicht te geven in de ontwikkeling van het oppervlak aan mosselbanken, uitgesplitst in de gesloten gebieden en daarbuiten. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen zaadbanken, gemengde banken en meerjarige banken. Zaadbanken bestaan geheel uit mosselzaad. Gemengde banken zijn banken met gemengde voorkomens van mosselzaad en meerjarige mosselen, waarbij van het mosselzaad de dichtheid tenminste 150 g per m² is, waarmee het ook zonder de voorkomens van oudere mosselen als bank zou kwalificeren volgens de gehanteerde definitie. Dit zijn dus bestaande banken waarin mosselzaad is gevallen. Meerjarige banken bestaan geheel uit meerjarige mosselen, eventueel met een dichtheid aan mosselzaad van minder dan 150 g per m². De contouren zijn ingetekend in het navigatieprogramma MaxSea, en ten behoeve van het MEGMA-onderzoek geëxporteerd naar ArcGIS 10.5 omdat daarmee een preciezere berekening mogelijk is van oppervlakken. Als gevolg daarvan komen oppervlakken zoals hier gerapporteerd niet exact overeen met oppervlakken die eerder zijn gerapporteerd (Van Stralen *et al.*, 2015, 2016a, 2017, 2018). Daarnaast zijn in sommige gevallen de contouren aangepast naar aanleiding van nieuwe informatie van visserijkundig ambtenaren, welke niet meer verwerkt konden worden in de jaarlijkse rapportages van Van Stralen *et al.* (2015, 2016a, 2017, 2018) maar wel in de MEGMA-rapportage (Troost *et al.*, 2018 en voorliggend rapport).

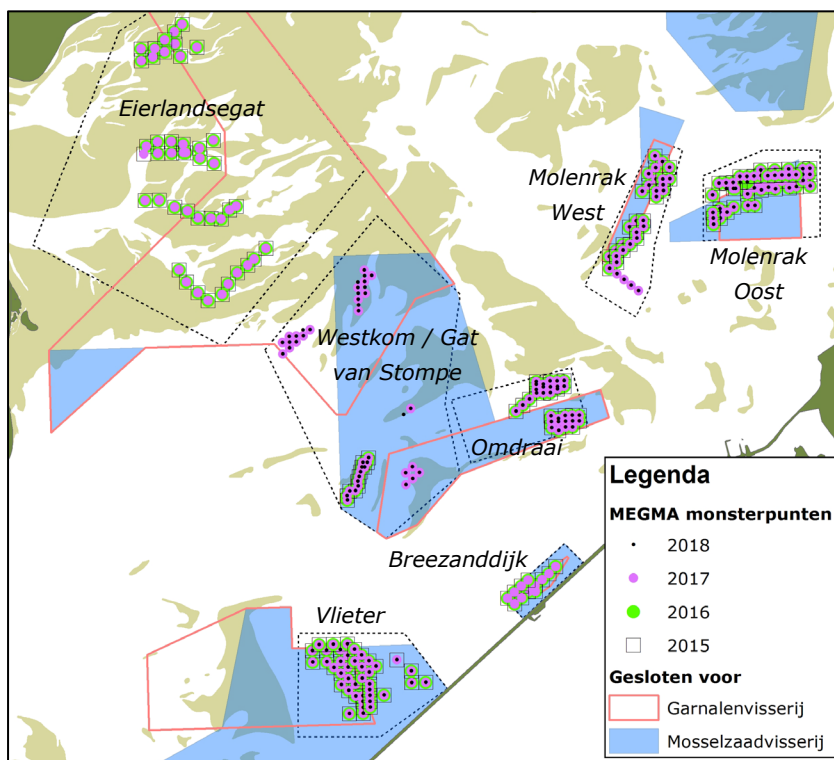
2.2 MEGMA bemonstering

2.2.1 Onderzoekslocaties

De monitoring richt zich primair op de ontwikkeling van bodemdieren binnen de gesloten gebieden, en daarom is primair gezocht naar onderzoekslocaties in gebieden met een hoge rijkdom aan bodemdieren. Hierbij is vooral kennis uit de jaarlijkse mosselzaadinventarisatie gebruikt (Troost *et al.*, 2018). Om in te kunnen schatten of geobserveerde ontwikkelingen daadwerkelijk toe te schrijven zijn aan de gebiedssluiting moest ook een vergelijking tussen de gesloten en open gebieden gemaakt kunnen worden. In de Waddenzee zijn op relatief kleine ruimtelijke schaal grote verschillen mogelijk in omgevingscondities en autonome (natuurlijke) ontwikkelingen en gradiënten, welke zeer bepalend kunnen zijn voor de aanwezige bodemdiergemeenschap (Dekker & Drent, 2013). Om te kunnen onderscheiden of verschillen in ontwikkeling tussen gesloten en open gebieden terug te voeren zijn op de sluiting moeten ruimtelijke verschillen zoveel mogelijk uitgesloten worden. In de ideale situatie is vormt de gebiedssluiting het enige verschil tussen het open en gesloten gebied. Een manier om deze ideale situatie zoveel mogelijk te benaderen is door meerdere onderzoekslocaties te definiëren die deels in het gesloten en deels in het open gebied liggen, waarbij per onderzoeksgebied de monsterpunten in het gesloten en open gebied dicht bij elkaar liggen in een gebied dat zo homogeen mogelijk is qua omgevingsvariabelen (bijvoorbeeld diepteligging, zoutgehalte, sedimentsamenstelling). In de praktijk bleek dit laatste moeilijk te realiseren omdat grenzen vaak

liggen op of nabij diepte gradiënten, omdat de ligging van de gesloten gebieden vaak bewust zodanig is gekozen dat de aanwezige mosselbanken of banken van andere schelpdieren daar zo veel mogelijk in vallen. Alle gekozen onderzoekslocaties zijn weergegeven in Figuur 4. In 2018 zijn de onderzoekslocaties "Eierlandse gat" en "Breezanddijk" niet bemonsterd omdat in deze gebieden geen vergelijking mogelijk is tussen "gesloten" en "open" voor mosselzaadvisserij.

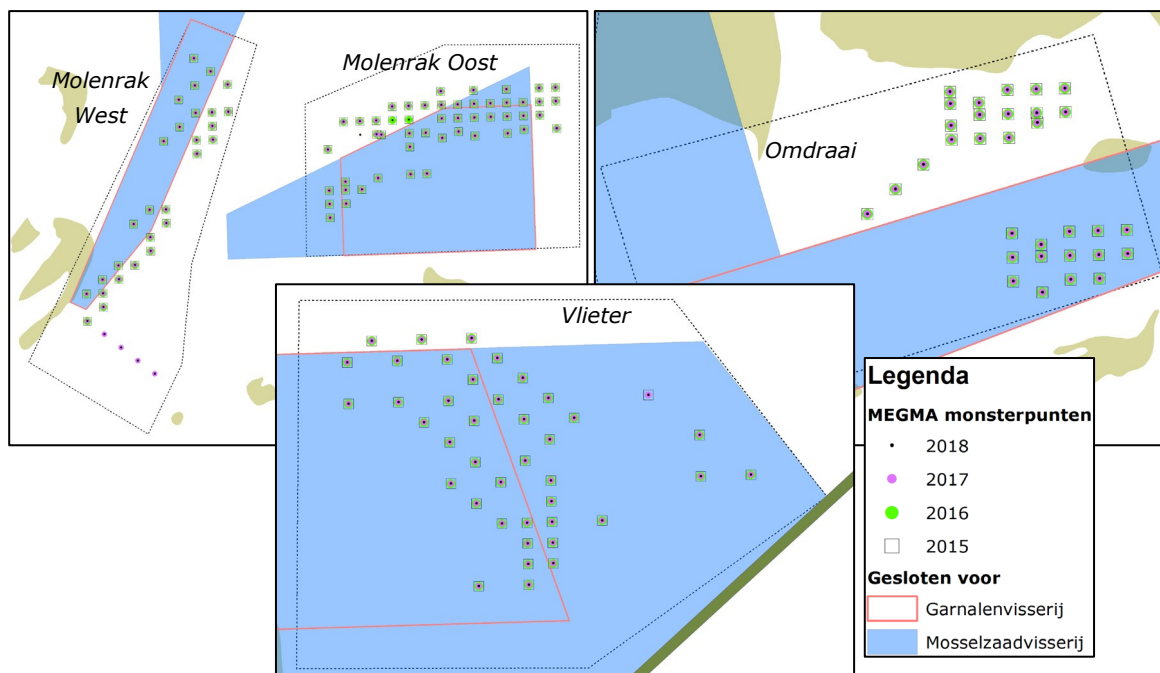
Hoewel het onderzoek zich in 2018 niet richtte op de voor garnalenvisserij gesloten gebieden, spelen de gebiedssluitingen voor garnalenvisserij toch een rol bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten. In een deel van de onderzoekslocaties is het gebied dat gesloten is voor mosselzaadvisserij deels ook gesloten voor garnalenvisserij. In dergelijke gevallen vormt de gebiedssluiting voor garnalenvisserij in een deel van het gebied een bron van extra variatie. Dit is het geval op de onderzoekslocaties Molenrak Oost en Vlieter (Figuur 5). Op de onderzoekslocaties Molenrak West en Omdraai was het gebied gesloten voor mosselzaadvisserij in zijn geheel ook gesloten voor garnalenvisserij, althans in de gebieden waar de MEGMA monsterpunten liggen. Ook hier compliceert de gebiedssluiting voor garnalenvisserij de interpretatie van de MEGMA-resultaten. Immers, als een verschil in ontwikkeling gevonden wordt tussen het gesloten en open gebied, is het vervolgens de vraag of dit toe te schrijven is aan de uitsluiting van mosselvisserij of garnalenvisserij.



Figuur 4. Onderzoekslocaties en monsterpunten in het MEGMA-onderzoek in de gehele periode 2015-2018. De in 2018 bemonsterde punten zijn weergegeven als zwarte stippen. Blauw = gesloten voor mosselzaadvisserij.

2.2.2 Monstername

De bemonstering is in 2018 op dezelfde wijze uitgevoerd als in de voorgaande periode (Troost *et al.*, 2018). Per onderzoekslocatie zijn monsters genomen op een vast grid met een onderlinge afstand tussen de monsterpunten van 360 m of 230 m (Figuur 5). Op de onderzoekslocatie Gat van Stompe is het regelmatige grid verder verdicht tot een afstand tussen de punten van 194 m, om zo een voldoende aantal monsterpunten te hebben voor een vergelijking tussen open en gesloten. De totale aantallen monsterpunten zijn weergegeven in Tabel 1, onderverdeeld per onderzoekslocatie en de categorie van gebiedssluiting (voor garnalenvisserij, mosselzaadvisserij, beide visserijen of geen van beide visserijen). In 2017 zijn op onderzoekslocatie Westkom / Gat van Stompe 25 extra monsterpunten gelegd in nieuw ontstane mosselzaadbanks, met als doel het volgen van de ontwikkeling van deze zaadbanks en geassocieerde fauna in de komende jaren mogelijk te maken. In 2018 zijn daar nog 7 monsterpunten aan toegevoegd. Resultaten voor onderzoekslocatie Westkom / Gat van Stompe zijn tot op heden nog niet meegenomen in de analyses.



Figuur 5. De vier in 2018 geanalyseerde onderzoekslocaties in meer detail. Blauw = gesloten voor mosselzaadvisserij.

Tabel 1. Het aantal bemonsterde monsterpunten in de periode 2015 – 2018, onderverdeeld naar onderzoekslocatie en type sluiting.

Onderzoekslocatie	Gesloten voor	2015	2016	2017	2018
Breezanddijk	Mosselzaad- en garnalenvisserij	6	6	6	
	Mosselzaadvisserij	6	6	6	
Vlieter	Mosselzaad- en garnalenvisserij	20	20	20	20
	Mosselzaadvisserij	18	17	18	18
	Open	3	3	3	3
Eierlandse gat	Garnalenvisserij	20	20	20	
	Open	23	23	23	
Molenrak oost	Mosselzaad- en garnalenvisserij	21	21	21	21
	Mosselzaadvisserij	9	9	9	9
	Open	20	20	18	21
Molenrak west	Mosselzaad- en garnalenvisserij	12	12	12	12
	Open	16	16	20	20
Omdraai	Mosselzaad- en garnalenvisserij	14	14	14	14
	Open	18	18	18	18
Westkom / Gat van Stompe	Mosselzaad- en garnalenvisserij			12	17
	Mosselzaadvisserij	13	13	14	15
	Garnalenvisserij			8	9
	Open			1	1
Totaal		219	218	243	198
Waarvan	Gesloten voor mosselzaadvisserij	119	118	132	126
	Open voor mosselzaadvisserij	100	100	111	72
	Gesloten voor garnalenvisserij	93	93	113	93
	Open voor garnalenvisserij	126	125	130	105

De bemonstering is uitgevoerd volgens dezelfde methodiek als gebruikt tijdens de mosselzaadinventarisaties in het voorjaar: met een zuigkor (Figuur 6) bediend vanaf het vaartuig YE42 "Anna Elizabeth" van Roem van Yerseke B.V. Gevist is met een zuigkor voor kokkels, waarvan de breedte van het mes is versmald tot 20 cm en de kor en de spoelmolen is voorzien van gaas met een maaswijdte van 5 mm. Op ieder monsterpunt is gesleept over een afstand van ca. 100 m, waarmee

per monsterpunt een oppervlak van ca. 20 m² is bemonsterd. De werkelijk afgeviste afstand is bijgehouden met DGPS-plaatsbepaling. Van het totale monster is een submonster genomen van 1/7 deel van het totale volume.

2.2.3 Verwerking van de monsters

Ieder monster is aan boord verder verwerkt. Alle aangetroffen taxa zijn geregistreerd en een deel daarvan verder gesorteerd naar leeftijdsklasse en/of lengteklasse. Van alle taxa is het aantal individuen geteld en het totale natgewicht per monster bepaald (voor een aantal taxa opgesplitst in leeftijd- en/of lengteklassen). Van kapotte individuen zijn geen gewichten bepaald, maar is een gewicht geschat uit het gemiddelde van deze soort in hetzelfde monster, of als dat niet mogelijk was uit alle monsters genomen op dezelfde dag, of als dat niet mogelijk was uit alle monsters genomen. Van enkele taxa worden vrijwel nooit intacte individuen aangetroffen. Deze taxa worden alleen geteld. Voorbeelden hiervan zijn de strandgaper (*Mya arenaria*) en de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*). De meeste gevangen wormen waren ook niet compleet. Van deze taxa zijn alleen de koppen geteld, en is van alle aangetroffen onderdelen het totale natgewicht per monster gewogen. Van anemonen zijn alleen individuen groter dan 10 mm gewogen, kleinere zijn alleen geteld.



Figuur 6. De bemonstering is uitgevoerd met de zuigkor (links) welke wordt bediend vanaf de YE42 (rechts). Het monster wordt via een zuigbuis (rechts) opgezogen en vervolgens aan dek gezeefd in een spoelmolen met een maaswijdte van 5 mm.

In Tabel 2 is voor alle aangetroffen organismen aangegeven op welk soortniveau ze gedetermineerd zijn. In 2015 zijn alle zakpijpen benoemd als Ascidiacea, in 2016 en 2017 is onderscheid gemaakt tussen *Molgula* sp. en *Styela clava* (de knotszakpijp). Alle zagers (o.a. *Alitta virens* en *Nereis diversicolor*) zijn benoemd als Nereididae. Wormen die niet gedetermineerd konden worden omdat bijvoorbeeld slechts een fragment werd aangetroffen, zijn benoemd als Polychaeta indien ze duidelijk borstels hadden, en anders als Annelida. Alle zeepokken zijn benoemd als Balanoidea, anemonen als Actiniaria.

2.3 Visserij activiteiten

Eventuele veranderingen in ontwikkeling tussen het gesloten en open gebied kunnen alleen toegeschreven worden aan de gebiedssluiting indien er daadwerkelijk is gevist in het open gebied. Middels black box gegevens (registratie van scheepsbeweging per mosselkotter) is vastgesteld of er is gevist in de voor mosselzaadvisserij open delen van de onderzoekslocaties. De PO Mossel heeft de black box gegevens hiervoor ter inzage ter beschikking gesteld. De black box gegevens waren daartoe opgewerkt door in het programma MaxSea handmatig contouren rond black box registraties van visserij activiteit te trekken. Onderzocht is of de contouren overlaptten met de MEGMA monsterpunten. Bij de analyses is ervan uitgegaan dat in de gesloten gebieden niet is gevist.

2.4 Analyses

Uit de reguliere mosselzaadinventarisatie is de ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken in de gesloten gebieden uitgezet tegen de tijd, en vergeleken met de ontwikkeling in de open gebieden. Geobserveerde verschillen zijn niet statistisch getoetst aangezien per jaar één waarneming beschikbaar is.

Bij de gemeenschapsanalyse van de MEGMA-gegevens is gebruik gemaakt van Detrended Correspondence Analysis (DCA) en Principal Response Curves (PRC) (in meer detail uitgelegd in de volgende paragrafen). De analyses zijn uitgevoerd in drie stappen:

1. Op basis van DCA is onderzocht of de bodemdiergemeenschappen verschillen tussen de onderzoekslocaties. Dit bleek, zoals verwacht, het geval te zijn. Daarom zijn de data in de vervolgstappen niet alleen integraal geanalyseerd maar ook per onderzoekslocatie.
2. Middels DCA en PRC is voor alle onderzoekslocaties samen en voor de afzonderlijke onderzoekslocaties onderzocht hoe de bodemdiergemeenschap zich in de gesloten gebieden ontwikkelde, of deze ontwikkeling verschilde van de ontwikkeling in de open gebieden, en welke soorten het meest bijdroegen aan geobserveerde verschillen.
3. De soorten met de meeste invloed op geobserveerde verschillen zijn nader onderzocht door hun ontwikkeling in het gesloten en open gebied te vergelijken voor de verschillende onderzoekslocaties. Waar nodig zijn de historische gegevens uit de reguliere mosselzaadinventarisatie gebruikt als referentiekader in ruimte en tijd.

DCA- en PRC-analyses zijn uitgevoerd met behulp van de bibliotheek *vegan* (Oksanen et al., 2016) binnen R (R Development Core Team, 2016). Verder is gebruik gemaakt van de bibliotheken *RODBC*, *doBy*, *nlme*, *rgdal*, *sp*, *fields*, *maptools*, *RColorBrewer*, *classInt*, *ggplot2*, *gridExtra*, en *gtable*.

2.5 Ordinatieplots (DCA)

De mate waarin de monsters op elkaar lijken voor wat betreft de dichtheid van de verschillende soorten, is eerst onderzocht via een indirecte gradiëntanalyse, met name Detrended Correspondence Analysis (DCA). DCA is een methode voor ordinatie. Ordinatie, ook wel (multivariate) gradiëntanalyse genoemd, is het rangschikken van objecten langs gradiënten op grond van waarnemingen aan meerdere afhankelijke variabelen. DCA wordt in de ecologie veel toegepast in het onderzoek van levensgemeenschappen. Daarbij kan elk monster in een plot weergegeven worden als een punt in een multidimensionale ruimte met de dichtheden per soort als coördinaten. Het totale aantal dimensies is gelijk aan het aantal soorten. Vervolgens kan de dimensionaliteit gereduceerd worden door een nieuwe, eerste as te trekken zodanig dat deze de aanwezige variatie maximaal representeert. Een tweede as, loodrecht op de eerste as kan getrokken worden om de overblijvende variatie maximaal te representeren, etc. voor verdere assen. Aldus laten de assen van dit plot (ook ordinatiediagram genoemd) de voornaamste trends in de data zien, in afnemende volgorde. In de ecologische praktijk volstaan meestal twee of drie assen. Hierbij is de eigenwaarde per as een maat voor de door deze as verklaarde variantie. In zo'n ordinatiediagram kunnen zowel de monsters als de soorten weergegeven worden, in aparte diagrammen of samen in een zogenaamd biplot. Op grond van de spreiding in de diagrammen kunnen conclusies getrokken worden over verschillen en overeenkomsten in de monsters, in soortensamenstelling en -dichtheid (Borcard et al., 2011; Jongman et al., 1987). Wij hebben ons hierbij met name gericht op het nagaan van verschillen tussen de onderzoekslocaties, en verschillen tussen jaren.

2.6 Principal Response Curves (PRC)

Ordinatieplots waarin de soorten weergegeven worden zijn vaak slecht leesbaar, zelfs als enkel de meest voorkomende soorten weergegeven worden. Om na te gaan in hoeverre de open en gesloten delen tijdens de onderzoeksperiode meer of minder gelijk bleven qua soortensamenstelling, en welke soorten daarbij een rol spelen, is per onderzoekslocatie een PRC-analyse uitgevoerd. Een PRC-analyse is op te vatten als een bijzondere vorm van een BACI-analyse. De techniek is vooral geschikt om het

effect van een experimentele behandeling op meerdere tijdstippen voor en na de behandeling te onderzoeken. Voor de PRC wordt gebruik gemaakt van een partiële Redundantie Analyse (RDA), waarbij eerst gecorrigeerd wordt voor de variatie in de samenstelling van de bodemdiergemeenschap die veroorzaakt wordt door de tijd. Daarna is de behandeling (gesloten of open voor visserij) gebruikt om de variatie in de taxonsamenstelling te verklaren (Verdonschot et al., 2010). In ons geval omvat tijd dus de bemonsteringsmomenten, en de behandeling het al of niet gesloten zijn voor visserij (inclusief de interactie met tijd).

Het resultaat van de PRC-analyse kan grafisch worden weergegeven met op de x-as de tijd en op de y-as het 'effect' (relatief verschil van behandeling ten opzichte van de controle). De significantie wordt verkregen met behulp van een Monte Carlo permutatie test. De nulhypothese (H_0) is dat er geen effect is van behandeling op alle tijdstippen en voor de combinatie van alle taxa. Verder wordt voor ieder taxon een zogenaamde 'behandelingscore' berekend, die de respons op de behandeling in de tijd weergeeft (taxon neemt af of toe, of verschijnt of verdwijnt). Taxa met een positieve score nemen toe, taxa met negatieve score nemen af als gevolg van de behandeling. Hoe verder de score van een taxon van 0 verwijderd ligt, hoe groter de toe- of afname is en hoe belangrijker dit taxon is bij het verklaren van het algehele trend van alle taxa samen (Den Besten & van den Brink, 2005; Van den Brink & Ter Braak, 1998; Van den Brink & ter Braak, 1999; Verdonschot et al., 2010).

3 Resultaten

3.1 Aangetroffen taxa

Tabel 2. Overzicht van de in alle jaren aangetroffen en onderscheiden taxa. Aangegeven is op welk taxonomisch niveau gedetermineerd is, op welk deel (in procent) van het totale aantal monsterpunten (219 in 2015, 218 in 2016, 243 in 2017 en 198 in 2018) het taxon is aangetroffen en in welke gemiddelde dichtheid berekend over alle stations. In de laatste kolom zijn taxa die ook geregistreerd worden in de mosselzaadinventarisatie gemarkeerd met een *. Voor Balanoidea zijn geen dichtheden gegeven omdat deze niet geteld worden, alleen gewogen.

Taxon	Niveau	Aangetroffen op percentage stations (%)				Gemiddelde dichtheid (n/m ²)				Voor-jaar
		'15	'16	'17	'18	'15	'16	'17	'18	
<i>Ensis leei</i>	soort	65	72	69	75	4,4	6,9	4,6	356,0	*
<i>Mya arenaria</i>	soort	71	72	72	90	112,7	74,7	38,1	72,1	*
<i>Mytilus edulis</i>	soort	63	72	72	72	30,6	379,6	79,4	31,8	*
<i>Cerastoderma edule</i>	soort	53	50	54	60	5,7	7,0	39,8	22,4	*
Actiniaria	orde	65	68	65	63	17,9	19,6	16,4	6,5	
<i>Limecola balthica</i>	soort	60	67	62	70	12,5	7,0	6,5	6,2	*
Nereididae	familie	57	57	43	49	1,6	4,5	2,8	2,1	
<i>Crangon crangon</i>	soort	51	93	87	71	1,7	5,9	5,6	1,9	
<i>Carcinus maenas</i>	soort	78	83	81	63	2,5	3,5	4,5	1,2	*
<i>Molgula sp.</i>	genus	0	35	28	24	0,0	3,4	3,0	1,0	
<i>Crepidula fornicata</i>	soort	26	31	26	21	3,6	5,0	2,6	0,8	*
<i>Asterias rubens</i>	soort	20	24	29	31	1,1	1,2	0,7	0,7	*
<i>Lanice conchilega</i>	soort	5	11	18	16	16,9	25,0	14,8	0,6	
Balanoidea	superfamilie	59	62	61	56					*
<i>Lagis koreni</i>	soort	0	1	0	9	0,0	0,0	0,0	0,4	
Hydrozoa	klasse	53	63	47	16	2,3	9,8	5,2	0,3	
<i>Nephtys sp.</i>	genus	18	38	38	19	0,3	0,4	0,8	0,2	
<i>Crassostrea gigas</i>	soort	28	25	18	16	1,4	2,3	0,4	0,2	*
<i>Hemigrapsus sp.</i>	genus	15	16	20	17	0,3	0,4	0,4	0,2	*
<i>Pomatoschistus sp.</i>	genus	4	15	14	22	0,0	0,1	0,1	0,2	
<i>Ophiura sp.</i>	genus	8	16	11	2	0,1	0,3	0,4	0,1	*
Polynoidae	familie	0	4	3	9	0,0	0,1	0,1	0,1	
<i>Petricolaria pholadiformis</i>	soort	5	8	6	12	0,1	0,5	0,2	0,1	*
<i>Mulinia lateralis</i>	soort	0	0	0	8	0,0	0,0	0,0	0,1	*
Polychaeta	klasse	0	4	0	7	0,0	0,2	0,0	0,1	
<i>Solea solea</i>	soort	2	5	2	5	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Abra alba</i>	soort	1	2	1	3	0,5	0,3	0,3	0,0	*
<i>Pholis gunnellus</i>	soort	4	8	8	5	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Zoarces viviparus</i>	soort	1	5	4	5	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Pleuronectes platessa</i>	soort	9	20	12	3	0,0	0,1	0,0	0,0	
<i>Platichthys flesus</i>	soort	0	0	1	3	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Sprattus sprattus</i>	soort	0	0	0	3	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Macomangulus tenuis</i>	soort	1	4	5	1	0,0	0,0	0,1	0,0	*
<i>Venerupis corrugata</i>	soort	1	1	1	2	0,0	0,0	0,0	0,0	*
<i>Pagurus bernhardus</i>	soort	5	8	6	3	0,0	0,1	0,1	0,0	*
<i>Ammodytes sp.</i>	genus	5	2	1	2	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Syngnathus sp.</i>	genus	3	11	2	2	0,0	0,1	0,0	0,0	
<i>Scrobicularia plana</i>	soort	1	3	2	2	0,0	0,0	0,0	0,0	*
<i>Gasterosteus sp.</i>	genus	0	4	0	2	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Buglossidium luteum</i>	soort	0	0	0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	
Asciacea	klasse	21	9	2	2	0,8	0,8	0,0	0,0	
Clupeidae	familie	0	0	1	1	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Fabulina fabula</i>	soort	2	4	7	1	0,0	0,1	0,1	0,0	*
<i>Arenicola marina</i>	soort	3	1	0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Spisula subtruncata</i>	soort	1	0	0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	*
<i>Myoxocephalus scorpius</i>	soort	0	0	2	1	0,0	0,0	0,0	0,0	
Annelida	phylum	3	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Barnea candida</i>	soort	0	0	0	0	0,1	0,0	0,5	0,0	*
<i>Cancer pagurus</i>	soort	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	*
<i>Ciliata mustela</i>	soort	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Donax vittatus</i>	soort	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	*
<i>Limanda limanda</i>	soort	0	0	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Liparis liparis</i>	soort	0	1	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Merlangius merlangus</i>	soort	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Microstomus kitt</i>	soort	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Palaemonidae	familie	0	0	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Porifera	phylum	0	0	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Scoloplos armiger</i>	soort	0	0	9	0	0,0	0,0	0,1	0,0	

De meest abundante taxa, die op meer dan 50% van de stations zijn aangetroffen, waren in 2018: *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede), *Mya arenaria* (strandgaper), *Mytilus edulis* (mossel), *Cerastoderma edule* (kokkel), *Actiniaria* (anemonen), *Limecola balthica* (nonnetje), *Crangon crangon* (gewone garnaal), *Carcinus maenas* (strandkrab) en *Balanoidea* (zeepokken). Soorten die in 2018 nieuw zijn aangetroffen zijn *Buglossidium luteum* (dwergtong, op 1% van de stations), *Sprattus sprattus* (sprot, op 3% van de stations) en *Mulinia lateralis* (Amerikaanse strandschelp, op 8% van de stations). Er kan niet uitgesloten worden dat *B. luteum* ook in voorgaande jaren is aangetroffen maar toen geregistreerd als *Solea solea* (tong). *S. sprattus* zou in 2017 mogelijk aangetroffen kunnen zijn maar toen geregistreerd als haringachtige (Clupeidae). Van *M. lateralis* is bekend dat dit een exoot is afkomstig uit de Verenigde Staten. De eerste geregistreerde waarnemingen in de Nederlandse Waddenzee stammen uit 2017 (Craeymeersch *et al.*, 2019). Soorten die eerder zijn aangetroffen en



niet meer in 2018 zijn uitsluitend soorten die eerder op slechts één of enkele stations werden aangetroffen, en in zeer lage aantallen. De kans om deze niet aan te treffen is dus groot. Tot slot was er een opvallende toename te zien bij *Lagis koreni* (goudkammetje, Figuur 7), welke in 2016 slechts één keer was aangetroffen, en in 2018 op 9% van de stations (in zowel gesloten als open gebieden).

Figuur 7. Het goudkammetje (*Lagis koreni*).

3.2 Visserij activiteiten

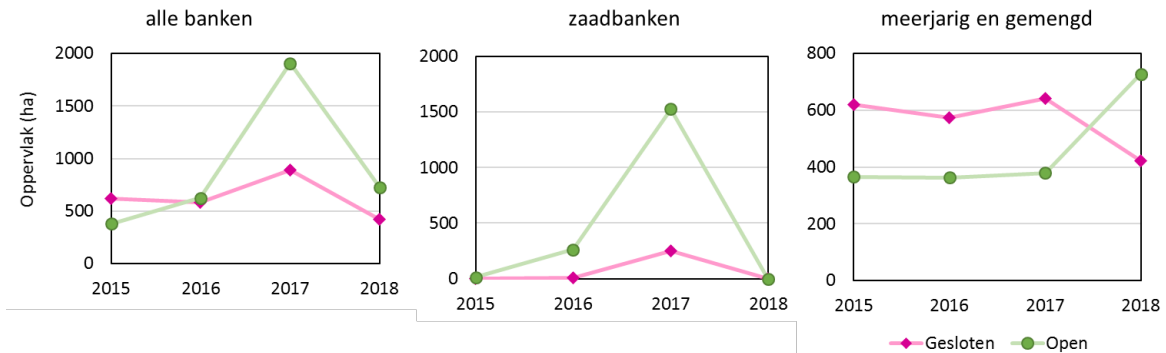
Visserij op mosselzaad vindt niet ieder jaar plaats en als deze wél plaatsvindt is dat alleen in het gebied dat in het visplan is opgenomen en vrijwel uitsluitend binnen de contouren van mosselbanken. Tabel 3 geeft een overzicht van de mosselzaadvisserij op basis van black box gegevens) op de onderzoekslocaties in de periode van 2015 t/m 2018. In Molenrak Oost is sinds sluiting viermaal gevist, namelijk in de voorjaren van 2014 en 2016 t/m 2018. In Molenrak West is alleen in het voorjaar van 2016 gevist, over slechts een zeer klein oppervlak van <3 hectare dat overlapt met slechts één van de MEGMA monsterpunten. In de Omdraai is alleen in het voorjaar van 2018 gevist. Dit was een zeer beperkte bevissing door één schip, waarbij het beviste gebied overlapt met drie MEGMA monsterpunten. In de Vlieter is niet gevist in de onderzoeksperiode.

Tabel 3. Overzicht van wanneer visserij op mosselzaad heeft plaatsgevonden op de onderzoekslocaties, overlappend met minstens één MEGMA monsterpunt. Voorjaarsvisserij = "vj", najaarsvisserij = "nj".

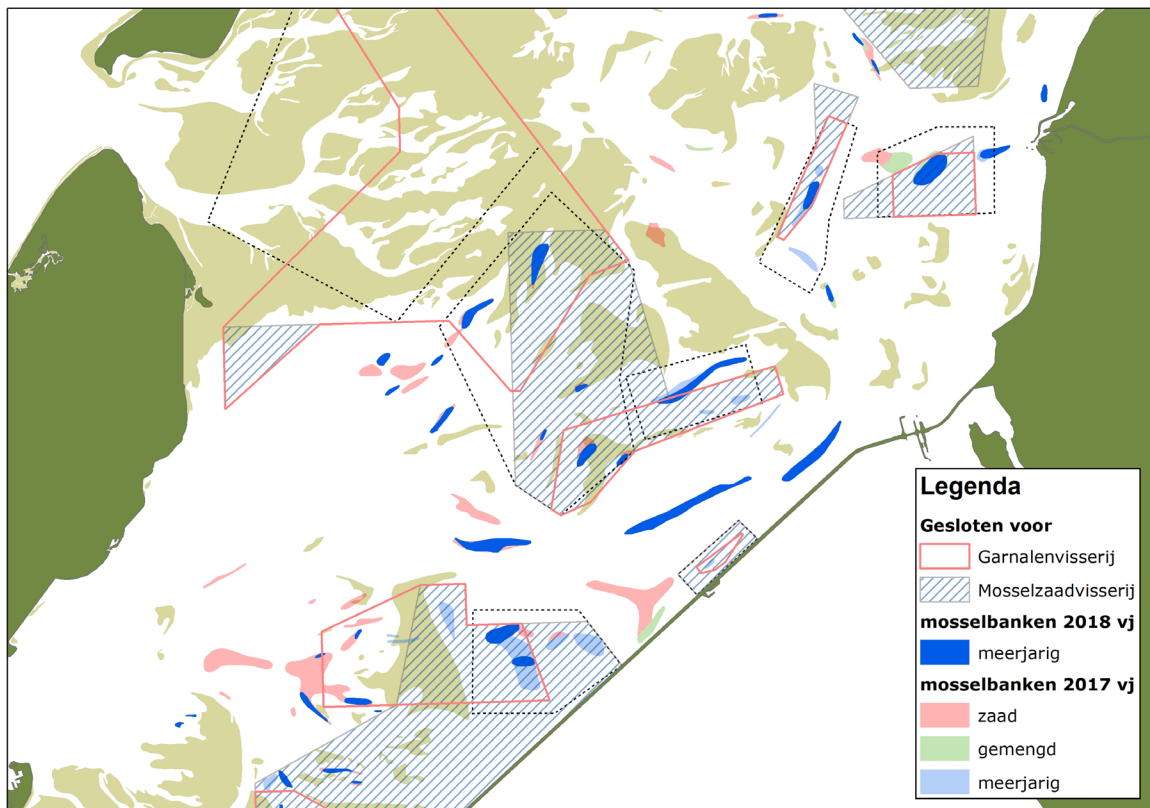
Onderzoekslocatie	2014		2015		2016		2017		2018
	vj	nj	vj	nj	vj	nj	vj	nj	vj
Omdraai	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	JA
Molenrak Oost	JA	nee	nee	nee	JA	nee	JA	nee	JA
Molenrak West	nee	nee	nee	nee	JA	nee	nee	nee	nee
Vlieter	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Westkom	nee	nee	nee	nee	nee	JA	JA	nee	JA
Breezanddijk	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee

3.3 Ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken

In het voorjaar van 2017 werd een grote toename in het areaal van sublitorale mosselbanken geconstateerd (Figuur 8), wat een gevolg was van een omvangrijke broedval in de zomer van 2016. Het grootste deel van dit areaal werd aangetroffen in de voor mosselzaadvisserij open gebieden. In het voorjaar van 2018 werd geen enkele pure mosselzaadbank aangetroffen en bestond het volledige areaal uit meerjarige en gemengde banken. De ontwikkeling van het areaal aan meerjarige en gemengde banken verliep parallel tot en met 2017, met een consequent groter areaal in het gesloten gebied. In het voorjaar van 2018 werd een toegenomen areaal aangetroffen in het open gebied, als gevolg van de omvangrijke zaadval (deze mosselen waren inmiddels uitgegroeid tot meerjarige dieren). In het gesloten gebied werd een opvallende afname geconstateerd terwijl ook hier in 2017 een toename als gevolg van broedval werd gevonden.



Figuur 8. De ontwikkeling van het areaal aan sublitorale mosselbanken in de westelijke Waddenzee, voor alle banken (links), alleen de pure mosselzaadbanken (midden) en de meerjarige en gemengde (meerjarig met zaad) banken (rechts).



Figuur 9. De ligging van sublitorale mosselbanken in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2018, gebaseerd op de resultaten uit de jaarlijkse mosselzaadinventarisatie. In 2018 zijn alleen meerjarige banken aangetroffen. De ligging van de banken in het voorjaar van 2017 is toegevoegd als transparante onderliggende laag (rood = zaad, blauw = meerjarige mosselen, groen = gemengde banken). Blauw gearceerd = gesloten voor mosselzaadvisserij.

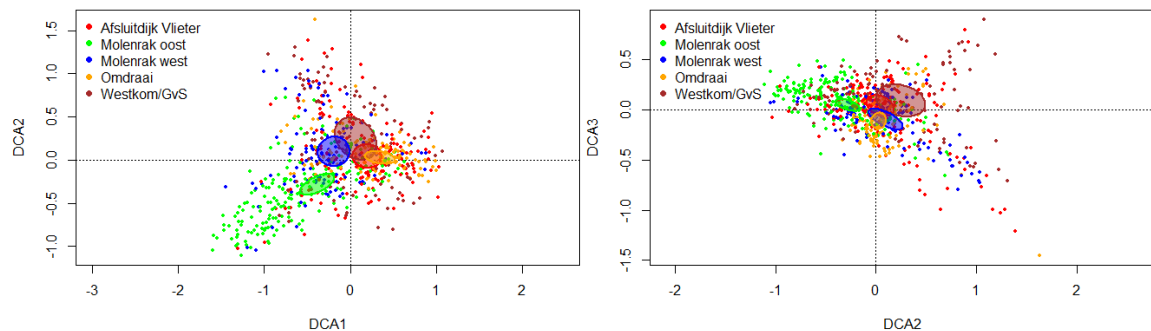
Het areaal aan meerjarige banken is in de gesloten gebieden afgenomen ten opzichte van 2018 door het verdwijnen van voornamelijk oudere banken, die ook in 2017 al geclassificeerd waren als

meerjarig (Figuur 9). Ook in het open gebied is de meerderheid van de in 2017 als meerjarig (of gemengd) geclassificeerde banken verdwenen. Daar is de toename in het areaal van meerjarige banken hoofdzakelijk toe te schrijven aan banken die in de zomer van 2016 zijn ontstaan, die in het voorjaar nog aanwezig waren en zijn geclassificeerd als zaadbanken, en die zijn blijven liggen tot het voorjaar van 2018 als meerjarige banken. Dus zonder de omvangrijke zaadval van 2016, die voornamelijk plaatsvond in de open gebieden, zou waarschijnlijk ook in het open gebied het areaal aan meerjarige mosselbanken afgenomen zijn.

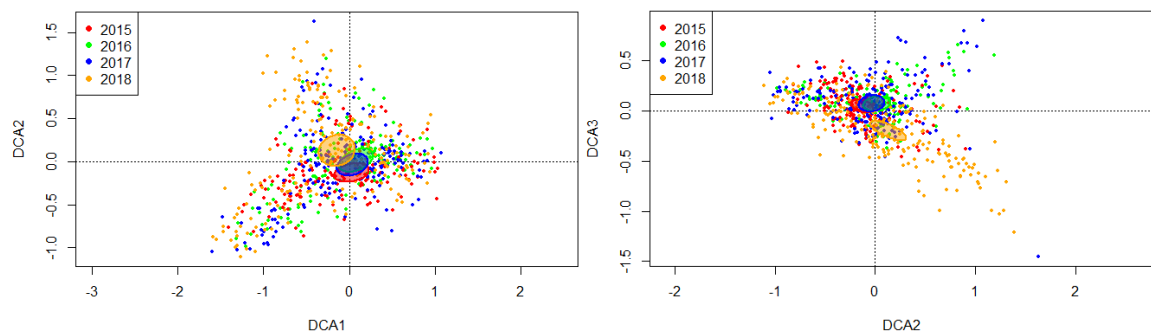
3.4 Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap

3.4.1 Verschillen tussen onderzoekslocaties

Zoals vooraf werd verwacht, bleek uit de DCA dat de bodemdiergemeenschap significant verschilt tussen de onderzoekslocaties. Figuur 10 geeft de ordening van de monsters in de eerste twee ordinaatvlakken. Daarin liggen monsters met eenzelfde soortensamenstelling dicht bij elkaar, monsters die sterk verschillen in soortensamenstelling ver uit elkaar. De onderzoekslocaties zijn in een andere kleur weergegeven. Duidelijk is dat er geen sprake is van echt aparte gemeenschappen, maar van gradiënten in soortensamenstelling en -dichtheid, gelieerd aan de geografische ligging. Er zijn geen monsters die als het ware afgesplitst in het diagram voorkomen. Maar de soortensamenstelling op de onderzoekslocaties is wel verschillend (geen of geringe overlap tussen de betrouwbaarheidsintervallen). Daarom is besloten om de analyses verder vooral te richten op de afzonderlijke onderzoekslocaties. Daarbij is het onderzoekslocatie Westkom/Gat van Stompe buiten beschouwing gelaten omdat in dit gebied pas sinds 2017 voldoende monsterpunten liggen voor een vergelijking tussen het gesloten en open gebied. Een periode van 2 jaar is te kort om conclusies te kunnen trekken over verschillen in ontwikkeling.



Figuur 10. DCA plots voor de gehele dataset waarbij ieder afzonderlijk monsterpunt geplot is, met onderscheid naar onderzoekslocatie, en met links de 1^e en 2^e as en rechts de 2^e en 3^e as. De ellipsen geven het 99,995% betrouwbaarheidsinterval weer. De eerste 2 ordinaat-assen van de DCA-analyse verklaren 13,61% van de variantie in de dataset, de 3^e as 3,25%.

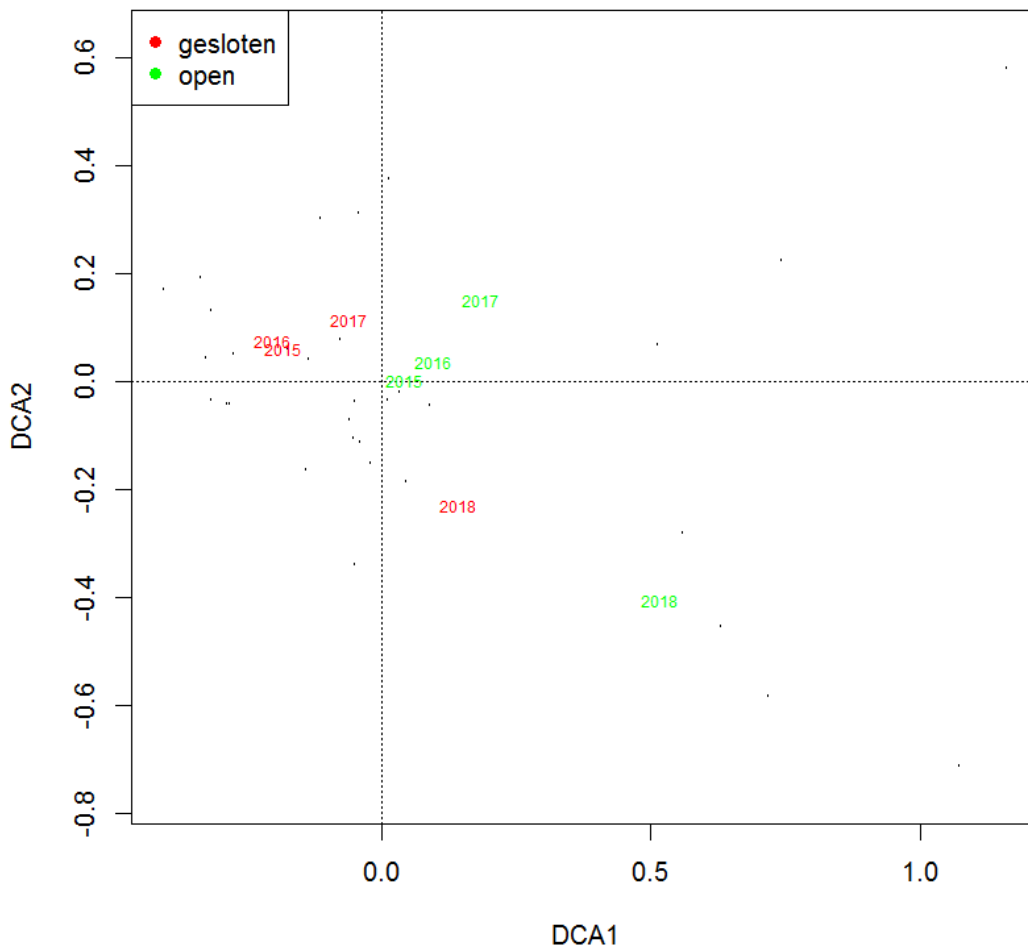


Figuur 11. DCA plots voor de gehele dataset waarbij ieder afzonderlijk monsterpunt geplot is, met onderscheid naar jaar, en met links de 1^e en 2^e as en rechts de 2^e en 3^e as. De ellipsen geven het 99,995% betrouwbaarheidsinterval weer. De eerste 2 ordinaat-assen van de DCA-analyse verklaren 13,61% van de variantie in de dataset, de 3^e as 3,25%.

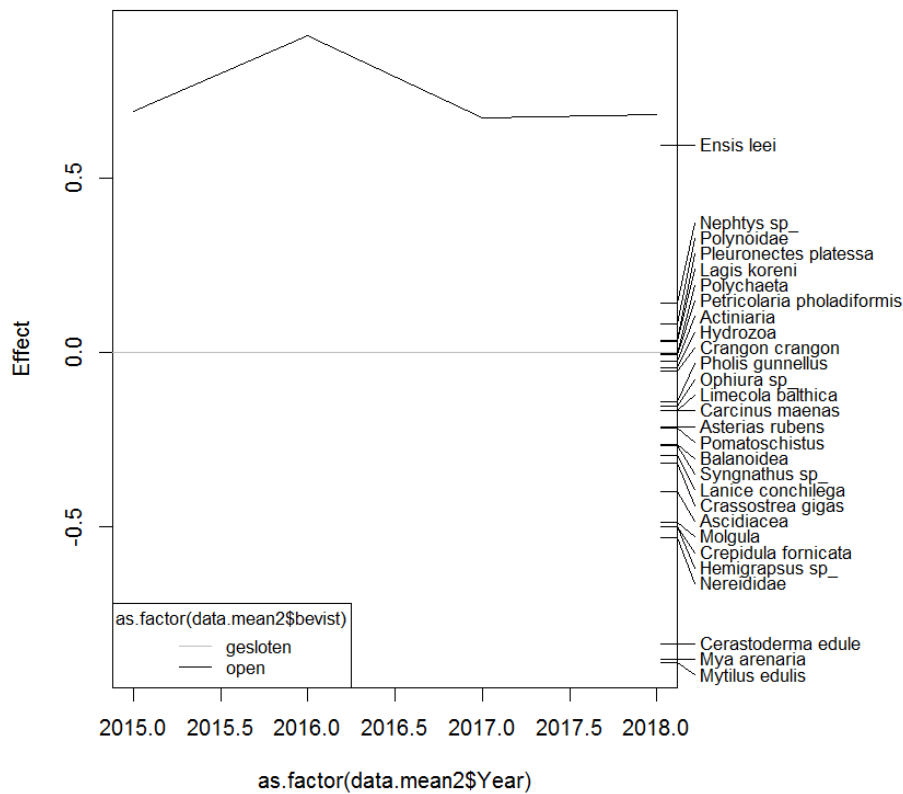
Figuur 11 geeft dezelfde ordening, maar met een andere kleur per jaar. De soortensamenstelling verandert iets per jaar, waarbij vooral 2018 iets anders lijkt dan de eerdere jaren. Dat bleek echter niet voor alle onderzoekslocaties (niet weergegeven). Daarom zijn verdere analyses per onderzoekslocatie gedaan (volgende paragrafen). Uit deze DCA-analyses per onderzoekslocatie blijkt ook dat de soortensamenstelling tussen open en gesloten delen voor mosselzaadvisserij al bij aanvang van het onderzoek verschilde.

3.4.2 Alle onderzoekslocaties samen

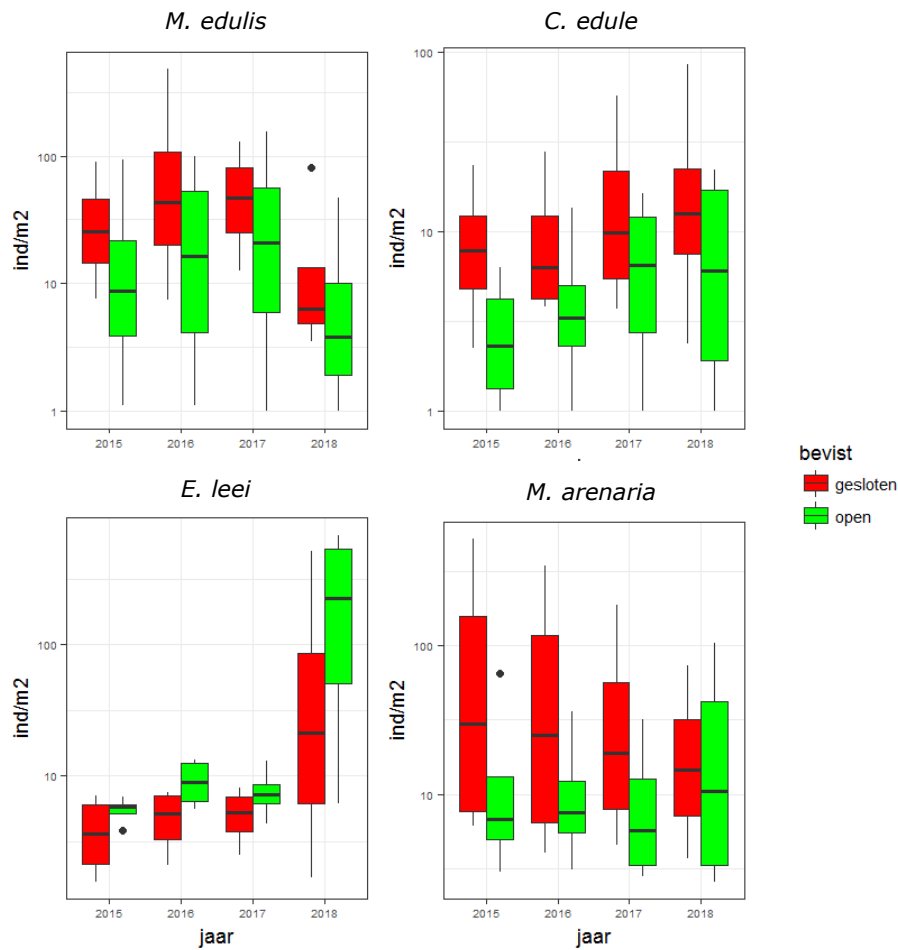
In Figuur 12 is te zien dat de bodemdiergemeenschap in 2018 duidelijk verschilt van de voorgaande jaren. De richting en mate van verandering door de tijd heen lijkt weinig te verschillen tussen de gesloten en open gebieden. Dit is duidelijker te zien in Figuur 13, waar bij aanvang van het onderzoek in 2015 al een verschil aanwezig was, welke in de periode daarna in stand is gebleven. De taxa die de meeste invloed hebben gehad op geobserveerde (absolute) verschillen tussen beide behandelingen zijn *E. leei* (Amerikaanse zwaardschede), *M. edulis* (mossel), *M. arenaria* (strandgaper) en *C. edule* (kokkel) (Figuur 13). In Figuur 14 is de ontwikkeling van deze soorten weergegeven. Wat vooral opvalt is een sterke afname in de dichtheid van *M. edulis* in 2018, en een sterke toename in de dichtheid van *E. leei*. Verschillen tussen het gesloten en open gebied worden voor deze en andere soorten nader uitgewerkt in de volgende paragrafen, waarin resultaten van analyses per onderzoekslocatie gepresenteerd worden.



Figuur 12. Voor alle onderzoekslocaties samen (behalve Westkom / Gat van Stompe) een DCA plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar.



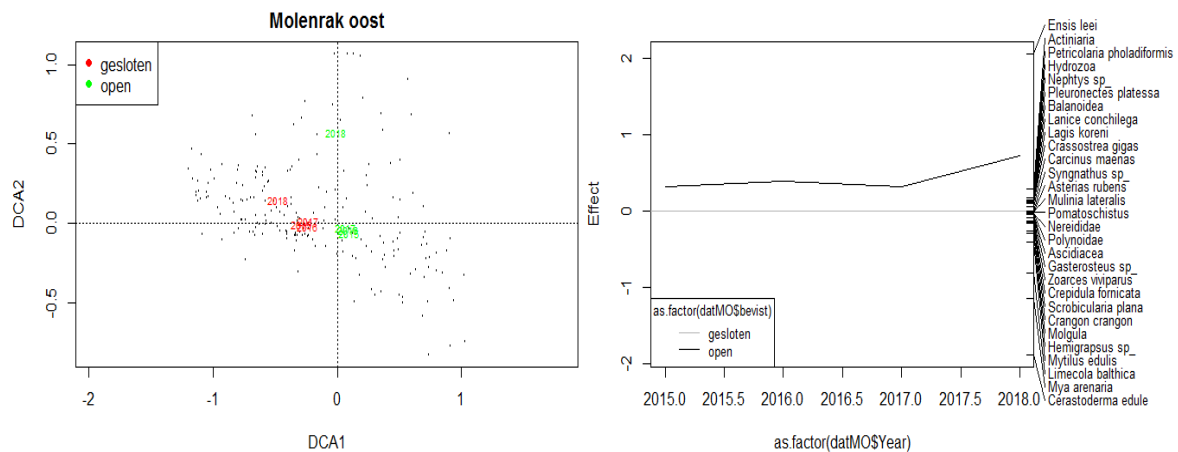
Figuur 13. Voor alle onderzoekslocaties samen (behalve Westkom / Gat van Stompe) een PRC plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied en waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld.



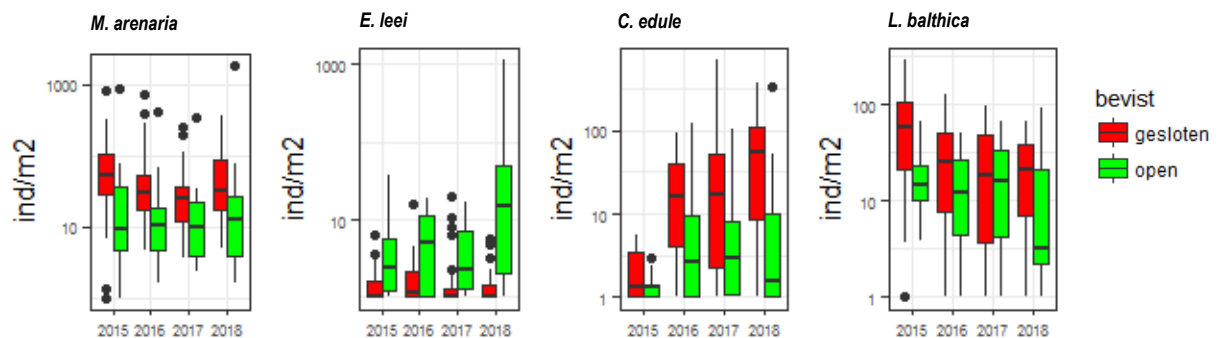
Figuur 14. De ontwikkeling van dichtheden van *M. edulis*, *C. edule*, *E. leei* en *M. arenaria* in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden, weergegeven als boxplots (met mediaan in het midden van de box, en 50% van de waarnemingen binnen de box; uitschieters zijn weergegeven als losse punten).

3.4.3 Onderzoekslocatie Molenrak Oost

In Molenrak Oost was al bij aanvang van het onderzoek de bodemdiergemeenschap verschillend tussen het gesloten en open gebied (Figuur 15). Dit verschil is in stand gebleven in de periode tot en met 2017, en in 2018 groter geworden. Ook is te zien dat zowel in het gesloten als het open gebied de bodemdier samenstelling in 2018 duidelijk afwijkt van de voorgaande jaren. De richting van verandering tussen 2017 en 2018 lijkt in beide *behandelingen* ("open" of "gesloten") anders, namelijk in het gesloten gebied hoofdzakelijk langs de 2^e as (DCA2) en in het open gebied hoofdzakelijk langs de 1^e as (DCA1). In de PRC plot komt het verschil duidelijker naar voren. Hier is te zien dat de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in het open gebied parallel verloopt aan de ontwikkeling in het gesloten gebied, maar dat het verschil tussen beide behandelingen groter wordt in 2018. Beide behandelingen waren al enigszins verschillend van elkaar bij aanvang van het onderzoek. Dit verschil bleef ongewijzigd tot en met 2017, en werd in 2018 groter. De PRC plot laat zien dat de taxa die de meeste invloed hebben op het verschil tussen de behandelingen *C. edule* (kokkel) en *E. leei* (Amerikaanse zwaardschede) zijn. Daarnaast is er een kleinere rol voor *M. arenaria* (strandgaper) en *L. balthica* (nonnetje).



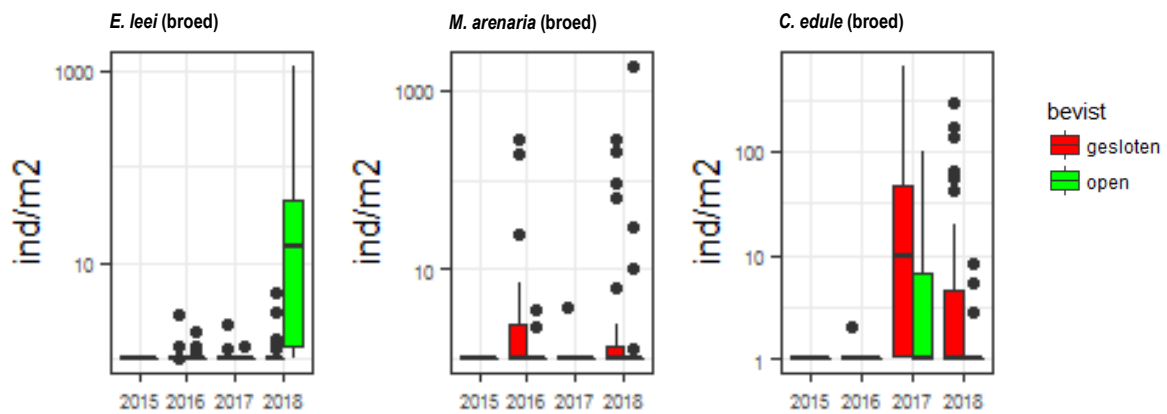
Figuur 15. Voor onderzoekslocatie Molenrak Oost: links een DCA plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar, rechts de bijbehorende PRC plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld.



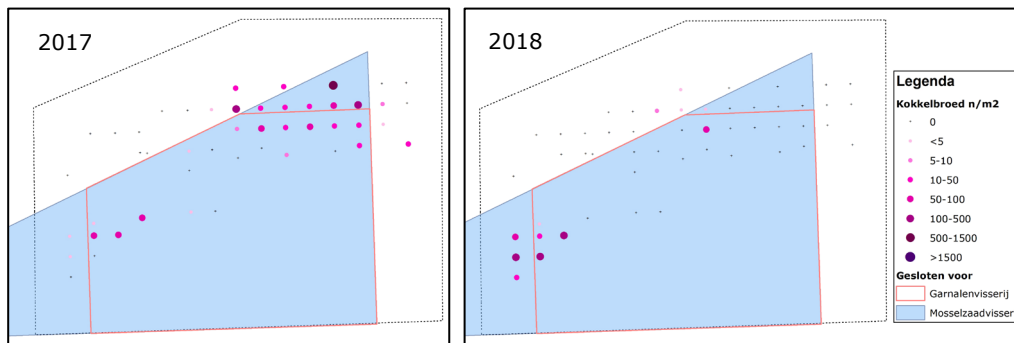
Figuur 16. De ontwikkeling van dichtheden van *M. arenaria*, *E. leei*, *C. edule* en *L. balthica* in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Molenrak Oost, weergegeven als boxplots.

Van de in Figuur 16 weergegeven soorten worden de verschillen in ontwikkeling tussen het open en gesloten gebied vooral verklaard door *C. edule* en *E. leei*. *C. edule* is in hogere dichtheden aangetroffen in het gesloten gebied, en het verschil tussen gesloten en open neemt toe over de tijd. *E. leei* is in hogere dichtheden aangetroffen in het open gebied, en het verschil tussen open en gesloten wordt duidelijk groter in 2018. *M. arenaria* kwam in alle jaren in hogere dichtheden voor in het gesloten gebied, waar in de periode 2015-2017 een afname te zien was. In 2018 is de gemiddelde dichtheid in het gesloten gebied weer toegenomen als gevolg van broedval. De geobserveerde verschillen in ontwikkeling zijn vooral toe te schrijven aan broedval van *C. edule* in het gesloten

gebied en broedval van *E. leei* in het open gebied (Figuur 17). *L. balthica* kwam in 2015 in hogere dichtheden voor in het gesloten gebied, maar in de jaren daarna nam de dichtheid in het gesloten gebied af en was er geen duidelijk verschil meer te zien tussen beide behandelingen.



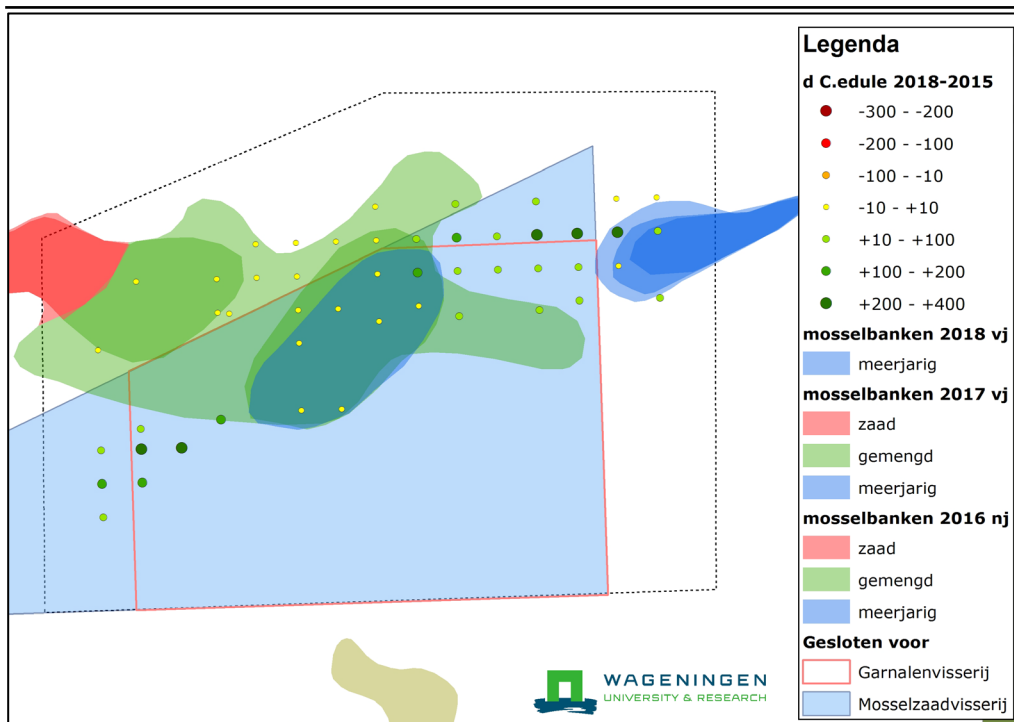
Figuur 17. De ontwikkeling van dichtheden van broed van *M. arenaria*, *E. leei* en *C. edule* in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Molenrak Oost, weergegeven als boxplots.



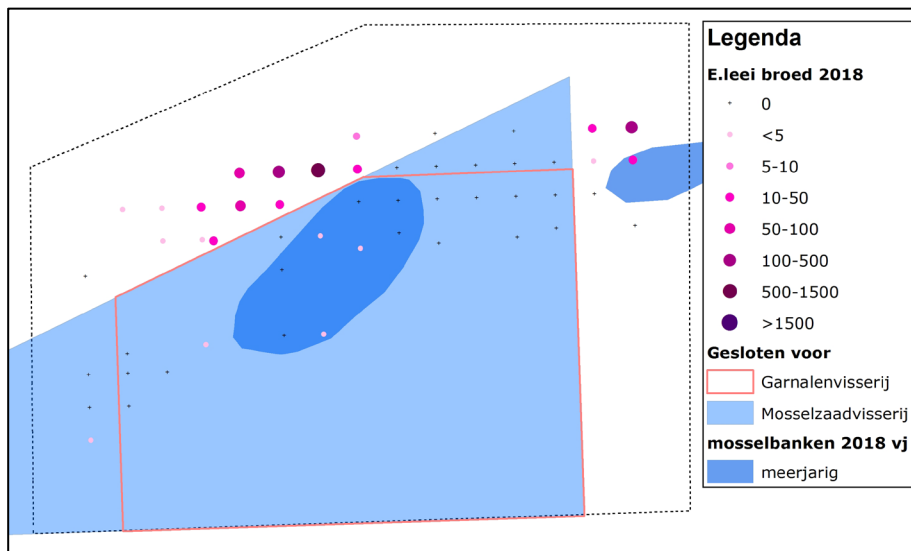
Figuur 18. Ruimtelijke verspreiding van broed van *C. edule* op onderzoekslocatie Molenrak Oost. Links dichtheden in 2017, rechts dichtheden in 2018.

Broedval van *C. edule* vond in 2017 vooral plaats in het noordoosten van het gesloten gebied en in 2018 in het westen (Figuur 18). Beide gebeurtenissen hebben ervoor gezorgd dat de dichtheid aan kokkels in het gesloten gebied als geheel is toegenomen terwijl er vrijwel geen broedval heeft plaatsgevonden in het open gebied en daar de dichtheden aan kokkels nauwelijks zijn veranderd, behalve in het uiterste oosten (Figuur 19). Wanneer de mosselbank contouren van de betreffende drie jaar over elkaar worden gelegd (Figuur 19) wordt duidelijk dat vrijwel het gehele open gebied bedekt was door mosselbanken. De broedval van kokkels heeft dus plaatsgevonden daar waar niet gevestigd mocht worden, maar dit betekent ook dat de broedval heeft plaatsgevonden daar waar geen mosselbanken aanwezig waren. Broedval van *E. leei* vond vrijwel uitsluitend plaats in het open gebied, buiten de daar aanwezige mosselbanken (Figuur 20).

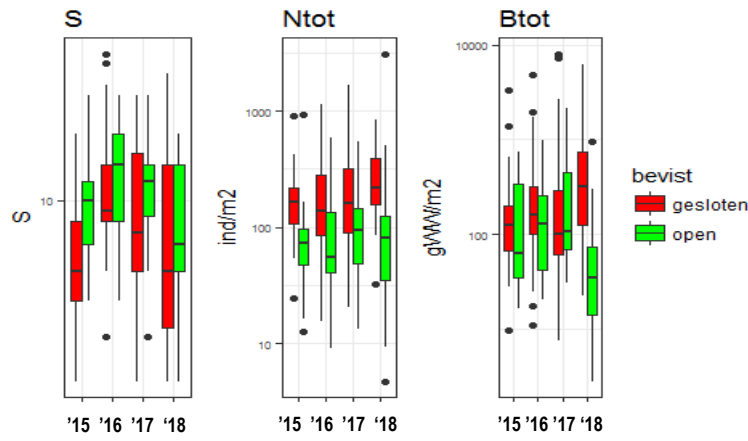
Voor wat betreft de soortenrijkdom (aantal taxa per monsterpunt) zien we geen duidelijk verschil in ontwikkeling tussen gesloten en open (Figuur 21). Het gemiddelde aantal individuen is in de gehele onderzoeksperiode groter in het gesloten gebied, en dit verschil lijkt in 2018 groter dan voorheen, waarschijnlijk als gevolg van broedval onder *C. edule* en *M. arenaria*. De totale biomassa per monsterpunt verschilt tot 2018 niet tussen beide behandelingen maar is in 2018 toegenomen in het gesloten gebied en afgenomen in het open gebied, vooral als gevolg van broedval van *C. edule* in het gesloten gebied in 2017 en groei van deze dieren (Figuur 22), en een afname van meerjarige *M. edulis* in het open gebied (Figuur 22 en Figuur 23).



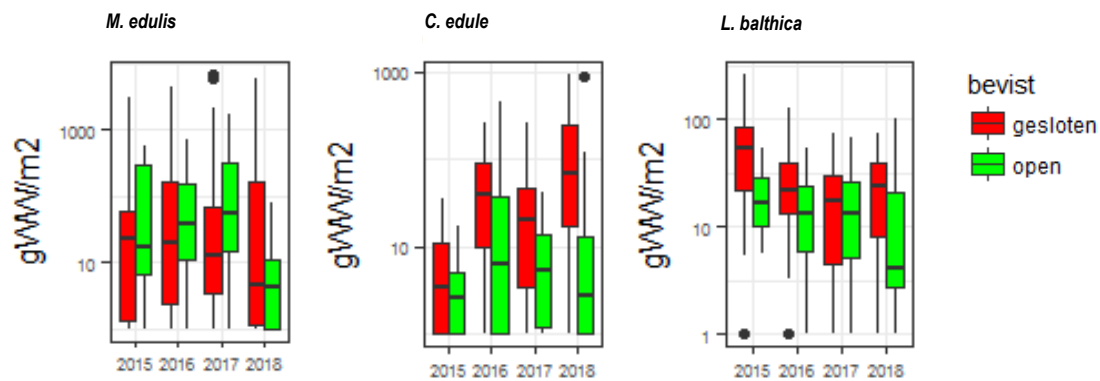
Figuur 19. Het verschil in dichtheden van *C. edule* tussen 2015 en 2018, weergegeven als: per monsterpunt de dichtheid in 2015 afgetrokken van de dichtheid in 2018. Positieve getallen geven een toename weer die is weergegeven als groene stippen. Negatieve getallen geven een afname weer die is weergegeven als rode stippen. Gele stippen geven aan dat er geen substantiële verandering was (toe- of afname met maximaal 10 individuen per m²). Het gebied gesloten voor mosselzaadvisserij is weergegeven als een blauw vlak, en de onderzoekslocatie is omkaderd met een zwarte stippellijn. Mosselbanken in de periode van najaar 2016 tot en met voorjaar 2018 zijn weergegeven als doorschijnende polygoenen (rood = zaad, groen = mengsel van zaad en meerjarig, blauw = meerjarig) (in bijlage 1 zijn de verspreidingskaarten van mosselbanken per jaar te vinden).



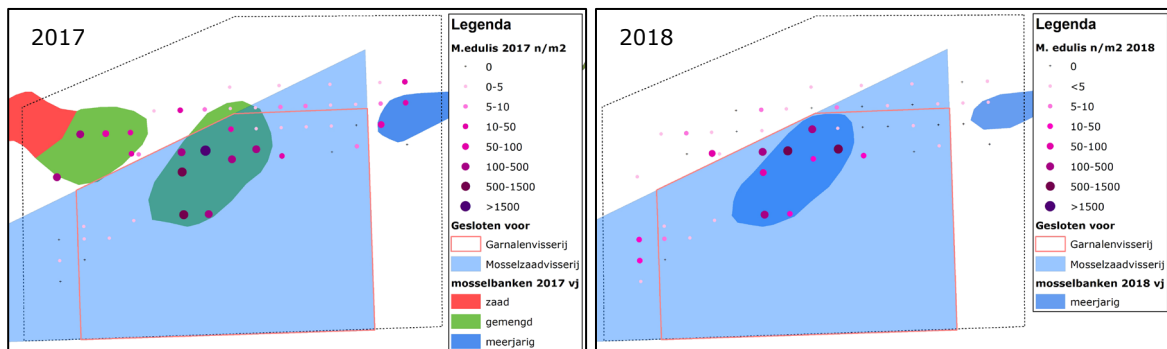
Figuur 20. Dichtheid van broed van *E. leei* in 2018. Ook weergegeven zijn de in het voorjaar van 2018 aangetroffen mosselbanken.



Figuur 21. De ontwikkeling in bodemdier rijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt, het aantal individuen per monsterpunt en de totale biomassa per monsterpunt. NB: in de totale biomassa zijn twee zeer abundante soorten niet opgenomen omdat van deze soorten geen intacte individuen worden aangetroffen (*M. arenaria* en *E. leei*).



Figuur 22. De ontwikkeling in biomassa (g natgewicht per m²) van *M. edulis*, *C. edule* en *L. balthica* in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Molenrak Oost, weergegeven als boxplots.

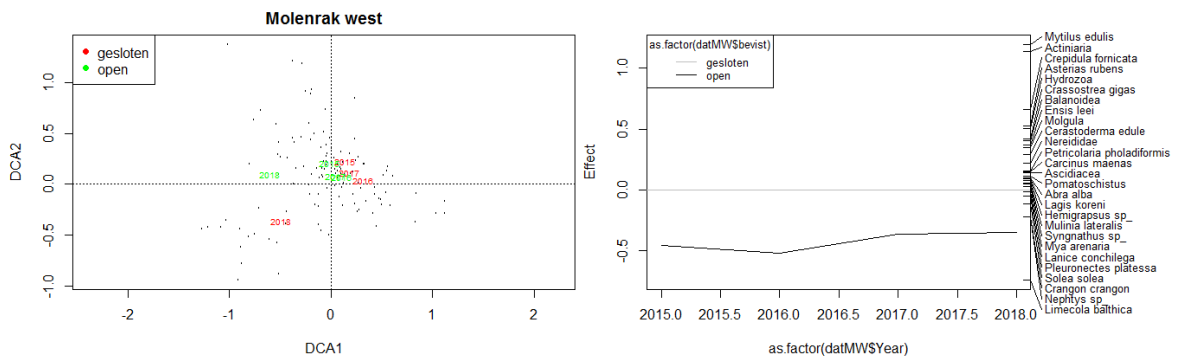


Figuur 23. Weergegeven is de dichtheid van mosselen op onderzoekslocatie Molenrak Oost in 2017 (links) en 2018 (rechts).

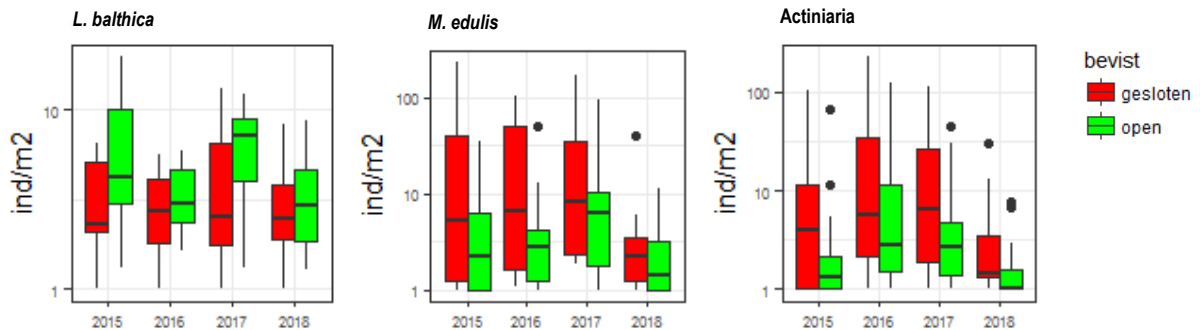
3.4.4 Onderzoekslocatie Molenrak West

In de DCA plot (Figuur 24 links) is te zien dat in zowel het open als het gesloten gebied de jaren 2015-2017 niet veel van elkaar verschillen, en dat de verandering richting 2018 in beide behandelingen in dezelfde richting verloopt. In het PRC plot (Figuur 24 rechts) wordt bevestigd dat er geen verschil in ontwikkeling is tussen het gesloten en open gebied. Het verschil tussen beide behandelingen dat al bij aanvang van het onderzoek aanwezig was blijft bestaan. De taxa die de grootste invloed hebben op

het geobserveerde verschil tussen beide behandelingen zijn *L. balthica* (nonnetje), *M. edulis* (mossel) en Actiniaria (anemonen).



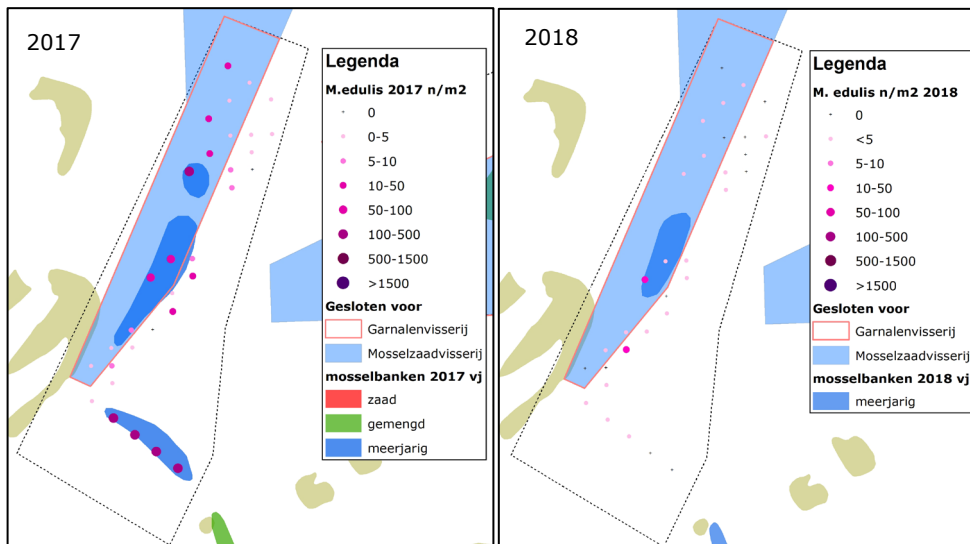
Figuur 24. Voor onderzoekslocatie Molenrak West: links een DCA plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar, rechts de bijbehorende PRC plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld.



Figuur 25. De ontwikkeling van dichtheden van *L. balthica*, *M. edulis* en Actiniaria in de voor mosselzaadvijsserij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Molenrak West, weergegeven als boxplots.

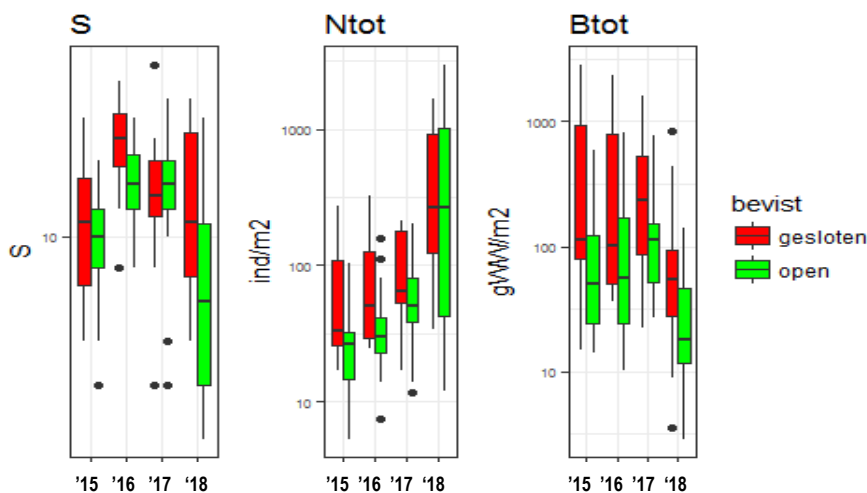
In Figuur 25 is de ontwikkeling weergegeven van de taxa die het meest bepalend zijn voor het geobserveerde verschil tussen het gesloten en open gebied. In alle jaren werden hogere dichtheden van *M. edulis* en Actiniaria aangetroffen in het gesloten gebied. In 2018 zijn de dichtheden afgenomen in zowel het open als het gesloten gebied en is het verschil tussen gesloten en open kleiner geworden. Actiniaria hechten zich vaak aan mosselen en de ontwikkeling van Actiniaria is daarom waarschijnlijk direct gekoppeld aan de ontwikkeling van *M. edulis* (Smaal *et al.*, 2013). In alle jaren kwam *L. balthica* in iets hogere dichtheden voor in het open gebied. Ook bij deze soort zijn de dichtheden in gesloten en open afgenomen in 2018 en is het verschil tussen gesloten en open wat kleiner geworden.

In 2018 is het aantal soorten per monsterpunt relatief sterk afgenomen in het open gebied (Figuur 27). Dit is waarschijnlijk een direct gevolg van de afname in dichtheid van mosselen aangezien in mosselbanken over het algemeen een hogere soortenrijkdom wordt aangetroffen (Dittmann 1990, Buschbaum & Saier 2003, Norling & Kautsky 2008, Buhs & Reise 1997, Commiato *et al.* 2008, Buschbaum *et al.*, 2009, Craeymeersch & Jansen, 2019). In het open gebied kwamen de volgende soorten op 6 of meer locaties minder voor dan in 2017: Actiniaria (anemonen), Balanoidea (zeepokken), *Molgula* sp. (een zakpijp), *Carcinus maenas* (strandkrab) en *Nephtys* sp. (zandzager). Dit zijn hoofdzakelijk soorten die geassocieerd zijn met mosselen (Smaal *et al.*, 2013; Dekker & Drent, 2013). In het gesloten gebied lieten deze soorten een minder sterke of geen afname zien in het aantal monsterpunten waarop ze zijn aangetroffen.

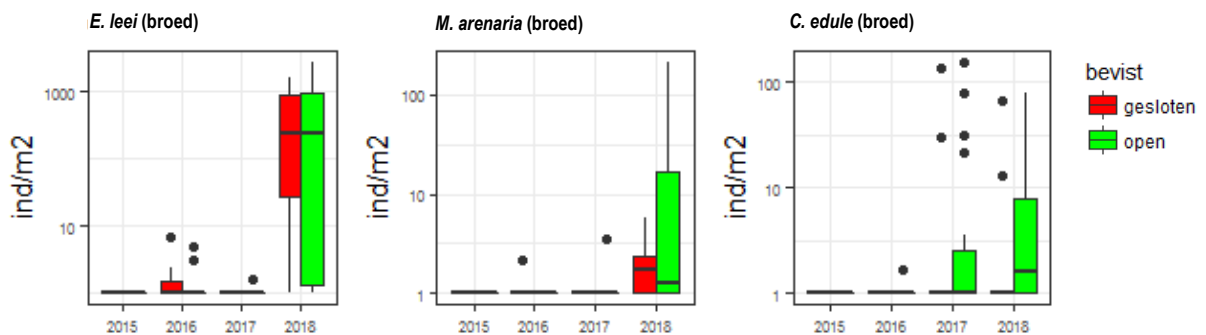


Figuur 26. De dichtheid van *M. edulis* op onderzoekslocatie Molenrak West in 2017 en 2018.

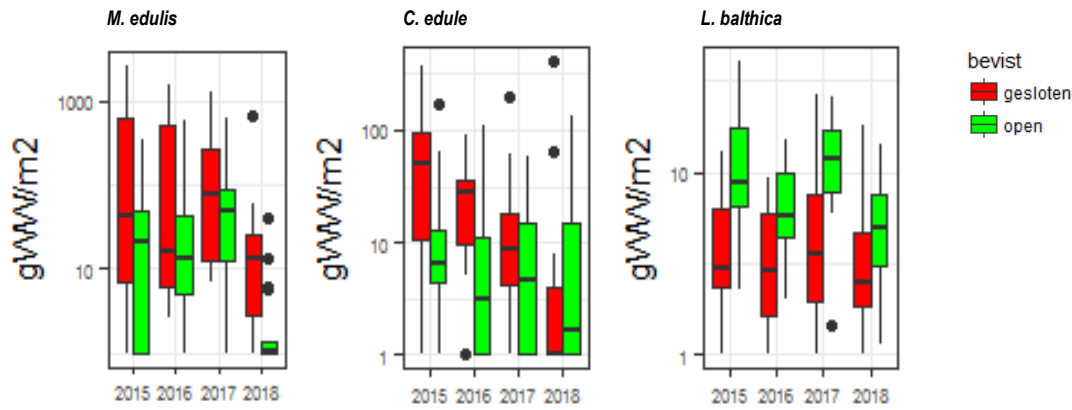
In zowel het gesloten als het open gebied nam het totale aantal individuen per monsterpunt toe. Dit is vooral een gevolg van broedval van *C. edule*, *E. leei* en *M. arenaria* in 2017 en 2018 (Figuur 28). De afname in totale biomassa in 2018, het sterkst in het open gebied, is grotendeels veroorzaakt door een afname van *M. edulis* in vooral het gesloten gebied, en een afname van *L. balthica* in vooral het open gebied (Figuur 29).



Figuur 27. De ontwikkeling in bodemdier rijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt, het aantal individuen per monsterpunt en de totale biomassa per monsterpunt. NB: in de totale biomassa zijn twee zeer abundante soorten niet opgenomen omdat van deze soorten geen intacte individuen worden aangetroffen (*M. arenaria* en *E. leei*).



Figuur 28. De ontwikkeling van dichtheden van het broed van *C. edule*, *E. leei* en *M. arenaria* in de voor mosselzaadvissersrij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Molenrak West, weergegeven als boxplots.

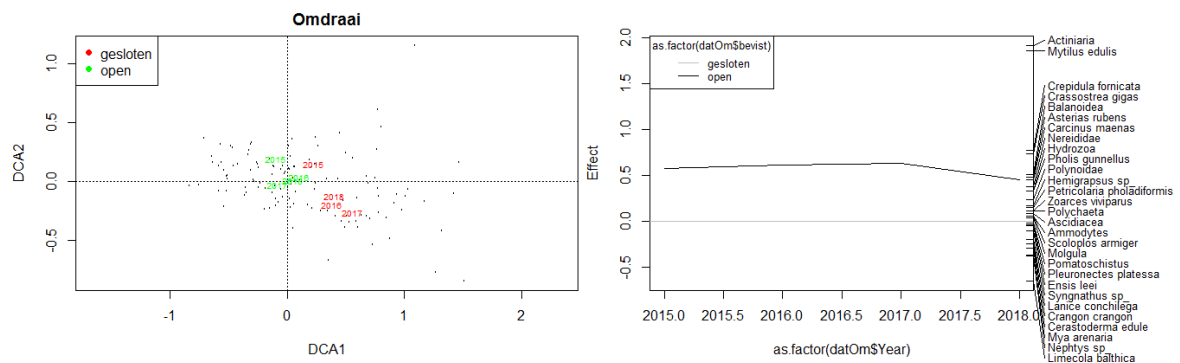


Figuur 29. De ontwikkeling in biomassa van *M. edulis*, *C. edule* en *L. balthica* in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Molenrak West, weergegeven als boxplots.

3.4.5 Onderzoekslocatie Omdraai

In de Omdraai werden slechts kleine verschillen tussen de jaren waargenomen (Figuur 30 links). De PRC plot (Figuur 30) laat zien dat het verschil in bodemdier gemeenschap dat al bij aanvang van het onderzoek aanwezig was in de volgende jaren in stand is gebleven. Wel lijkt het verschil in 2018 kleiner geworden te zijn. Verschillen tussen de behandelingen worden vooral veroorzaakt door verschillen in de dichtheid van Actiniaria (anemonen), *M. edulis* (mossel), en *L. balthica* (nonnetje).

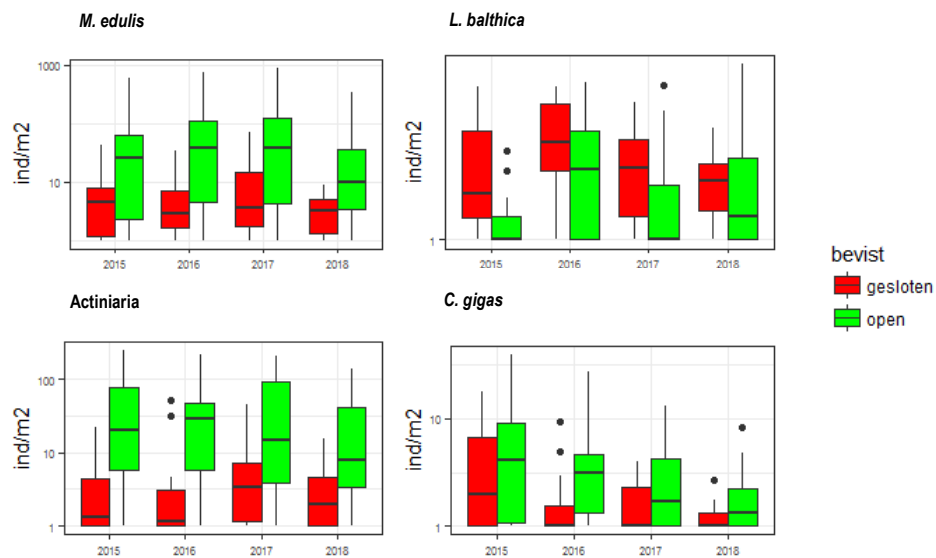
Net als in Molenrak West volgen de dichtheden van Actiniaria waarschijnlijk de dichtheden van *M. edulis*, maar ook die van *C. gigas* (Japanse oester). Deze drie taxa zijn in de periode 2015-2017 meer abundant in het open gebied maar nemen daar af, *M. edulis* in 2018 maar Actiniaria vanaf 2017 en *C. gigas* al vanaf 2015. De afname van *C. gigas* is ook te zien in het gesloten gebied maar sterker in het open gebied waar de soort gedurende alle vier jaren meer abundant was. Dichtheden van *L. balthica* zijn in de onderzoekslocatie Omdraai relatief laag en verschilden vooral in 2015 tussen het gesloten en open gebied. Daarna werd het verschil kleiner door aanwas in vooral het open gebied.



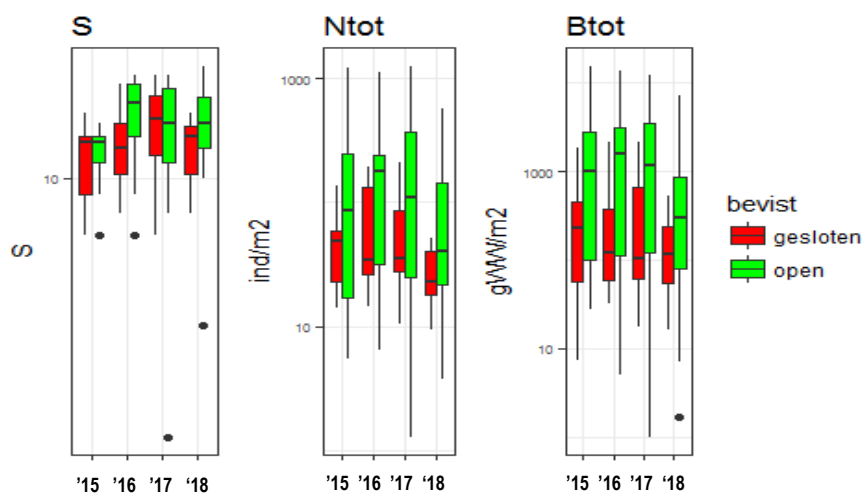
Figuur 30. Voor onderzoekslocatie Omdraai: links een DCA plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar, rechts de bijbehorende PRC plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld.

Bij aanvang van het onderzoek was het aantal soorten per monsterpunt even groot in het open en gesloten gebied, en was het totale aantal individuen en de totale biomassa hoger in het open gebied. Verschillen zijn in 2018 kleiner geworden als gevolg van een afname in het aantal individuen per monsterpunt en de totale biomassa per monsterpunt in het open gebied. Deze ontwikkeling komt overeen met een afname van oesters, mosselen en anemonen in het open gebied (Figuur 31, Figuur 33).

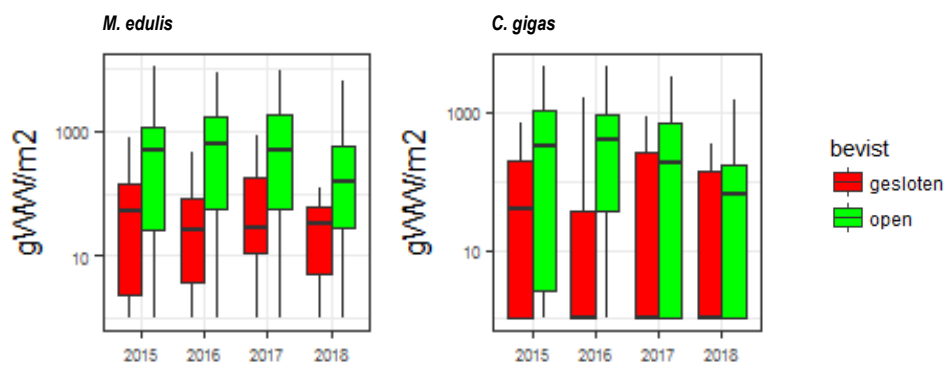
Of het verschil in ontwikkeling van *M. edulis*, *C. gigas* en geassocieerde soorten zoals Actiniaria verklaard kan worden door de gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij wordt nader uitgewerkt in de discussie.



Figuur 31. De ontwikkeling van dichtheden van *M. edulis*, *L. balthica*, *Actiniaria* en *C. gigas* in de voor mosselzaadvissersrij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Omdraai, weergegeven als boxplots.



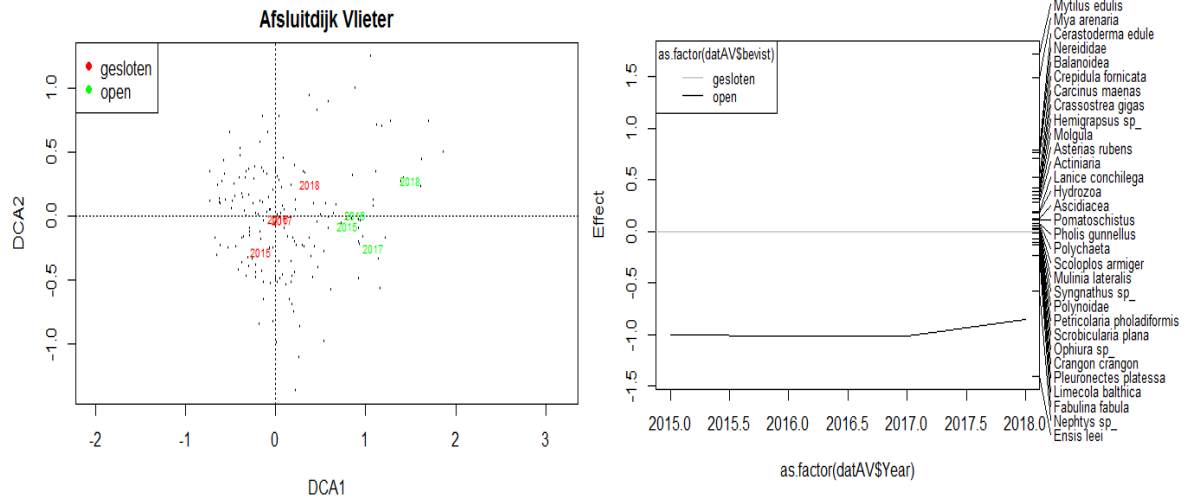
Figuur 32. De ontwikkeling in bodemdier rijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt, het aantal individuen per monsterpunt en de totale biomassa per monsterpunt. NB: in de totale biomassa zijn twee zeer abundante soorten niet opgenomen omdat van deze soorten geen intacte individuen worden aangetroffen (*M. arenaria* en *E. leei*).



Figuur 33. De ontwikkeling in biomassa van *M. edulis* en *C. gigas* in de voor mosselzaadvissersrij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Omdraai, weergegeven als boxplots.

3.4.6 Onderzoekslocatie Vlieter

Het open gebied van Vlieter is in geen van de jaren bevestigd. Eventuele verschillen tussen het gesloten en open gebied kunnen dus niet toegeschreven worden aan de gebiedssluiting voor mosselzaadvijverij. Daarbij is de verdeling van monsterpunten over het voor mosselzaadvijverij gesloten en open gebied zeer ongelijk, met slechts 3 van de 41 monsterpunten in het open gebied. Vanwege deze ongelijke verdeling leent onderzoekslocatie Vlieter zich niet goed voor een vergelijking tussen het voor mosselzaadvijverij gesloten en open gebied. Omdat de Vlieter wél een kansrijk gebied is voor de ontwikkeling van meerjarige mosselbanken is ervoor gekozen de ontwikkeling in het gesloten gebied nader uit te werken, en is daarbij ook het open gebied meegenomen ter vergelijking.



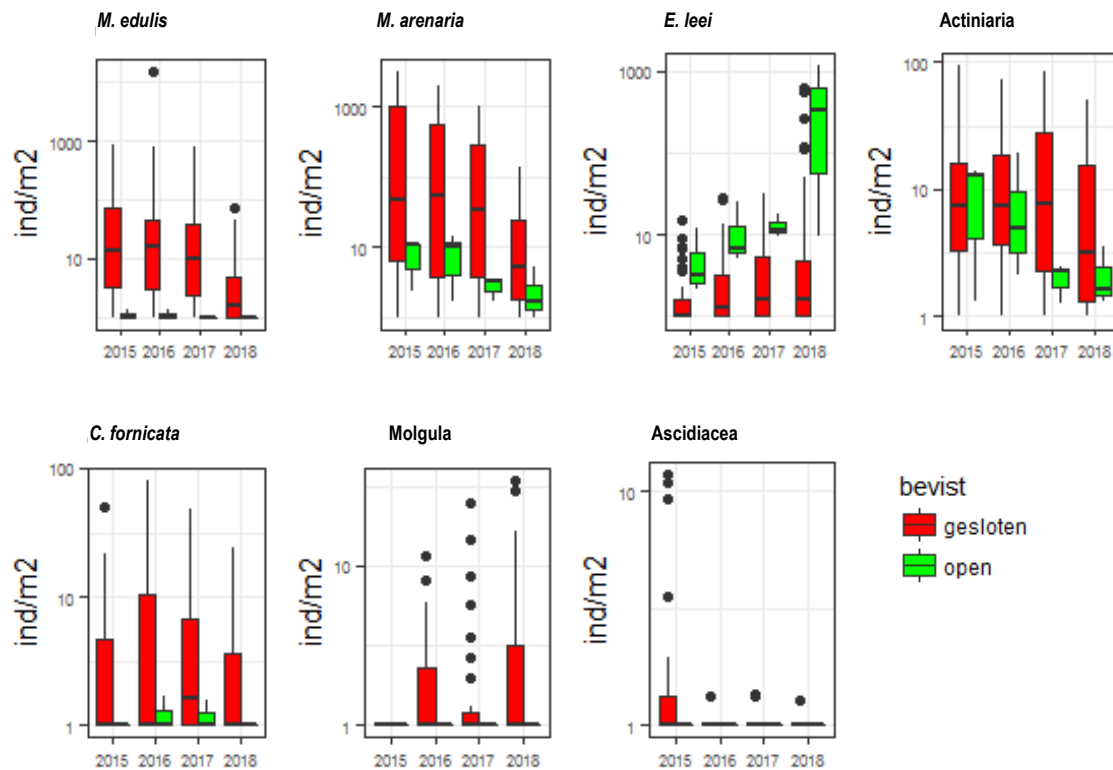
Figuur 34. Voor onderzoekslocatie Vlieter: links een DCA plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar, rechts de bijbehorende PRC plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld.

In Figuur 34 is te zien dat het verschil dat bij aanvang van het onderzoek al aanwezig was in de volgende jaren in stand is gebleven. Wel lijkt het verschil in 2018 iets af te nemen. Verschillen tussen het gesloten en open gebied zijn het sterkst bepaald door de taxa *E. leei* (Amerikaanse zwaardschede), *M. edulis* (mossel) en *M. arenaria* (strandgaper).

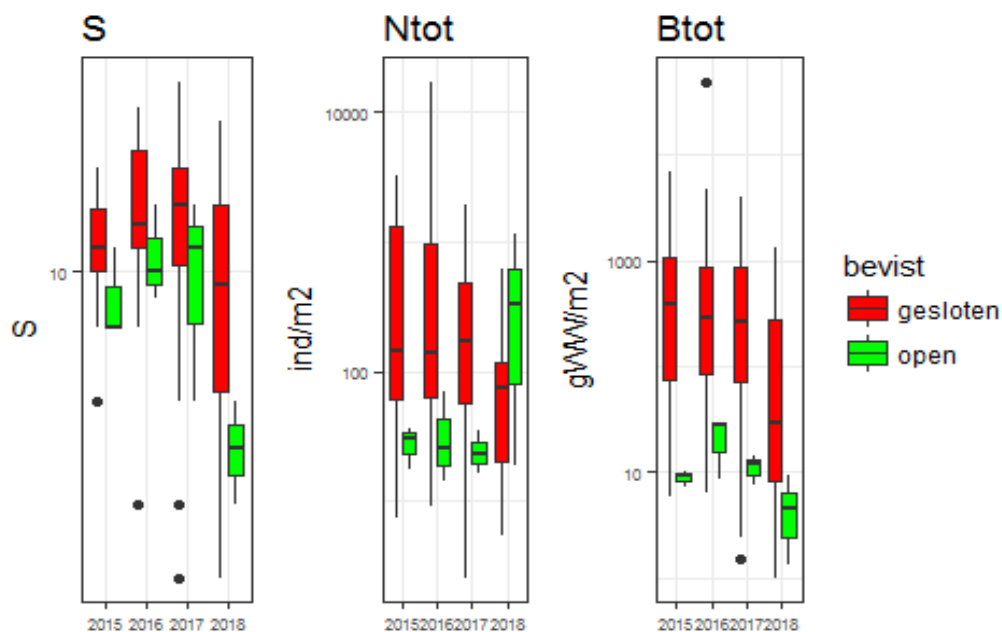
Zoals ook beschreven in Troost *et al.* (2018) is het verschil in gemiddelde dichtheid van *M. arenaria* zeer groot tussen het gesloten en open gebied. Door een sterkere afname van *M. arenaria* in het gesloten gebied ten opzichte van het open gebied wordt het verschil in de loop der tijd kleiner. Dit verschil in ontwikkeling kan niet toegeschreven worden aan de gebiedssluiting (Troost *et al.*, 2018). Ook *M. edulis* komt in de gehele onderzoeksperiode in duidelijk grotere dichtheden voor in het gesloten gebied en laat daar in 2018 een sterke afname zien. *E. leei* is juist in alle jaren meer abundant geweest in het open gebied en laat daar in 2018 een sterke toename zien als gevolg van broedval (let wel: dit betreft slechts drie monsterpunten).

Op onderzoekslocatie Vlieter is in 2018 een afname te zien in het aantal soorten per monsterpunt in zowel het open als gesloten gebied, maar sterker in het open gebied. In Figuur 37 is te zien dat het aantal soorten tussen 2015 en 2018 over een groter gebied is afgenomen, waarvan de 3 monsterpunten in het open gebied deel uitmaken. Een effect van de gebiedssluiting kan dus uitgesloten worden.

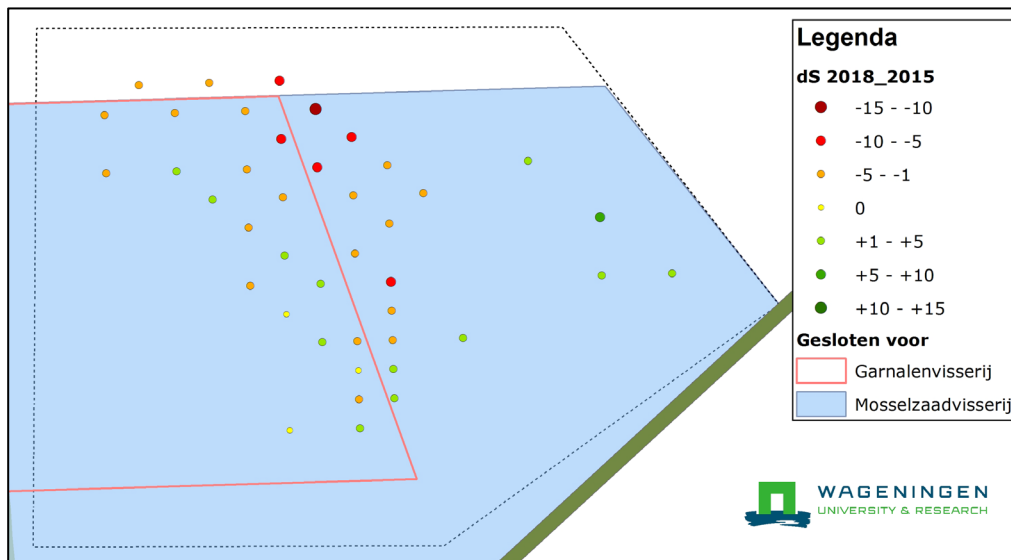
Het totale aantal individuen en de totale biomassa per monsterpunt neemt in 2018 af in het gesloten gebied als gevolg van een afname in vooral *M. edulis* en *M. arenaria*. In het open gebied werd juist een sterke toename gevonden vooral als gevolg van broedval van *E. leei*.



Figuur 35. De ontwikkeling van dichtheden van *M. edulis*, *M. arenaria*, *E. leei*, *Actiniaria*, *Crepidula fornicata* (muiltje), *Molgula* sp. (een zakpijp) en *Ascidiacea* (overige soorten zakpijpen) in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden op onderzoekslocatie Molenrak West, weergegeven als boxplots.



Figuur 36. De ontwikkeling in bodemdier rijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt, het aantal individuen per monsterpunt en de totale biomassa per monsterpunt. NB: in de totale biomassa zijn twee zeer abundante soorten niet opgenomen omdat van deze soorten geen intacte individuen worden aangetroffen (*M. arenaria* en *E. leei*).



Figuur 37. Het verschil in het aantal soorten per monsterpunt tussen 2015 en 2018, weergegeven als: per monsterpunt het aantal soorten in 2015 afgetrokken van het aantal soorten in 2018. Positieve getallen geven een toename weer die is weergegeven als groene stippen. Negatieve getallen geven een afname weer die is weergegeven als oranje en rode stippen. Gele stippen geven aan dat er geen verandering was. Het gebied gesloten voor mosselzaadvisserij is weergegeven als een blauw vlak, het gebied gesloten voor garnalenvisserij is oranje omkaderd en de onderzoekslocatie is omkaderd met een zwarte stippellijn.

4 Discussie en conclusies

4.1 Conclusies

4.1.1 Het areaal aan mosselbanken

Het areaal aan meerjarige mosselbanken in alle voor mosselzaadvisserij gesloten gebieden is in 2018 afgenomen. Het verschil in ontwikkeling tussen gesloten en open gebieden is veroorzaakt doordat de omvangrijke broedval van 2016 vooral in het open gebied plaatsvond. Het deel van die zaadbanken dat overleefde tot 2018, en in 2018 was uitgegroeid van zaad tot meerjarig, is verantwoordelijk voor de netto toename in het areaal aan meerjarige banken in de open gebieden. Mogelijk zijn in 2016 relatief weinig mosselbanken ontstaan in de gesloten gebieden omdat hier op dat moment al meerjarige mosselbanken aanwezig waren.

4.1.2 De bodemdiergemeenschap

De bodemdiergemeenschap ontwikkelde zich in de gesloten gebieden in 2018 duidelijk anders dan in de voorgaande periode. Dit werd vooral veroorzaakt door plaatselijke broedval van kokkels, Amerikaanse zwaardscheden en strandgapers, en door een afname in de dichtheid van mosselen en daarmee geassocieerde taxa (voornamelijk anemonen). Alleen op de onderzoekslocatie Molenrak Oost verschilde de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap tussen het gesloten en open gebied. Dit verschil is vooral toe te schrijven aan broedval van kokkels in het gesloten gebied in 2017 en 2018, en broedval van Amerikaanse zwaardscheden in het open gebied in 2018. Een hogere dichtheid van kokkelbroed binnen de grenzen van het gesloten gebied is enkel op de onderzoekslocatie Molenrak Oost waargenomen. Er kan vooralsnog niet geconcludeerd worden of dit een natuurlijke oorzaak heeft, of dat dit een effect is van de gebiedssluiting.

4.2 Ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken

Dat tijdens de omvangrijke mosselzaadval van 2016 vooral in de open gebieden nieuwe zaadbanken zijn ontstaan, en relatief weinig in de gesloten gebieden, roept de vraag op of de gebiedssluiting hierin een rol heeft gespeeld. Wat opvalt is dat de zaadval zich overwegend heeft voorgedaan buiten de bestaande (en deels eerder beviste) banken (zie Kaart 3 in de Bijlage). In de gesloten gebieden in het Molenrak, Vlieter, Breezanddijk en Omdraai bevonden zich op dat moment al meerjarige en gemengde banken. In eerdere publicaties is beschreven dat in de meeste jaren een bescheiden zaadval plaatsvindt binnen de bestaande mosselbanken, maar dat tijdens omvangrijke zaadvallen, welke minder frequent voorkomen, nieuwe zaadbanken vooral buiten bestaande banken ontstaan (Bayne, 1964; Smaal *et al.*, 2013; en referenties daarin). Mogelijk verklaart dus de aanwezigheid van meerjarige banken in de gesloten gebieden ten tijde van de omvangrijke zaadval in 2016 waarom de nieuwe zaadbanken dat jaar hoofdzakelijk zijn ontstaan in de open gebieden. De gebiedssluiting lijkt hierin geen rol te spelen.

In de omgeving van de Westkom en het Gat van Stompe ontstonden in de zomer van 2016 wél geheel nieuwe zaadbanken. Deze zijn in de zomer van 2017 voor het eerst bemonsterd in het kader van het MEGMA-onderzoek. Het volgen van de ontwikkeling van deze banken de komende jaren geeft naar verwachting meer inzicht in de ontwikkelkansen voor meerjarige mosselbanken in dit gebied.

4.3 Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap

Alleen voor onderzoekslocatie Molenrak Oost verschilde de ontwikkeling in het gesloten gebied zodanig van de ontwikkeling in het open gebied, dat nader beschouwd moet worden of dit een effect kan zijn

van de gebiedssluiting voor mosselzaadvissers. De taxa die hoofdzakelijk verantwoordelijk waren voor de geobserveerde verschillen tussen gesloten en open waren *C. edule* en *E. leei*. Of de hogere dichtheden aan broed van *C. edule*, en de lagere dichtheden van broed van *E. leei*, in het gesloten gebied toegeschreven kunnen worden aan de gebiedssluiting is op dit moment nog niet duidelijk, zoals zal blijken uit paragraaf 4.3.1, waarin broedval van verschillende taxa in de gesloten en open gebieden nader wordt uitgewerkt, en paragraaf 4.3.2, waarin wordt stilgestaan bij de mogelijke invloed van gebiedssluiting voor mosselzaadvissers. In paragraaf 4.3.2 wordt ook stilgestaan bij de vraag welke rol gedeeltelijke sluiting voor ook garnalenvissers gespeeld kan hebben. Tenslotte wordt in paragraaf 4.3.3 samengevat of gebiedssluiting voor mosselzaadvissers een rol gespeeld kan hebben bij de waargenomen verschillen in ontwikkeling, en welke andere factoren hierin een rol gespeeld kunnen hebben.

4.3.1 Broedval binnen en buiten gesloten gebieden

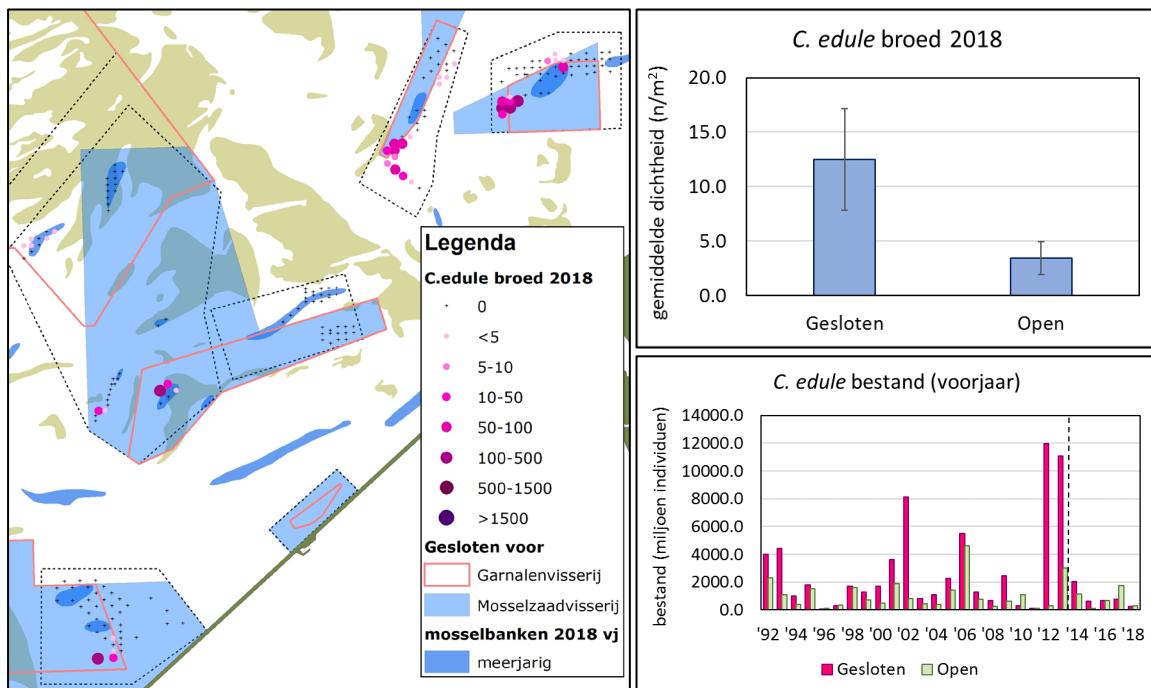
Van bodem beroerende visserij wordt vaak gedacht dat deze de samenstelling van de bodem zodanig kan veranderen dat dit invloed heeft op broedval van bodemdieren. Dit is nooit wetenschappelijk aangetoond, behalve misschien op zeer lokale schaal (Beukema & Dekker, 2018). Voor schelpdieren geldt dat aanwas van de populaties stochastisch verloopt waarbij vaak slechts eens in de zoveel jaar een omvangrijke broedval optreedt (Van der Meer *et al.*, 2018 en referenties daarin). In de jaren daarna wordt de verspreiding van de soort vaak nog steeds bepaald door die ene gebeurtenis. Dus hoewel één broedval gebeurtenis nog niet voldoende is om te kunnen concluderen of eventuele verschillen veroorzaakt zijn door de gebiedssluiting, kan deze gebeurtenis wél heel bepalend zijn voor de interpretatie van de MEGMA-resultaten in de komende jaren. Daarom worden hieronder de ruimtelijke patronen in de broedval van kokkels (*C. edule*), Amerikaanse zwaardscheden (*E. leei*) en strandgapers (*M. arenaria*) in 2018 nader uitgewerkt.

Het gesloten gebied blijkt niet geschikter voor broedval van schelpdieren dan het open gebied, vier jaar na sluiting. Of de geschiktheid van de gesloten gebieden voor broedval van schelpdieren is toegenomen kan niet onderzocht worden omdat er geen bruikbare kennis beschikbaar is over broedval vóór sluiting. Wel is ter referentie gekeken naar de historische ontwikkeling in de totale bestanden van deze soorten, berekend uit de reguliere voorjaarsurvey.



Figuur 38. Broed van *E. leei* in het Gat van Stompe.

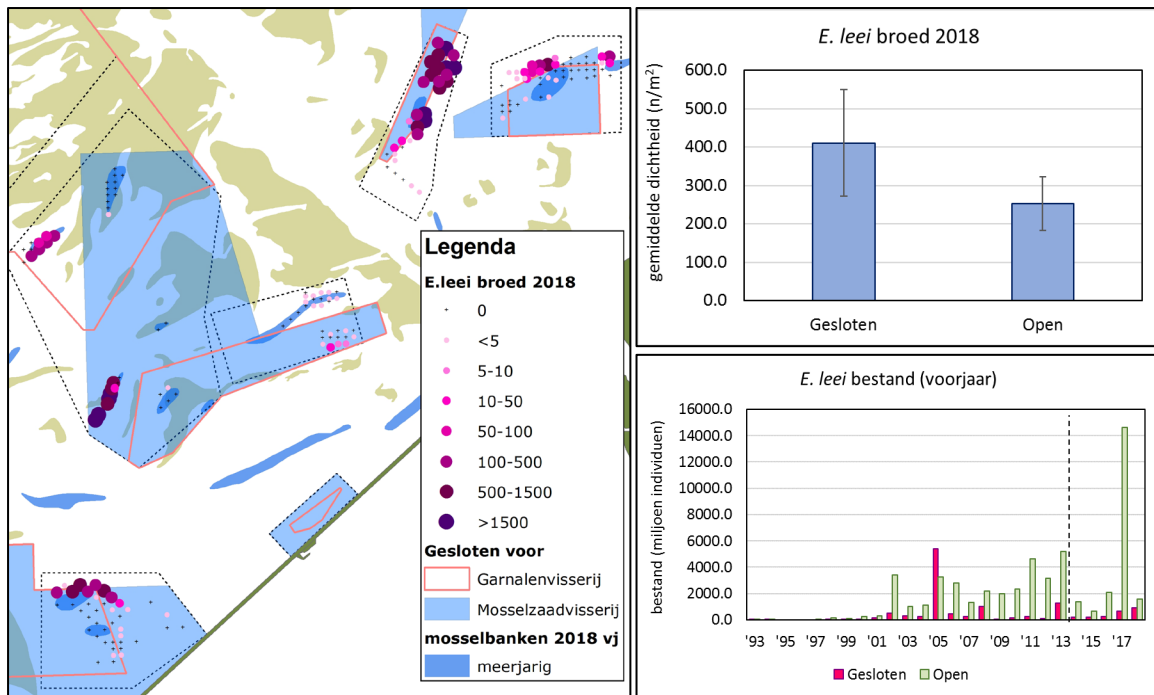
Broed van **C. edule** is in 2018 vooral aangetroffen op de onderzoekslocaties Molenrak Oost en West. Gemiddeld over alle monsterpunten was de dichtheid van broed hoger in het gesloten gebied. Dit kwam vooral door de hoge dichtheden in het gesloten gebied van Molenrak Oost. Het historische verloop van het totale bestand van *C. edule* laat zien dat voorafgaand aan de sluiting in 2014 de grootste pieken, en dus de grootste aanwas, zich voordeden binnen de grenzen van de in 2014 gesloten gebieden. Dit bevestigt dat de gebieden die gesloten zijn voor mosselzaadvisserij relatief geschikt zijn voor broedval van *C. edule*. Dit is volgens verwachting aangezien de keuze voor de gebiedssluiting grotendeels is gebaseerd op de kans op voorkomen van stabiele mosselbanken en overige schelpdiersoorten (Van Stralen, 2014). Daarbij wordt vaker een verhoogde dichtheid en broedval van *C. edule* gevonden in de nabijheid van mosselbanken (Donadi *et al.*, 2013). Dit is te verklaren door de zogenoemde 'uitstralingseffecten' van schelpdierbanken waarbij bepaalde soorten, waaronder de kokkel, zich aggregeren in de relatief rijke organische zone rond de banken (Dittmann 1990; Van der Zee et al 2012).



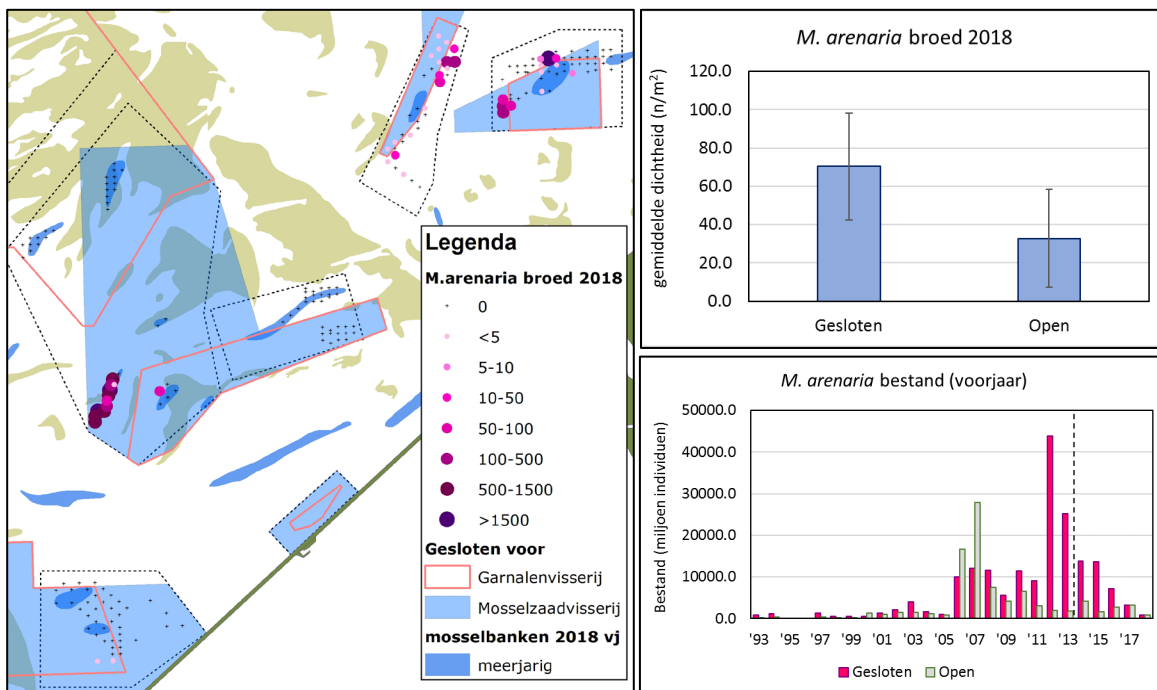
Figuur 39. Voor *C. edule*: Links de verspreiding van broed in 2018. Rechtsboven de gemiddelde dichtheid van het broed (met standaard error) op alle monsterpunten in de gesloten en open gebieden. Rechtsonder de ontwikkeling van het totale bestand (miljoen individuen) aan broed binnen de contouren van de sinds 2014 (stippellijn) gesloten gebieden ("gesloten") en daarbuiten ("open").

Broed van **E. leei** (Figuur 38) is in meerdere onderzoekslocaties aangetroffen, zowel in gesloten als open gebieden. De gemiddelde dichtheid lag weliswaar hoger in het gesloten gebied, maar uit de ruimtelijke verspreiding blijkt geen duidelijke voorkeur voor open of gesloten gebied (Figuur 40). In de reguliere mosselzaadsurvey, welke een groter gebied bestrijkt dan het MEGMA onderzoek, werd steeds een groter bestand in het open gebied aangetroffen (Figuur 40). *E. leei* blijkt, in tegenstelling tot de overige schelpdiersoorten, meer voor te komen in minder beschutte delen van de Waddenzee (Troost *et al.*, 2019).

Broed van **M. arenaria** (Figuur 42) is vooral aangetroffen in het Gat van Stompe en het Molenrak. In het Molenrak in zowel het gesloten als het open gebied. Gemiddeld lag de dichtheid van het broed wat hoger in het gesloten gebied. Deze verspreiding sluit grotendeels aan bij het verspreidingspatroon sinds 2010 en zeker sinds de grote aanwas van 2012, waarbij de grootste dichtheden worden aangetroffen binnen de contouren van de in 2014 gesloten gebieden in het Molenrak en de Vlieter (Troost *et al.*, 2019). De gesloten gebieden zijn, zoals ook in de vorige rapportage geconstateerd (Troost *et al.*, 2018) relatief geschikt voor het voorkomen van *M. arenaria*.



Figuur 40. Voor *E. Leei*: Links de verspreiding van broed in 2018. Rechtsboven de gemiddelde dichtheid van het broed (met standaard error) op alle monsterpunten in de gesloten en open gebieden. Rechtsonder de ontwikkeling van het totale bestand (miljoen individuen) aan broed binnen de contouren van de sinds 2014 gesloten gebieden ("gesloten") en daarbuiten ("open").



Figuur 41. Voor *M. arenaria*: Links de verspreiding van broed in 2018. Rechtsboven de gemiddelde dichtheid van het broed (met standaard error) op alle monsterpunten in de gesloten en open gebieden. Rechtsonder de ontwikkeling van het totale bestand (miljoen individuen) aan broed binnen de contouren van de sinds 2014 gesloten gebieden ("gesloten") en daarbuiten ("open").



Figuur 42. Broed van *M. arenaria* en *E. leei* in het Molenrak.

4.3.2 Invloed van gebiedssluiting

Het MEGMA-onderzoek is primair gericht op het volgen van de ontwikkeling van bodemdieren in de voor visserij gesloten gebieden. Uit een vergelijking met de ontwikkeling in de voor visserij open gebieden wordt ten eerste opgemaakt of de ontwikkeling anders is en ten tweede wordt berekend hoe waarschijnlijk het is dat dit een effect is van de gebiedssluiting. De opzet van MEGMA is nadrukkelijk niet geschikt voor het *aantonen* van *significante* effecten van de gebiedssluiting. Waarom dat zo is, wordt hier uitgelegd. De Waddenzee is een zeer dynamisch ecosysteem dat onder invloed staat van soms extreme milieumomstandigheden die plaatselijk grote invloed kunnen hebben op de bodemdiergemeenschap (Wang *et al.*, 2012; Donker 2015). De bodemdieren in de Waddenzee zijn zeer heterogeen verdeeld, als gevolg van grote plaatselijke verschillen in omgevingsvariabelen (Compton *et al.*, 2013). Daarom kunnen eventuele veranderingen als gevolg van de gebiedssluiting alleen aangetoond worden door een vergelijking te maken tussen het gesloten en open gebied, waarbij de onderzochte gebieden zo gelijk mogelijk zijn qua omgevingsvariabelen. In het meest ideale geval is alleen het al dan niet op mosselzaad mogen vissen verschillend tussen het gesloten en open gebied. In het PRODUS-onderzoek is deze opzet gebruikt door in tientallen nieuw ontstane mosselzaadbanken onderzoeksvakken van ieder 8 hectare te plaatsen, waarbinnen de helft gesloten werd voor mosselzaadvissers en de andere helft openbleef voor mosselzaadvissers (Smaal *et al.*, 2013). Een groot verschil tussen het PRODUS-onderzoek en het MEGMA-onderzoek is dat in het PRODUS-onderzoek vakken zijn gesloten in het kader van onderzoek en een paarsgewijze vergelijking mogelijk is, terwijl het MEGMA-onderzoek plaats moet vinden in gebieden die niet ten behoeve van het onderzoek zijn gesloten maar op basis van andere criteria. Zo is bij het bepalen van de grenzen van de gesloten gebieden gekeken naar de kans op het ontwikkelen van natuurlijke mosselbanken en andere natuurwaarden, waardoor de bodemdiergemeenschap in het gesloten gebied al bij aanvang van het onderzoek relatief rijk was. Deze relatieve rijkdom is een gevolg van abiotische en biotische omstandigheden zoals beschutting (hydrodynamiek), bodemgesteldheid en –samenstelling, en saliniteit en de daarmee samenhangende predatiedruk door zeesterren (zie Smaal *et al.*, 2013; Dekker & Drent, 2013), welke dus óók al bij aanvang van het onderzoek verschillend waren. Al deze factoren zorgen voor een grote variatie binnen een onderzoekslocatie waardoor eventuele verschillen tussen het gesloten en open gebied moeilijker aan te tonen zijn.

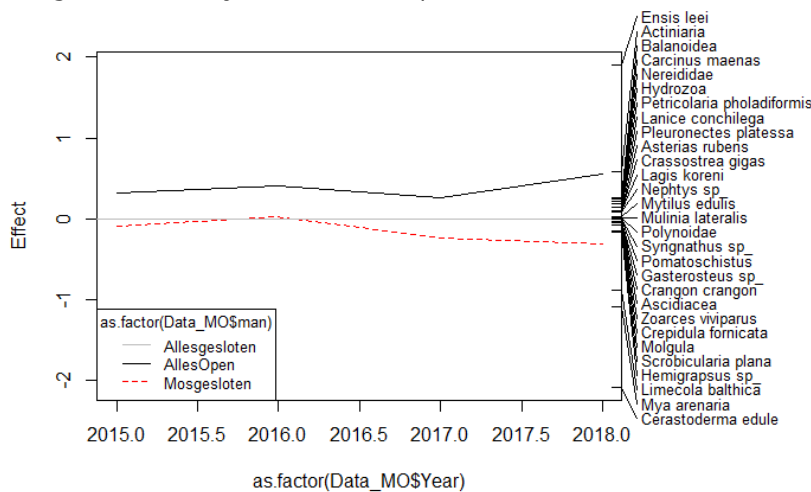
4.3.2.1 Sluiting voor mosselzaadvissers

Binnen het huidige onderzoek is het belangrijk te realiseren dat gebieden die open gesteld zijn voor visserij niet per definitie bevestigd worden. Visserij op mosselzaad vindt namelijk niet ieder jaar plaats en als deze wel plaatsvindt is dat vrijwel uitsluitend binnen de contouren van mosselbanken die voorafgaand aan de mosselvisserij vastgesteld worden. Schelpdieren die zich met name buiten de

mosselbanken vestigen zullen daarom minder snel verstoord worden door de mosselzaadvisserij. Ook worden tijdens de visserij meestal niet alle banken in het open gebied bevestigd. Uit een overzicht van de visserijactiviteit in de periode 2014 – 2018 op basis van black box gegevens (Tabel 3) blijkt dat sinds de gebiedssluiting in 2014 niet is gevestigd in de open gebieden van onderzoekslocaties Molenrak West en Vlieter, en dat nauwelijks is gevestigd in het open gebied van onderzoekslocatie Omdraai. Verschillen in de ontwikkeling van mosselen en andere bodemdieren tussen de gesloten en open gebieden op deze onderzoekslocaties kunnen dus per definitie niet aan de gebiedssluiting toegeschreven worden. Zowel in het gesloten als in het open gebied is immers niet gevestigd.

4.3.2.2 Sluiting voor garnalenvisserij

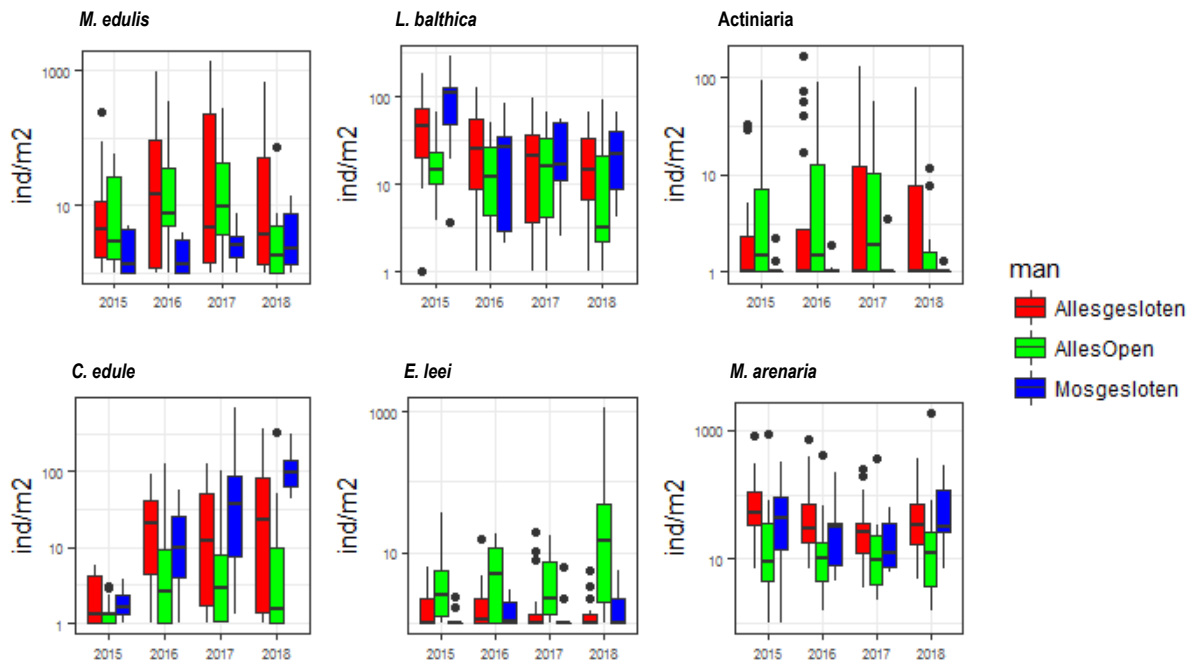
Per onderzoekslocatie is vaak een deel of het geheel van het voor mosselzaadvisserij gesloten gebied ook gesloten voor garnalenvisserij. Daardoor kunnen de volgende complicaties ontstaan: 1) als een deel van het gesloten gebied ook is gesloten voor garnalenvisserij dan kan binnen het gesloten gebied een nog grotere variatie ontstaan tussen de monsterpunten waardoor verschillen tussen gesloten en open moeilijker aan te tonen worden, 2) als het gesloten gebied geheel ook is gesloten voor garnalenvisserij dan is het onduidelijk of een eventueel verschil in ontwikkeling tussen gesloten en open gebied is veroorzaakt door de gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij of voor garnalenvisserij. Binnen de vier geanalyseerde onderzoekslocaties zijn de gesloten gebieden van Molenrak West en Omdraai geheel gesloten voor ook de garnalenvisserij. Omdat hier geen verschil in ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap werd gevonden tussen het gesloten en open gebied, is niet nader beschouwd aan welke van beide gebiedssluitingen eventuele verschillen toe te schrijven zijn. De gesloten gebieden van Vlieter en Molenrak Oost zijn deels gesloten voor de garnalenvisserij. Onderzoekslocatie Vlieter is niet geschikt voor een vergelijking tussen het gesloten en open gebied (vanwege de zeer ongelijke verdeling van het aantal monsterpunten) en daarom is niet nader uitgewerkt welke rol de gedeeltelijke gebiedssluiting voor garnalenvisserij daar mogelijk in heeft gespeeld. Omdat op locatie Molenrak Oost een verschil in ontwikkeling werd gevonden tussen gesloten en open voor mosselzaadvisserij, wordt hieronder verder uitgewerkt of de gedeeltelijke sluiting voor ook garnalenvisserij van invloed is op de conclusies.



Figuur 43. PRC plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen drie behandelingen (Allesgesloten = gesloten voor mosselzaadvisserij en garnalenvisserij, AllesOpen = open voor mosselzaadvisserij en garnalenvisserij, Mosgesloten = gesloten voor alleen mosselzaadvisserij) waarbij het voor beide visserijen gesloten gebied (Allesgesloten) op 0 is gesteld.

In Molenrak Oost liggen de MEGMA monsterpunten in het gesloten gebied verspreid over zowel het deel dat alleen gesloten is voor mosselzaadvisserij als het deel dat ook is gesloten voor garnalenvisserij. Uit Figuur 43 is af te leiden dat het verschil in ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap het grootst is tussen het gebied gesloten voor alleen mosselzaadvisserij en het open gebied. Tussen het gebied gesloten voor mosselzaadvisserij en het gebied gesloten voor beide visserijen is minder verschil te zien. Op basis daarvan lijkt de mate van variatie geïntroduceerd door de gebiedssluiting voor garnalenvisserij gering. Figuur 44 laat echter zien dat voor afzonderlijke soorten wel degelijk grote verschillen in dichtheid aanwezig zijn tussen beide typen gebiedssluitingen. Zo zijn in het open gebied en het gebied gesloten voor zowel mosselzaad- als garnalenvisserij hogere dichtheden aan mosselen aangetroffen dan in het gebied dat gesloten is voor alleen de

mosselzaadvisserij (Figuur 44). Het is dus belangrijk om in de analyse en interpretatie rekening te houden met het al dan niet gesloten zijn voor garnalenvisserij, maar op dit moment maakt dit geen verschil voor de algemene conclusies.



Figuur 44. De ontwikkeling in dichtheden van zes verschillende taxa in Molenrak Oost weergegeven als boxplots met onderscheid naar drie typen van gebiedssluiting: Rood = "Allesgesloten" = gesloten voor beide visserijen, Groen = "AllesOpen" = open voor beide visserijen, Blauw = "Mosgesloten" = gesloten voor alleen mosselzaadvisserij.

4.3.3 Mogelijke oorzaken voor waargenomen verschillen in ontwikkeling

Bovenstaande overwegende is onduidelijk of de broedval van kokkels (*C. edule*) in het gesloten gebied in onderzoekslocatie Molenrak Oost, maar niet in het open gebied, een gevolg is van de gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij. Omdat dit verschil alleen op locatie Molenrak Oost is waargenomen, en het slechts twee afzonderlijke broedvallen (2017 en 2018) betreft welke plaatsvonden over een zeer beperkt areaal en binnen een gebied dat ook in het verleden kansrijk was voor het aantreffen van kokkels, lijkt een effect van de gebiedssluiting op dit moment nog niet voor de hand liggend, zowel voor wat betreft mosselzaadvisserij als garnalenvisserij.

Voor onderzoekslocatie Omdraai is het de vraag of de minder sterke afname in dichtheden van *M. edulis* en *C. gigas* en geassocieerde fauna in het gesloten gebied een gevolg is van de gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij en/of garnalenvisserij. De afname in dichtheden van *M. edulis* en *C. gigas* was groter in het open gebied, waar bij aanvang van het onderzoek in 2015 hogere dichtheden werden aangetroffen. In het voorjaar van 2018 heeft mosselzaadvisserij plaatsgevonden in de Omdraai, het bevestigde oppervlak was echter kleiner dan 6,5 hectare en overlapte met 3 (van de 18) MEGMA monsterpunten. De afname in dichtheden heeft zich echter over het oppervlak van de hele bank voorgedaan, en kan daarom hoogstens voor een klein gedeelte aan visserij toegeschreven worden. Daarnaast vindt op deze bank al sinds 2015 een afname van de Japanse oester (*C. gigas*) plaats, wat aangeeft dat natuurlijke oorzaken ook een belangrijke rol lijken te spelen in de afnemende dichtheden van de bank. Omdat het gesloten gebied óók is gesloten voor garnalenvisserij zou het waargenomen verschil een gevolg kunnen zijn van de gebiedssluiting voor garnalenvisserij. Dit lijkt echter onwaarschijnlijk omdat garnalenvissers doorgaans oudere mossel- en zeker oesterbanken mijden in verband met ongewenste bijvangst en mogelijke schade aan de netten. Bovendien is een verandering in de tijdsspanne van één jaar onvoldoende om te concluderen dat de uitsluiting van visserij een rol heeft gespeeld. Waarschijnlijker is het dat de banken in de Omdraai, zowel die in het gesloten als het open gebied, langzaam uitdunnen door veroudering en het uitblijven van aanwas en daarmee verjonging.

4.4 Verwachtingen en aanbevelingen

Of de bodemdiergemeenschap zich anders zal ontwikkelen in het voor mosselzaadvisserij gesloten gebied hangt af van de vraag of een effect wordt verwacht van mosselzaadvisserij. Het effect van mosselzaadvisserij op de ontwikkeling van mosselbanken en geassocieerde soorten is onderzocht binnen het PRODUS-onderzoek (Smaal *et al.*, 2013). Significante effecten van de mosselzaadvisserij werden aangetoond tot 2 jaar na de eerste visserij op zaadbanken in de stabielere gebieden. Na verloop van tijd doofde het verschil tussen beviste en onbeviste banken uit omdat ook in de onbeviste banken de dichtheid en biomassa van mosselen afnam als gevolg van natuurlijke factoren. De levensduur van een mosselbank in het sublitoraal leek niet verschillend te zijn voor beviste en onbeviste banken. Het PRODUS-onderzoek duurde zes jaar, dus hoe mosselbanken zich ontwikkelen in een gebied dat gedurende een langere periode wordt gevrijwaard van mosselvisserij is nog niet onderzocht. Onbekend is hoe oud een mosselbank in het sublitoraal kan worden onder de meest gunstige omstandigheden, dus in een relatief beschut gebied met voldoende voedsel en weinig predatoren, en zonder mossel- en garnalenvisserij. Het MEGMA-onderzoek biedt hier de mogelijkheid voor, mits dit onderzoek gedurende een langere periode blijft lopen. Hoewel MEGMA al loopt sinds 2015, ontstonden pas na de bemonstering van 2016 nieuwe zaadbanken, maar voornamelijk in het open gebied. Dit laat zien dat de natuur niet te sturen is. Willen we weten hoe oud ongestoorde mosselbanken in het sublitoraal kunnen worden, dan is het noodzakelijk de natuur zijn gang te laten gaan en dit goed te blijven monitoren. Deze boodschap is ook gegeven door Van der Meer *et al.* (2018) die aantoonde dat het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen zich van nature heeft hersteld na bijna volledige afwezigheid in 1990, en na sluiting van dit gebied voor reguliere mosselzaadvisserij in 1995 (LNV, 1993, 2004). Van der Meer *et al.* (2018) leggen aan de hand van andere studies uit dat natuurlijk herstel van schelpdieren lang kan duren omdat omvangrijke broedvallen slechts incidenteel plaatsvinden. Dit is bevestigd door Glorius *et al.* (2018) die in Referentiegebied Rottum, in 2005 gesloten voor garnalenvisserij, pas elf jaar na sluiting subtiele veranderingen in bodemfauna zagen ontstaan in het gesloten gebied. Ook in die studie speelt echter de complicatie dat het gesloten gebied en het open referentiegebied verschillen qua omgevingsvariabelen, waardoor nog niet geheel zeker is of geobserveerde veranderingen zijn ontstaan door de gebiedssluiting of door verschillen in abiotiek die onafhankelijk zijn van de gebiedssluiting.

Tot nu toe gaven de onderzoeksresultaten nog geen aanleiding om verder onderzoek te doen naar oorzaken van waargenomen veranderingen. Mochten gevonden correlaties in de toekomst daar wel aanleiding toe geven, dan wordt aanbevolen om te onderzoeken of causale verbanden achterhaald kunnen worden. De manier waarop de gesloten gebieden tot stand zijn gekomen geeft daar direct aanleiding toe, omdat deze overwegend zijn gekozen in gebieden waar de kans op overleving van meerjarige banken groot blijkt te zijn en waar zich relatief rijke bodemdiergemeenschappen bevinden. Bij het achterhalen van causale verbanden is de historische dataset vanaf 1992 (Troost *et al.*, 2019) van groot belang omdat dit de enige langjarige dataset is die inzicht kan geven in de historische verspreiding van bodemdieren in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee.

5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Literatuur

- Bayne, B.L. (1964) Primary and Secondary Settlement in *Mytilus edulis* L. (Mollusca). *Journal of Animal Ecology*, 33(3): 513-523.
- Beukema, J. & R. Dekker (2018) Effects of cockle abundance and cockle fishery on bivalve recruitment. *Journal of Sea Research* 140: 81-86.
- Borcard, D., F. Gillet & P. Legendre (2011) *Numerical Ecology* with R. Springer, New York.
- Buhs, F. & K. Reise (1997) Epibenthic fauna dredged from tidal channels in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein: spatial patterns and a long-term decline. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 51: 343-359.
- Buschbaum, C. and B. Saier (2003). Biodiversität und nachhaltige Nutzung: Ballungszentrum Muschelbank. *Biologie in Unserer Zeit* 33(2): 100-106.
- Buschbaum, C., S. Dittmann, Hong, J.-S., Hwang, I.-S., Strasser, M., Thiel, M., Valdivia, N., Yoon, S.-P. & Reise, K. (2009). Mytilid mussels: global habitat engineers in coastal sediments. *Helgoland Marine Research* 63: 47-58.
- Commito, J. A., S. Como, B. M. Grupe & W. E. Dowa (2008). Species diversity in the soft-bottom intertidal zone: Biogenic structure, sediment, and macrofauna across mussel bed spatial scales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366:70-81.
- Craeymeersch, J. A., M. A. Faasse, H. Gheerardyn, K. Troost, R. Nijland, A. Engelberts, K. J. Perdon, D. van den Ende & J. van Zwol (2019) First records of the dwarf surf clam *Mulinia lateralis* (Say, 1822) in Europe. *Marine Biodiversity Records* 12:5. <https://doi.org/10.1186/s41200-019-0164-7>
- Craeymeersch, J. & H.M. Jansen (2019) Bivalve assemblages as hotspots for biodiversity. In: Smaal A, Ferreira J, Grant J, Petersen J, Strand Ø (eds) *Good and Services of Marine Bivalves*. Springer, pp 275-294
- Dekker, R. & J. Drent (2013) The macrozoobenthos in the subtidal of the western Dutch Wadden Sea in 2008 and a comparison with 1981-1982. NIOZ-report 2013-5. 98 pp.
- Den Besten, P.J. & P.J. van den Brink (2005) Bioassay responses and effects on benthos after pilot remediations in the delta of the rivers Rhine and Meuse. *Environ Pollut* 136: 197-208 doi DOI 10.1016/j.envpol.2005.01.016
- Dittmann S (1990) Mussel beds—amensalism or amelioration for intertidal fauna? *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 44:335–352.
- Donadi, S., T. van der Heide, E.M. van der Zee, J.S. Eklöf, J. van de Koppel, E.J. Weerman, T. Piersma, H. Olf & B.K. Eriksson (2013) Cross-habitat interactions among bivalve species control community structure on intertidal flats. *Ecology* 94(2): 489-498.
- Donker, J. (2015) Hydrodynamic processes and the stability of intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *Utrecht Studies in Earth Sciences* 83. Proefschrift Universiteit Utrecht. ISSN 2211-4335.
- Glorius, S.T., I.Y.M. Tulp, A. Meijboom, L.J. Bolle & C. Chen (2018) Developments in benthos and fish in gullies located in an area closed for human use in the Wadden Sea; 2002–2016. Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment, WUR. WOt-technical report 129 / Wageningen Marine Research report C092/18.
- Jongman, R.H.G., C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren (1987) *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen.
- LNV (1994) *Vissen naar evenwicht. Structuurnota zee- en kustvisserij*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- LNV (2004) *Ruimte voor een zilte oogst. Naar een omslag in de Nederlandse schelpdiercultuur. Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005-2020*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Norling, P. & Kautsky, N. (2008) Patches of the mussel *Mytilus* sp are islands of high biodiversity in subtidal sediment habitats in the Baltic Sea. *Aquat Biol* 4, 75-87.
- Oksanen, J., F. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. Minchin, R. O'Hara, G. Simpson, P. Solymos, M. Stevens & H. Wagner (2016) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

-
- R Development Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing, R version 3.3.1 (2016-06-21) . R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>
- Smaal, AC, JAM Craeymeersch, J Drent, JM Jansen, S Glorius & MR van Stralen (2013) Effecten van mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee: samenvattend eindrapport. IMARES onderdeel van Wageningen UR, rapport C006/13 PR1.
- Troost, K., D. van den Ende, M. van Asch & M.R. van Stralen (2019) Ontwikkeling en verspreiding van schelpdieren en andere bodemdieren in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in de periode 1992-2017. In voorbereiding als Wageningen Marine Research rapport.
- Troost et al MEGMA 2018
- Van den Brink, P.J. & C.J.F. ter Braak (1998) Multivariate analysis of stress in experimental ecosystems by Principal Response Curves and similarity analysis. *Aquatic Ecology* 32: 163-178
- Van den Brink, P.J. & C.J.F. ter Braak (1999) Principal response curves: analysis of time-dependent multivariate responses of biological community to stress. *Environ Toxicol Chem* 18: 138-148
- Van der Meer, J., N. Dankers, B.J. Ens, M.R. van Stralen, K. Troost & A.M. Waser (2018) The Birth, Growth and Death of Intertidal Soft-Sediment Bivalve Beds: No Need for Large-Scale Restoration Programs in the Dutch Wadden Sea. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0320-7>
- Van der Zee, E.M., T. van der Heide, S. Donadi, J. S. Eklöf, B.K. Eriksson, H. Olf, H.W. van der Veer, & T. Piersma (2012) Spatially extended habitat modification by intertidal reef-building bivalves alters consumer-resource interactions. *Ecosystems* 15:664-673.
- Van Stralen, M. (2014) Gebiedsmaatregelen Mosselconvenant en VISWAD 2013. Bureau MarinX, Scharendijke, rapport 2014.141.
- Van Stralen, M., D. van den Ende & K. Troost (2015) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2015. Bureau MarinX, Scharendijke, rapport 2017.151.
- Van Stralen, M., D. van den Ende & K. Troost (2016a) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2016. Bureau MarinX, Scharendijke, rapport 2017.156.
- Van Stralen, M., K. Troost & D. van den Ende (2016b) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het najaar van 2016. Bureau MarinX, Scharendijke, rapport 2016.166.2.
- Van Stralen, M., D. van den Ende & K. Troost (2017) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2017. Bureau MarinX, Scharendijke, rapport 2017.175.
- Van Stralen, M., D. van den Ende & K. Troost (2018) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2018. Bureau MarinX, Scharendijke, rapport 2018.180.
- Verdonschot, P., A. Besse-Lototskaya & M. van den Hoorn (2010) Het effect van piekafvoeren op de levensgemeenschap in beekbovenlopen. I. Resultaten van twee veldexperimenten in een natuurlijke beek. *Alterra-rapport* 2001. 68 pp.
- Wang, Z.B., P. Hoekstra, H. Burchard, H. Ridderinkhof, H.E. de Swart & M.J.F. Stive (2012) Morphodynamics of the Wadden Sea and its barrier island system. *Ocean & Coastal Management* 68: 39-57.

Verantwoording

Rapport C027/19

Projectnummer: 4318100230

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Dr. Jeroen Wijsman
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 27 maart 2019

Akkoord: Drs. J. Asjes
Manager integratie

Handtekening:



Datum: 27 maart 2019

Bijlage 1 Mosselbanken 2015-2018

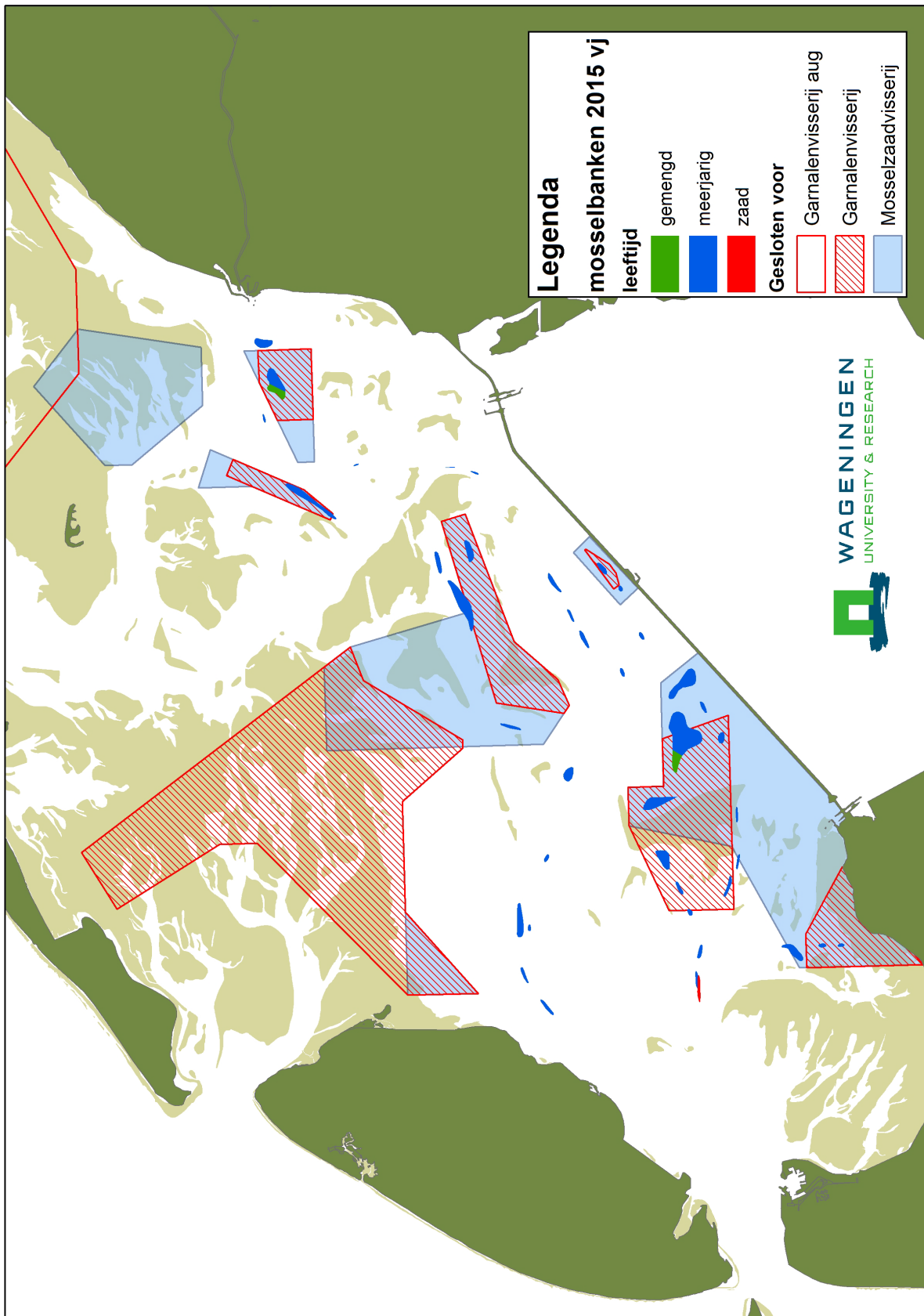
Kaart 1: Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het **voorjaar van 2015**.

Kaart 2: Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het **voorjaar van 2016**.

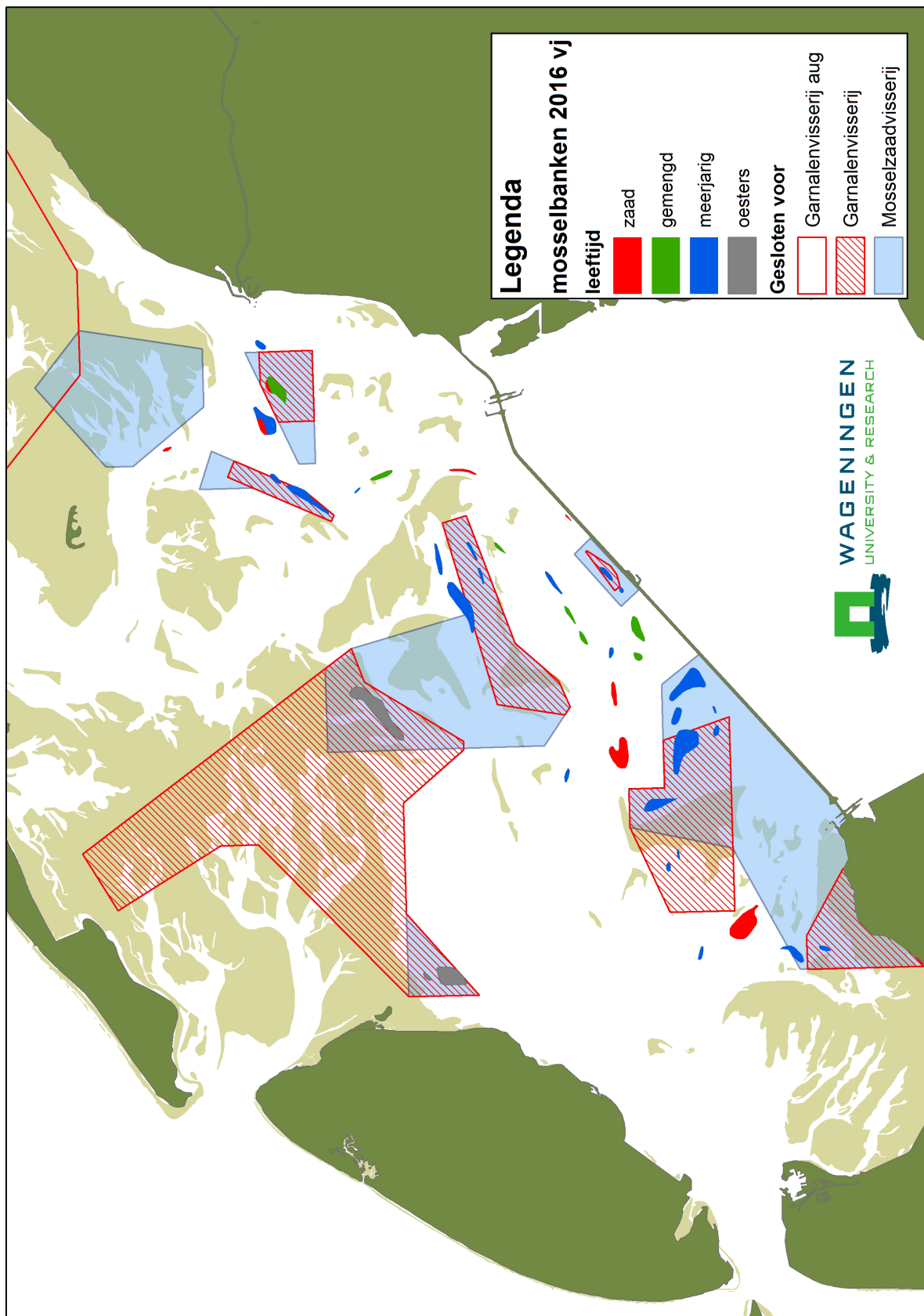
Kaart 3: Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het **najaar van 2016**.

Kaart 4: Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het **voorjaar van 2017**.

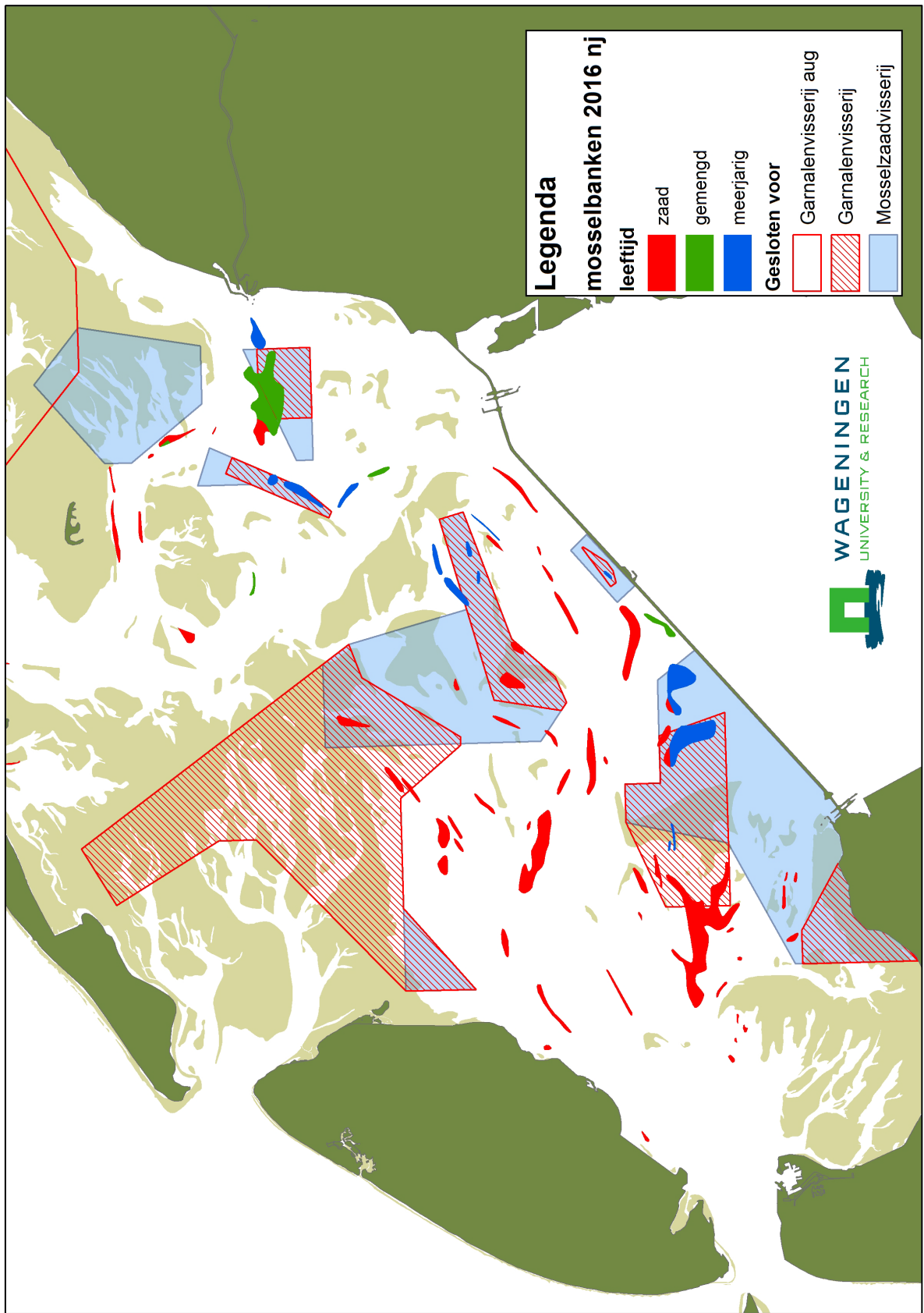
Kaart 5: Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het **voorjaar van 2018**.



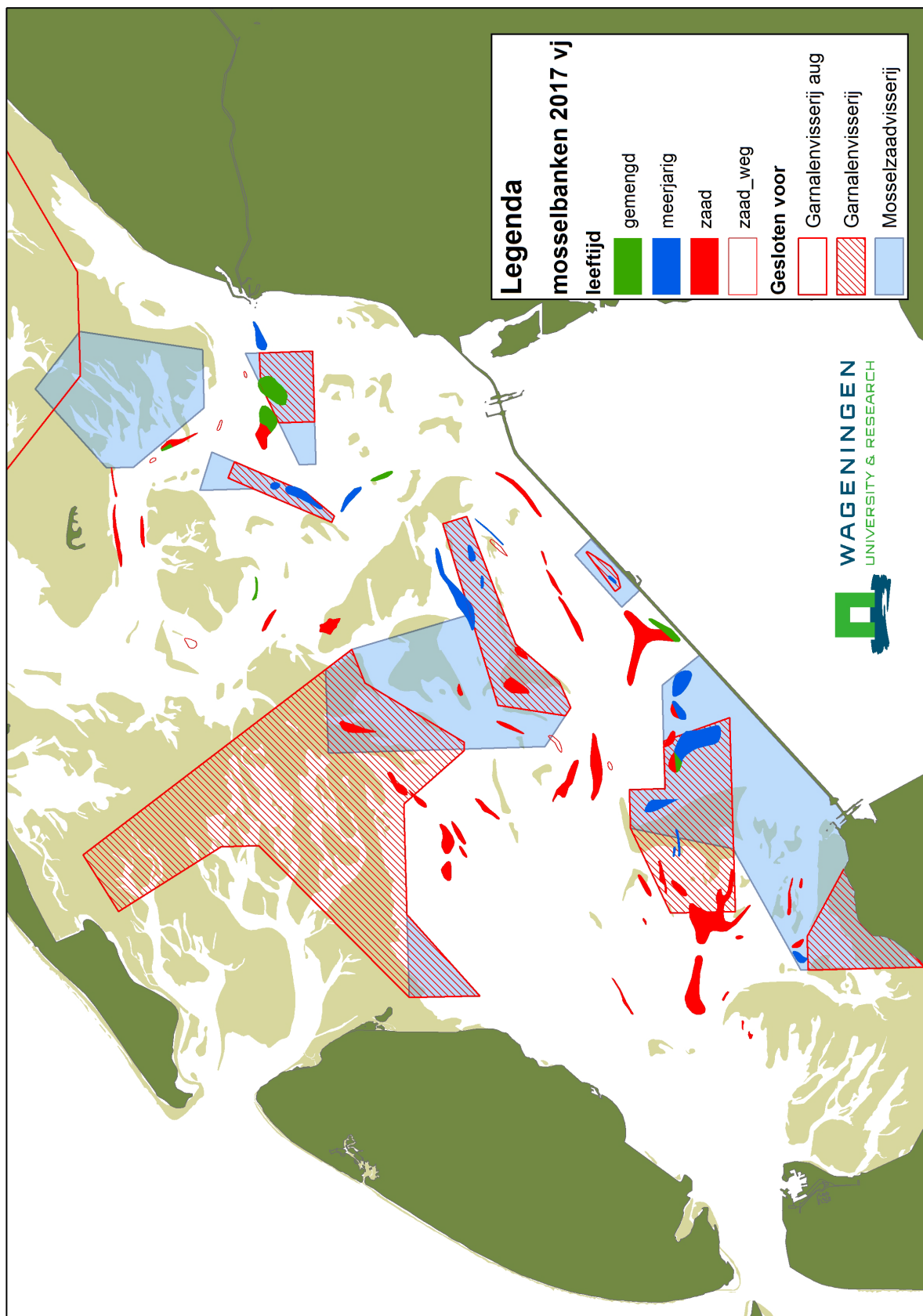
Kaart 1. Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2015 (Van Stralen et al., 2015).



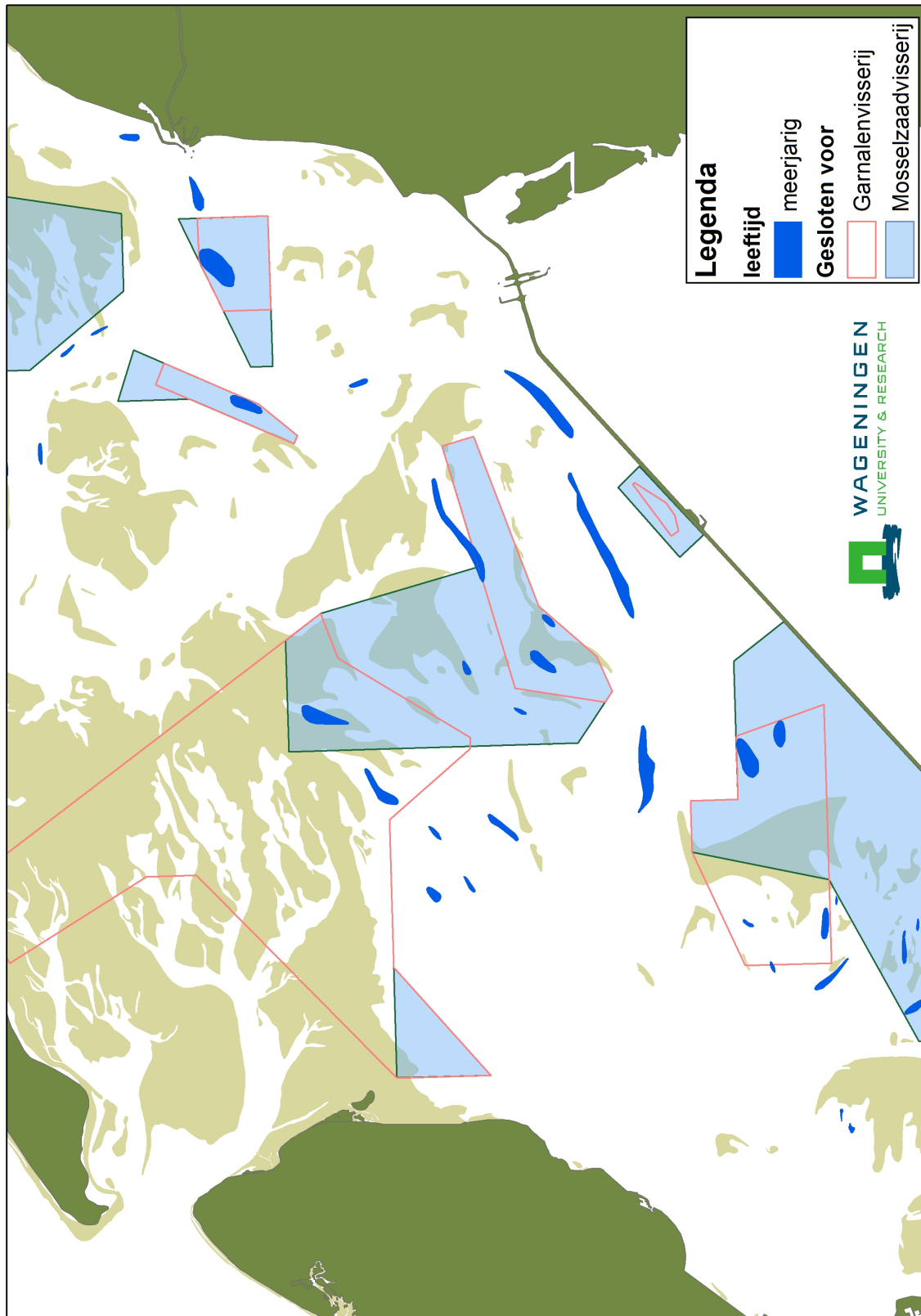
Kaart 2. Verspreiding van mosselbanken (en oesterbanken) in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2016 (Van Stralen et al., 2016a).



Kaart 3. Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het najaar van 2016 (Van Stralen et al., 2016b).



Kaart 4. Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2017 (Van Stralen et al., 2017).



Kaart 5. Verspreiding van mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2018 (Van Stralen et al., 2018).

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'
