



Ontwikkeling van bodemdieren in de voor mosselzaad – en garnalenvisserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee

Evaluatie na zeven jaar monitoring (2015-2021)

Auteur(s): Johan Craeymeersch, Karin Troost, Douwe van den Ende, Yoeri van Es, Margriet van Wageningen University & Asch, Jack Perdon, Sander Glorius en Marnix van Stralen (Bureau MarinX) Research rapport C046/22

Ontwikkeling van bodemdieren in de voor mosselzaad- en garnalenvisserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee

Evaluatie na zeven jaar monitoring (2015-2021)

Auteur(s): Johan Craeymeersch, Karin Troost, Douwe van den Ende, Yoeri van Es, Margriet van Asch, Jack Perdon, Sander Glorius 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, oktober 2022

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C046/22

Keywords: Waddenzee, gesloten gebieden, bodemdieren, monitoring.

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

BO-43-021.02-012

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/576017>
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
gevolgschade, 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	10
1.3.1 Onderzoeksvraag	10
1.3.2 Globale aanpak en beperkingen	10
1.3.3 Aansluiting bij bestaande monitoring en eerder onderzoek	12
2 Methoden	13
2.1 Reguliere mosselzaadinventarisatie	13
2.2 MEGMA-bemonstering	13
2.2.1 Onderzoeksgebieden	13
2.2.2 Monsternamen	16
2.2.3 Verwerking van de monsters	16
2.3 Visserij-activiteiten	17
2.4 Analyses	17
2.4.1 Ontwikkeling van mosselbanken	17
2.4.2 Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschappen	17
3 Resultaten	21
3.1 Aangetroffen taxa en dichtheden	21
3.2 Ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken	21
3.3 Bodemdiergemeenschappen in de onderzoeksgebieden	23
3.4 Ontwikkeling van de bodemfauna in de voor mosselzaadvisserij gesloten gebieden	24
3.4.1 Ontwikkeling in de gesloten gebieden	24
3.4.2 Vergelijking gebieden open en gesloten voor mosselzaadvisserij	33
3.5 Ontwikkeling van de bodemfauna in de voor garnalenvisserij gesloten gebieden	41
3.5.1 Ontwikkeling in de gesloten gebieden	41
3.5.2 Vergelijking gebieden open en gesloten voor garnalenvisserij	48
3.6 Visserij-activiteiten	54
3.6.1 Visserij op mosselzaad	54
3.6.2 Garnalenvisserij	54
4 Discussie en conclusies	55
4.1 Bodemdiergemeenschappen in voor mosselzaadvisserij open en gesloten gebieden	55
4.1.1 Aanpassingen in monitoringsopzet	55
4.1.2 Ontwikkelingen in het gesloten gebied	56
4.1.3 Vergelijking tussen het gesloten en open gebied	56
4.2 Bodemdiergemeenschappen in voor garnalenvisserij open en gesloten gebieden	57
4.2.1 Aanpassingen in monitoringsopzet	57
4.2.2 Ontwikkelingen in het gesloten gebied	57
4.2.3 Vergelijking tussen het gesloten en open gebied	57
4.3 Conclusies	58
5 Kwaliteitsborging	59
Literatuur	60

Verantwoording		63
Bijlage 1	Aangetroffen taxa	64
Bijlage 2	Gemiddelde dichtheid per jaar	66
Bijlage 3	Ontwikkeling van de bodemgemeenschappen in voor mosselzaadvisserij open en gesloten gebieden. Ligging van de mosselbanken en monsterpunten per onderzoeksgebied en per jaar.	68
Bijlage 4	Ontwikkeling van de bodemgemeenschappen in voor garnalenvisserij open en gesloten gebieden. Ligging van de monsterpunten per onderzoeksgebied en per jaar.	73

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. Deze gebieden zijn gesloten vanuit de wens om bodemberoerende visserij in de Waddenzee te beperken en om natuurontwikkeling te bevorderen, in het bijzonder de ongestoorde 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 nodig 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 documenteren en daarmee te kunnen beoordelen of de gebiedssluiting leidt tot veranderingen in het bodemleven en, zo ja, tot welke. Om in te kunnen schatten of veranderingen ook daadwerkelijk samenhangen met de gebiedssluiting, en niet veroorzaakt worden door andere factoren, wordt ook gemonitord in de gebieden waar visserij wel is toegestaan (de open gebieden). Het gaat daarbij om zowel mosselbanken als om andere soorten bodemdieren. Bij een verschil in ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap tussen de gesloten en open gebieden is vervolgens nagegaan in hoeverre dit een gevolg kan zijn van de gebiedssluiting. De analyses uitgevoerd in dit rapport zijn gebaseerd op de verzamelde gegevens in de periode 2015-2021 en richten zich zowel op de gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij als de gebiedssluiting voor garnalenvisserij.

Gebiedskeuze en monsterpunten

De ontwikkeling van bodemdieren is onderzocht in vijf onderzoeksgebieden (Eierlandsegat, Molenrak, Vlieter, Westkom-Omdraai, Breezanddijk) (zie figuur 1). Een deel van het onderzoeksgebied Eierlandsegat is gesloten voor garnalenvisserij. Delen van de andere vier onderzoeksgebieden zijn deels gesloten voor mosselzaadvisserij, en deels voor garnalenvisserij. Enkele gesloten gebieden zijn zowel voor mosselzaad- als voor garnalenvisserij gesloten.

De onderzoeksgebieden zijn geselecteerd op basis van twee criteria: 1) het voorkomen van een relatief rijk bodemleven of een hoge potentie hiervoor zoals die blijkt uit 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. De posities van de monsterlocaties zijn bepaald volgens een vast raster. De onderlinge afstand tussen monsterpunten bedroeg 360 m. In kleinere gebieden is dit raster verfijnd tot afstanden van 230 m om tot voldoende monsters per gebied te komen. Per jaar zijn 198 – 243 locaties bemonsterd.

Methodiek en aansluiting op reguliere monitoring

Sinds 1992 wordt jaarlijks in opdracht van de Producentenorganisatie van de Nederlandse Mosselcultuur een mosselzaadinventarisatie 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, 7 cm diep in de bodem en zeven over 5 mm). In MEGMA worden alle aangetroffen taxa (=soorten en soortgroepen) geregistreerd, waaronder bijv. anemonen, zakpijpen, wormen, garnalen, vissen en hydroïdpoliepen die niet geregistreerd worden in de reguliere monitoring.

Vergelijking met de open gebieden

Indien er in de gesloten gebieden een andere ontwikkeling te zien is dan in de open gebieden kan dat een aanwijzing zijn voor een visserijeffect. Dat veronderstelt dat andere al dan niet natuurlijke factoren die de ontwikkeling van het bodemleven beïnvloeden in de open en gesloten min of meer hetzelfde zijn. De hydrodynamische omstandigheden in de Waddenzee zijn variabel en kunnen op korte afstand van sterk elkaar sterk verschillen, wat daarmee ook geldt voor het ontstaan en de overleving van mosselbanken en andere soorten. Effectonderzoek in dit soort situaties wordt doorgaans uitgevoerd volgens een BACI-aanpak., waarbij random gekozen gesloten en open gebieden met elkaar worden vergeleken voor en na visserij. De MEGMA-studie is anders van opzet. Het primaire doel is om te volgen hoe mosselbanken en het andere bodemleven zich ontwikkelen in de gesloten gebieden na sluiting. Uiteraard is daarbij interessant de vraag te stellen in hoeverre eventuele veranderingen toe te schrijven zijn aan het uitsluiten van de visserij. Daarvoor is de studie echter minder geschikt. De belangrijkste reden daarvoor is dat de gesloten gebieden niet random maar bewust zijn gekozen omdat ze kansrijk werden geacht voor natuurontwikkeling en in het bijzonder voor de ontwikkeling van meerjarige mosselbanken.. Daarnaast is het onderzoek pas gestart *nadat* de gebieden zijn gesloten en is er dus geen T0 meting beschikbaar. Een BACI-aanpak was daarmee op voorhand niet meer mogelijk. Binnen de gesloten gebieden zijn de monsterpunten gelegd op plaatsen met de beste kansen voor natuurontwikkeling, met als centrale vraag wat er met het bodemleven op deze plaatsen gaat gebeuren. Mochten zeldzamere of gevoelige soorten zich vestigen, zoals bijvoorbeeld platte oesters of zeegras, dan is dat als eerste op dit soort plekken te verwachten en is dus de kans het grootst dat met dit onderzoek een dergelijke ontwikkeling kan worden gedocumenteerd.

Responsvariabelen

De ontwikkeling van de bodemdiergemeenschappen is primair gevolgd door het nagaan van veranderingen in de totale dichtheid, de totale biomassa, de soortenrijkdom en de soortensamenstelling (aan- en afwezigheid, relatieve verhoudingen in de dichtheid van de soorten).

Gesloten voor mosselzaadvisserij

Het stapsgewijs sluiten van gebieden in verschillende jaren maakt het onderzoek er niet gemakkelijker op. De sluiting horend bij de derde stap heeft er toe geleid dat monsterpunten in het tot dan open gebied (dat diende als referentie) bij de volgende sluiting in de gesloten gebieden zijn komen te liggen. Dat betekent ook dat de duur dat gebieden zijn gesloten zijn binnen het totale gesloten gebied varieert. Verder is er sinds de 3^{de} sluitingsstap maar heel beperkt gevist is in de open delen van de onderzoeksgebieden waardoor in deze periode de gesloten en open gebieden qua bevissing niet of amper van elkaar verschilden.

Binnen de gesloten gebieden zijn de soortensamenstellingen significant veranderd over de hele periode en zijn er op soortniveau een aantal trendmatige veranderingen zichtbaar:

1. In het **Molenrak** is vanaf ca. 2018 een afname te zien in de dichtheid van mosselen en daarmee geassocieerde soorten zoals zakpijpen en zeeanemonen, de totale bodemdierdichtheid en totale biomassa.
2. In **Breezanddijk** is de gemiddelde dichtheid van zeeanemonen en muiltjes (*Crepidula*) lager sinds 2019.
3. In **Westkom-Omdraai** nam de dichtheid van mosselen toe in 2017, na een goede broedval, gevolgd door een afname.
4. In de **Vlieter** is een sterke afname te zien in de dichtheid van strandgapers, mosselen en daarmee in de totale bodemdierdichtheid die sterk gedomineerd wordt door beide soorten.

In de **vergelijking tussen open en gesloten** delen van de onderzoeksgebieden valt het volgende op.

1. In de **Vlieter** zijn verschillen tussen open en gesloten delen klein.
2. In **Breezanddijk** zijn geen verschillen in trends te zien.

3. In het **Molenrak** zien we de afname in mosselen in het open gebied minder sterk. In de periode 2015-2018 zagen we juist het steeds verder uiteen lopen van de samenstelling van bodemdiergemeenschappen als gevolg van zeer plaatselijk omvangrijke broedvallen van verschillende soorten schelpdieren in 2017 en 2018 in het open gebied. Het is onduidelijk of dit aan de gebiedssluiting toegeschreven kon worden. Na 2018 werd de tijdreeks onderbroken door de 3^e sluitingsstap, omdat de bemonsteringsopzet aangepast moest worden (nieuwe monsterpunten).
4. In de **Westkom-Omdraai** is de fauna in de eerste drie jaren meer op elkaar gaan lijken, vooral door een afname van mosselen in het open gebied. De laatste jaren vallen vooral de hogere dichtheden van Amerikaanse zwaardscheden in het open gebied op.

De verdere ontwikkeling van de fauna als een mosselbank verdwenen is, hangt af van het - veelal stochastische - broedvalsucces van andere soorten, met name voor schelpdieren. Hetzelfde geldt ook voor de mosselen zelf. Zaadval vindt plaats binnen bestaande banken bij een bescheiden zaadval, maar buiten bestaande banken tijdens omvangrijke zaadvallen waarbij nieuwe zaadbanken gevormd worden. Zoals door Troost et al. (2019) al geconcludeerd, lijkt de gebiedssluiting vooralsnog geen invloed te hebben op het ontstaan van nieuwe zaadbanken.

Gesloten voor garnalenvisserij

Drie van de vijf onderzoeksgebieden zijn over (bijna) de hele onderzoeksperiode bemonsterd: Molenrak, Vlieter en Eierlandsegat. In de tijdseries zijn geen trendbreuken waarneembaar. Dat is gelinkt aan het feit dat hier geen monsterpunten op (tijdelijk aanwezige) mosselbanken meegenomen zijn.

Binnen de gesloten gebieden van de verschillende onderzoeksgebieden zijn de soortensamenstellingen significant veranderd behalve in het Eierlandsegat.

1. Wat betreft trendmatige veranderingen in het **Molenrak** is de enige duidelijke verandering dat de dichtheden van de strandgaper en het nonnetje in de gesloten delen zijn afgenomen.
2. In de **Vlieter** is in het gesloten gebied ook een afname in dichtheid van strandgapers, kokkels en mosselen waargenomen, resulterend in een afname van de totale schelpdierdichtheid en biomassa.
3. In het **Eierlandsegat** zijn geen trendmatige veranderingen op soortniveau gevonden.

In de **vergelijking tussen open en gesloten** delen van de onderzoeksgebieden valt het volgende op.

1. In het **Molenrak** was er bij aanvang een verschil in soortensamenstelling tussen open en gesloten gebieden. Dat verschil bleef tot 2020. De laatste twee jaren verschilde de soortensamenstelling tussen open en gesloten delen van het Molenrak weinig, vooral door de bovengenoemde afnames in het gesloten gebied.
2. In de **Vlieter** zijn geen significante verschillen in soortensamenstelling gevonden tussen open en gesloten delen.
3. In het **Eierlandsegat** is er al vanaf het begin van de onderzoeksperiode een verschil tussen de open en gesloten gebieden en dat is ongeveer even groot gebleven gedurende de hele periode. Omdat de ontwikkeling van bodemdieren niet verschilt tussen het open en gesloten gebied, duiden de gevonden verschillen (in met name de dichtheden van schelpdiersoorten) eerder op een verschil in natuurlijke omstandigheden dan op een effect van de gebiedssluiting. Deze conclusie kan echter niet eenduidig getrokken worden omdat in de onderzoeksperiode ook in de gesloten gebieden is gevestigd, zij het met een lagere visserij-intensiteit dan in de open gebieden.

Conclusies

Hoofddoel van het MEGMA-onderzoek is de ontwikkeling in kaart te brengen van mosselen en andere bodemdieren in de voor mosselzaad- en garnalenvisserij gesloten gebieden. In alle voor mosselzaad- en garnalenvisserij gesloten gebieden zien we een significante verandering van de bodemfauna. Dat is vooral toe te schrijven aan de ontwikkeling van schelpdieren als mosselen, strandgapers, kokkels en nonnetjes. Het populatieverloop van deze soorten vertoont meestal sterke jaarlijkse pieken gevolgd door afnames, doordat ze niet jaarlijks een goede broedval hebben. Ook ruimtelijk gezien resulteren broedvallen van schelpdieren in sterke pieken, door zeer plaatselijke broedval in hoge dichtheden. Veranderingen in de dichtheid van mosselen werken door in veranderingen van met mosselen geassocieerde fauna.

Vervolg vragen op de hoofdvraag zijn:

- Is er een verschil in ontwikkeling in voor visserij open en gesloten gebieden? Antwoord: Er zijn verschillen, zij het vaak klein, die toe te schrijven zijn aan verschillen in de ontwikkeling van schelpdieren en dan vooral van mosselen.
- Zijn deze verschillen eventueel het gevolg van sluiting voor mosselzaadvisserij? Antwoord: Er zijn geen aanwijzingen dat dit het geval is. Verschillen lijken vooral te wijten aan verschillen in de populatiedynamiek van mosselen. Mosselbanken komen en gaan. In de onderzoeksgebieden, met wat lagere zoutgehalten, is het grootste deel verdwenen na 7 jaar. Met het verdwijnen van oude banken, vindt ook een reset plaats van de geassocieerde fauna. Immers, met het ouder worden van een bank hebben meer soorten de kans gekregen zich hierin te vestigen. Dat geldt des te meer voor banken die langer overleven door regelmatige aanwas, zoals bijvoorbeeld in het gesloten gebied van het Molenrak.
- Zijn deze verschillen eventueel het gevolg van sluiting voor garnalenvisserij? Antwoord: Er zijn geen significante verschillen in ontwikkeling gevonden zijn tussen de voor garnalenvisserij gesloten en open gebieden. Echter omdat de indruk bestaat (en waarnemingen zijn) dat er nog steeds gevestigd is in het gesloten gebied kan niet geconcludeerd worden of de gebiedssluiting een meetbaar effect heeft. Daarnaast zorgen de soms grote ruimtelijke verschillen in (plaatselijk soms zeer omvangrijke) broedval van allerlei schelpdiersoorten voor een grote variatie waardoor eventuele verschillen in ontwikkeling mogelijk pas na langere tijd zichtbaar worden.

De studie laat zien dat de ontwikkeling van bodemdiergemeenschappen in de Waddenzee zich kenmerkt door een grote variatie in ruimte en tijd. Dit was al bekend en is op zich ook niet vreemd in een dynamisch gebied als de Waddenzee waar vooral opportunistische soorten voorkomen die wanneer de omstandigheden gunstig zijn verdwenen populaties weer snel kunnen herstellen. Effecten van sluitingen op de ontwikkeling van bodemdiergemeenschappen zijn daardoor vaak lastig te onderscheiden van natuurlijke variatie. Temeer in een situatie als dit waarbij gesloten gebieden gericht gekozen zijn op plaatsen met de beste kansen voor natuurontwikkeling. Het onderzoek is daarom ook niet opgezet om de effecten van sluiting te kwantificeren maar vooral om te zien in hoeverre er in de gesloten gebieden bepaalde natuurontwikkelingen plaats vinden. De analyses tot nu toe laten zien dat dit eigenlijk niet het geval is. Sommige soorten nemen toe, andere juist weer af, zonder dat duidelijk is in hoeverre de sluiting daarin een rol heeft gespeeld. Het gaat daarbij steeds om algemeen voorkomende soorten en vooral schelpdieren. Een tweede verwachting / hoop bij de sluitingen was dat in de gesloten gebieden kwetsbare soorten zich zouden kunnen ontwikkelen. Daarbij wordt gedacht aan platte oesters en zeegras, maar is ook *Sabellaria* wel eens genoemd. Het is ook om deze reden dat de onderzoeksplots binnen de gesloten gebieden zijn gekozen op de van nature meest rustige plaatsen en daarom voor genoemde soorten nog de beste omstandigheden bieden om zich te vestigen. Deze soorten zijn tot op heden nog niet aangetroffen, maar wellicht is de tijd daarvoor nog te kort. Het verdient daarom aanbeveling de huidige monitoring voort te zetten, omdat in een dergelijk dynamisch systeem veranderingen pas zichtbaar worden over vele jaren, wellicht wel tot meer dan een decennium. Wel dienen de verwachtingen en de monitoringsopzet tegen het licht gehouden te worden, nu met de nieuwe sluitingsstappen in 2022 de meeste monsterpunten in de open gebieden gesloten worden, zowel wat betreft mosselzaadvisserij als garnalenvisserij. Dat maakt dat in een volgende analyse het nog lastige zal worden om effecten van sluiting te kunnen evalueren.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

In 2014 is in de westelijke Waddenzee een aantal gebieden gesloten voor mosselzaad- 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 habitattypen 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 2021. De onderzoeksresultaten tot en met 2018 zijn gerapporteerd en geëvalueerd door Troost et al. (2019).

1.2 De gesloten gebieden

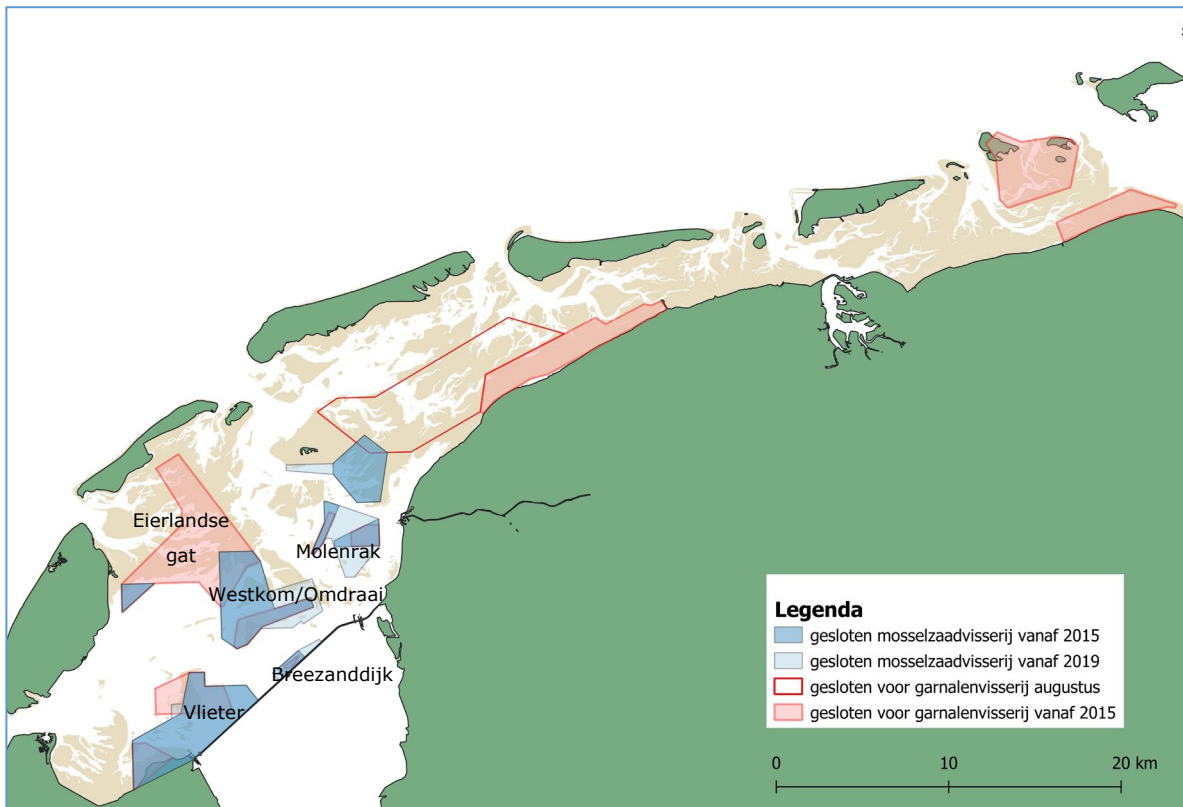
De gesloten gebieden zijn weergegeven in Figuur 1. De keuze voor deze gebieden is grotendeels gebaseerd op de veronderstelde geschiktheid van deze gebieden voor ontwikkeling van mosselbanken en overige natuurwaarden die van belang zijn binnen Natura 2000. Voor het vaststellen van de uiteindelijke begrenzing 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).

De volgende typen gebiedssluitingen zijn te onderscheiden:

- Jaarrond gesloten voor mosselzaad- 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. In 2019 zijn enkele gebieden vergroot.
- Jaarrond gesloten voor alleen garnalenvisserij.
- In augustus gesloten voor garnalenvisserij, met uitzondering van de delen die liggen in het doorgaande vaarwater.

In het voorjaar van 2009 en 2010 is voor het eerst een deel (20%) van de aanwezige mosselzaadbanken gesloten voor mosselzaadvisserij. 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. De volgende stap m.b.t. gebiedssluiting voor mosselzaadvisserij is voor het eerst toegepast in het visplan voor de voorjaarsvisserij in 2014. Daarbij zijn verder gebieden gesloten in Molenrak (West en Oost), Westkom en Omdraai/Gat van Stompe. De gebiedssluiting voor garnalenvisserij is begin 2015 ingegaan. In 2019 is een aantal gebieden gesloten voor mosselzaadvisserij vergroot. De gebieden Molenrak Oost en Molenrak West zijn daardoor aaneengeschaald tot één gebied "Molenrak".

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 mosselzaadvissers (blauw) zijn mosselbanken ook gesloten voor de garnalenvisserij. De rood gearceerde gebieden zijn jaarrond gesloten voor de garnalenvisserij. Een deel van de voor mosselzaadvissers gesloten gebieden werden in 2019 vergroot.

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 mosselzaadvissers of garnalenvissers gesloten gebieden?" Met als vervolgvragen:

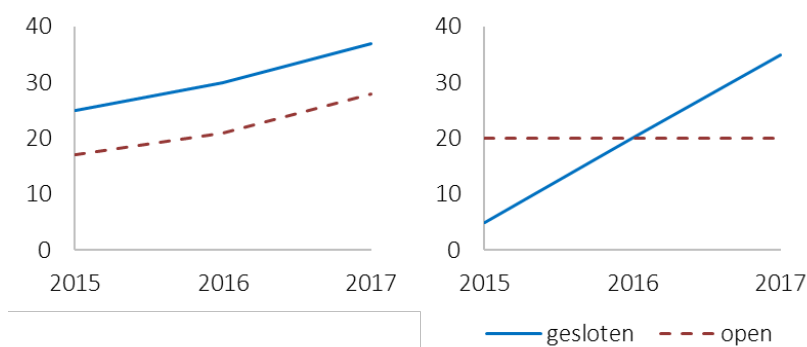
1. In hoeverre is er een verschil met de ontwikkeling in voor visserij toegankelijke gebieden?
2. Is er een aanleiding om te veronderstellen dat eventuele verschillen in ontwikkeling een gevolg zijn van de gebiedssluiting, of zijn andere oorzaken aannemelijker? Daarnaast wordt ook gekeken naar het aantal soorten, de totale dichtheid en de totale biomassa, ook natuurwaarden die van belang zijn voor het voldoen aan de Natura 2000-instandhoudingsdoelstellingen voor habitattypen H1110 (permanent overstromende zandbanken).

1.3.2 Globale aanpak en beperkingen

Om de ontwikkeling van bodemdieren in de gesloten gebieden te kunnen volgen, zijn binnen de gesloten gebieden bodemonsters genomen op verschillende locaties. De monitoring is zodanig opgezet dat zoveel mogelijk gebruik gemaakt kon worden van de bestaande inventarisatie van mosselzaad in de westelijke Waddenzee die jaarlijks in het voorjaar wordt uitgevoerd (zie van Stralen et al. 2022). De monitoring in de gesloten en open gebieden is aanvullend op deze bestandsopnamen in het voorjaar uitgevoerd op grotendeels dezelfde wijze en met hetzelfde monstertuig (zuigkor). Net

zoals in de voorgaande periode (zie Troost et al. 2018, 2019) is de analyse uitgevoerd op de grotere bodemdieren die goed gevangen worden met de zuigkor.

Om vervolgens de ontwikkeling in de gesloten gebieden te kunnen vergelijken met die in de open gebieden, zijn ook bodemmonsters genomen in de open gebieden. Zoals beschreven door Troost et al (2018) is daarbij gezocht naar locaties binnen en buiten de gesloten gebieden die zo gelijk mogelijk waren qua abiotische variabelen. Zulke locaties waren echter moeilijk te vinden, en geconcludeerd moest worden dat de gesloten en open gebieden al bij aanvang van het onderzoek van elkaar verschilden (Troost et al. 2018, 2019). Dit komt doordat 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). De consequentie hiervan is dat uit het onderzoek geen harde conclusies te trekken zijn over effecten van de gebiedssluitingen. In het ideale geval worden effecten van visserij, of het weren van visserij, onderzocht middels een BACI-opzet waarbij random gekozen gesloten en open gebieden met elkaar worden vergeleken vóór en na visserij. Een belangrijke voorwaarde daarbij is dat de aan- en afwezigheid van visserij het enige verschil is tussen de gebieden, en dat verder alle natuurlijke variabelen gelijk zijn. Aan deze voorwaarde kan binnen het MEGMA-onderzoek niet voldaan worden, waardoor eventuele verschillen tussen het gesloten en open gebied niet eenduidig aan een bepaalde factor toegeschreven kunnen worden.



Figuur 2. 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 het gesloten gebied wordt consequent een hogere dichtheid aangetroffen, maar de ontwikkeling over de tijd is hetzelfde. Rechts: De ontwikkeling over de tijd wijst op een effect van de behandeling (uitsluiten visserij).

Bij de vergelijking tussen het gesloten en open gebied is het van belang om te kijken naar verschillen in ontwikkeling en niet naar absolute verschillen (zie Figuur 2). Immers, de begrenzingen van de gesloten gebieden zijn gekozen op basis van, onder andere, het voorkomen van oudere mosselbanken en relatief rijke bodemdiergemeenschappen. Bij aanvang waren deze dus relatief meer vertegenwoordigd in de gesloten gebieden. Het gaat erom of na sluiting mosselen en andere soorten bodemdieren zich in de gesloten gebieden anders ontwikkelen dan in de open gebieden, bijvoorbeeld door een sterkere toename of juist afname, of de afwezigheid van een trend die in het open gebied wel zichtbaar is. Belangrijk om te beseffen is dat zelfs wanneer verschillen in ontwikkeling worden gezien, dit nog steeds een effect kan zijn van verschillen in natuurlijke omstandigheden tussen het gesloten en open gebied. Bijvoorbeeld: als de omstandigheden in het gesloten gebied gunstiger zijn voor vestiging en overleving van een bepaalde soort die grote fluctuaties in populatie-omvang kent, zullen deze fluctuaties zich sterker voordoen in het gesloten gebied

Door middel van gemeenschapsanalyses (ordinatieplots) van de hele bodemdiergemeenschap bemonsterd met een zuigkor (zie 2.2.2) is onderzocht welke veranderingen er zijn binnen het gesloten gebied, en welke verschillen er zijn met het open gebied. Bij verschillen is vervolgens zover mogelijk onderzocht en bediscussieerd in hoeverre dat kan worden toegeschreven aan de gebiedssluiting of dat het waarschijnlijker is dat daar andere oorzaken aan ten grondslag liggen.

1.3.3 Aansluiting bij 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 (van Stralen et al. 2022). 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 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 ook daar 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. In 2019 moest dit echter aangepast worden (zie verder).

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. Uit een analyse van alle sublitorale mosselbanken verzameld tijdens de voorjaarsurvey in de Westelijke Waddenzee blijkt dat de gemiddelde levensduur van mosselbanken die hun eerste winter overleefd hebben, 2,3 jaar is, dus lager dan in het litoraal. Het is wel zo dat banken in gebieden met een lager zoutgehalte langer overleven dan banken in gebieden met een hoger zoutgehalte, waarschijnlijk als gevolg van meer predatie door zeesterren in die gebieden (Troost et al. 2022).

2 Methoden

Hieronder wordt kort beschreven welke methoden zijn toegepast in zowel de reguliere mosselzaadinventarisatie als de aanvullende MEGMA-bemonstering. De methoden 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, van Stralen et al. 2016, van Stralen et al. 2017, 2018, 2019b, van Stralen & Troost 2021). Ten behoeve van het MEGMA-onderzoek kunnen de data uit deze meetreeks gebruikt worden als referentiekader in tijd en ruimte (Troost et al. 2019). Ook zijn in het voorliggende rapport de arealen van mosselbanken, zoals jaarlijks ingetekend in de jaarlijkse survey-rapporten (zie hierboven) gebruikt om inzicht te geven in de ontwikkeling van het oppervlak aan mosselbanken, uitgesplitst in de gesloten gebieden en daarbuiten, in totaal en per onderzoeksgebied. 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, 2019, 2021). Daarnaast zijn in sommige gevallen de contouren aangepast naar aanleiding van nieuwe informatie van visserijkundig ambtenaren, die niet meer verwerkt konden worden in de jaarlijkse rapportages door van Stralen maar wel in de MEGMA-rapportage (Troost et al. 2018, 2019 en voorliggend rapport).

2.2 MEGMA-bemonstering

2.2.1 Onderzoeksgebieden

De monitoring richt zich primair op de ontwikkeling van bodemdieren binnen de gesloten gebieden, en daarom is bij aanvang van het onderzoek gezocht naar onderzoeksgebieden in gebieden rijk 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, die 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 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 a) grenzen vaak liggen op of nabij diepte gradiënten, en b) 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 3.

In 2015 waren geen mosselbanken aanwezig in de open gebieden van Vlieter en Breezanddijk.

In 2017 zijn in onderzoekslocatie Westkom / Gat van Stompe 25 extra monsterpunten gelegd in nieuw ontstane mosselzaadbanken, met als doel om de ontwikkeling van deze zaadbanken en geassocieerde fauna in de komende jaren te kunnen volgen. In 2018 zijn daar om deze reden nog 7 monsterpunten aan toegevoegd.

In 2018 richtte het onderzoek zich uitsluitend op de gebiedssluitingen voor mosselzaadvisserij. De onderzoekslocaties "Eierlandse Gat" en "Breezanddijk" zijn toen niet bemonsterd omdat a) onderzoeksgebied uitsluitend gericht is op garnalenvisserij (Eierlandse Gat), of b) onderzoeksgebied gericht is op zowel garnalenvisserij als mosselzaadvisserij maar er tot 2018 geen vergelijking mogelijk was tussen "gesloten" en "open" voor mosselzaadvisserij door het ontbreken van mosselbanken in open gebied (Breezanddijk).

Door de 3^{de} sluitingsstap lagen in 2019 monsterpunten die voorheen in het open gebied lagen, nu in het gebied gesloten voor mosselzaadvisserij. Hierdoor is het aantal monsterpunten in het open gebied kleiner geworden en te klein om daar een goede vergelijking mee te kunnen maken. Dit geldt voor de voormalige onderzoeksgebieden Molenrak (oost en west) en Omdraai. Aangezien het monstergrid daarom aangepast moest worden, en mede aangezien er bij aanvang van het onderzoek in 2015 geen zaadbanken aanwezig waren, zijn meer punten gelegd in mosselzaadbanken die in 2017 en 2018 zijn ontstaan (tijdens de voorjaarssurvey geïnventariseerd in respectievelijk 2018 en 2019).

Tabel 1. Overzicht van bemonsteringen in open en gesloten delen van ieder onderzoeksgebied, per jaar.

Year	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	open	gesloten	open
Breezanddijk	x		x		x				x	x	x	x	x	x
Molenrak	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Vlieter	x		x		x		x		x	x	x	x	x	x
Westkom_Omdraai	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eierlandsegat	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x

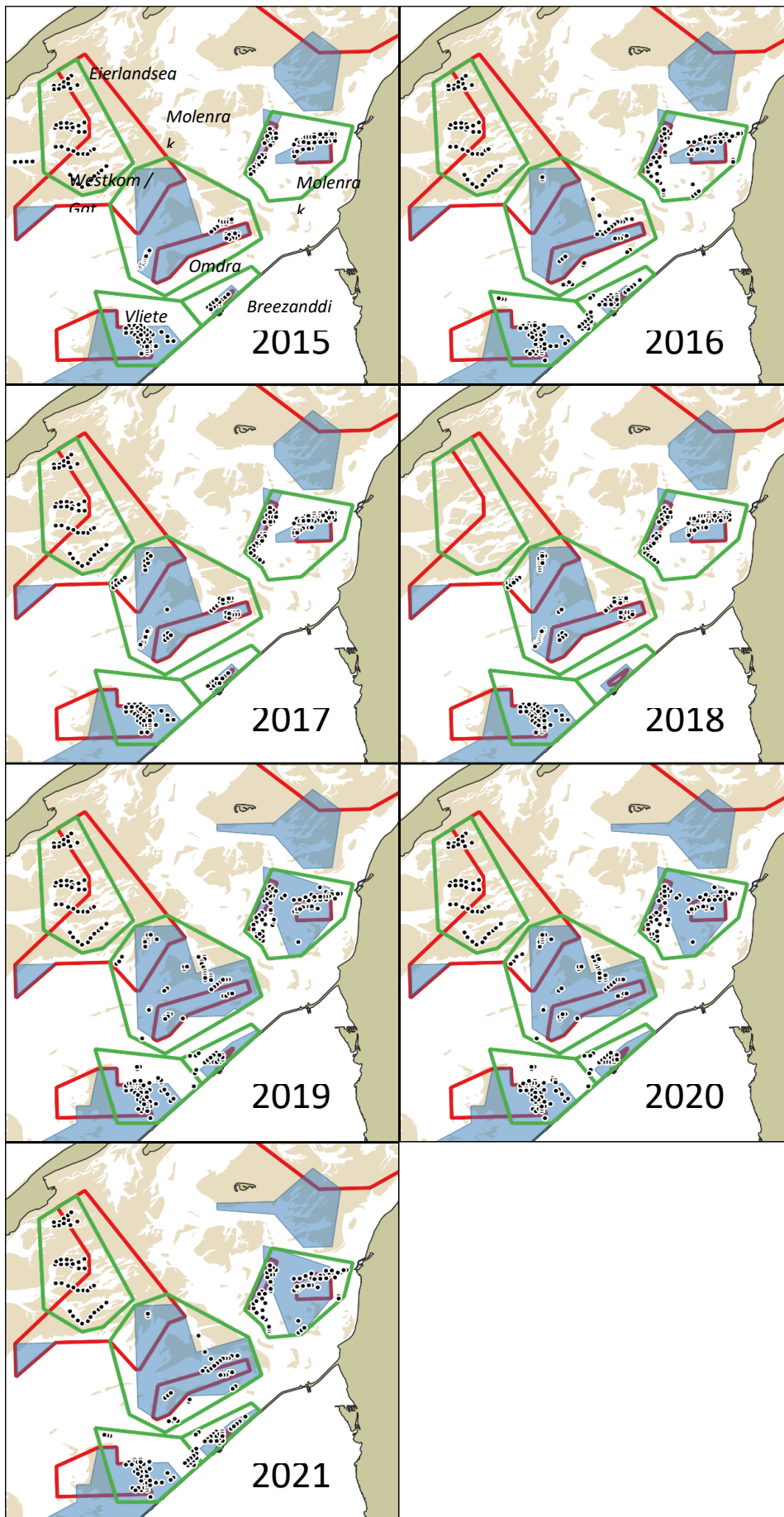
Niet alle monsterpunten zijn dus geschikt voor een analyse van de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschappen in relatie tot sluiting voor mosselzaadvisserij of garnalenvisserij. Daarom is onderscheid gemaakt tussen een 'mosselstratum' (gericht op open/gesloten voor mosselvisserij) en een 'garnalenstratum' (gericht op open/gesloten voor garnalenvisserij). Per monsterpunt is per jaar vastgesteld of dit binnen het mosselstratum valt, of meetelt voor het garnalenstratum.

Monsterpunten die buiten de contouren van mosselbanken vallen, tellen mee voor het garnalenstratum. Alle monsterpunten binnen de contouren van een mosselbank en binnen een buffer van 25m rond de mosselbank tellen mee voor het mosselstratum.

Voor het garnalenstratum wordt dit per jaar beoordeeld. Voor het mosselstratum wordt ook gekeken naar de voorgaande jaren.

Door dit alles is het aantal monsterpunten zowel in de ruimte (open vs. gesloten) als tijd (jaren) niet hetzelfde gebleven. Slechts een beperkt aantal locaties is over de hele periode bemonsterd (Figuur 5 en Figuur 6)

In Bijlages 3 en 4 worden voor mosselstratum en garnalenstratum de ligging van de monsterpunten per jaar grafisch weergegeven.



Figuur 3. Onderzoekgebieden en monsterpunten in het MEGMA-onderzoek in de gehele periode 2015-2021. De bemonsterde punten zijn weergegeven als zwarte stippen. Blauw = gesloten voor mosselzaadvisserij. Rood = gesloten voor garnalenvisserij. Groen = onderzoekgebieden. Kaki = land. Zandkleur = wadplaten.

2.2.2 Monstername

De bemonstering is, zoals in de voorgaande jaren, uitgevoerd volgens dezelfde methodiek als gebruikt tijdens de mosselzaadinventarisaties in het voorjaar: met een zuigkor (Figuur 4) 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.

2.2.3 Verwerking van de monsters

Ieder monster is aan boord verwerkt. Van het totale monster is een deelmonster genomen van 1/7^e deel van het totale volume. Indien nodig is hiervan nogmaals een deelmonster genomen. Dit zogenaamde "door-subben" is in het voorjaar vaker gedaan omdat deze survey primair gericht is op mosselen. Bij het MEGMA-onderzoek is het oorspronkelijke deelmonster (1/7^e van totaal volume) altijd eerst geheel doorzocht op de zeldzamere soorten, waarna indien nodig (bij grote aantallen) alsnog een kleiner deelmonster is genomen. In tegenstelling tot de mosselzaadsurvey in het voorjaar zijn bij het MEGMA-onderzoek alle aangetroffen taxa 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 leei*). 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 4. De bemonstering is uitgevoerd met de zuigkor (links) die 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.

Alle zakpijpen zijn benoemd als Ascidiacea, met uitzondering van *Molgula* sp., *Stylea clava* (de knotszakpijp) en *Ciona intestinalis*. 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, zee-anemonen als Actiniaria. Overigens zijn van zeepokken alleen het versgewicht bepaald, niet het aantal. Alle vissen zijn op soortsniveau gedetermineerd behalve de haringachtigen die samen Clupeidae genoemd zijn.

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, en niet in het gesloten gebied.

Middels black-boxgegevens (registratie van scheepsbeweging per mosselkotter) is vastgesteld of er op mosselzaad is gevist in de voor mosselzaadvisserij open delen van de onderzoekslocaties. De PO Mossel heeft de black-boxgegevens hiervoor ter beschikking gesteld. De black-boxgegevens waren daartoe opgewerkt door in het programma MaxSea handmatig contouren rond black-boxregistraties van visserij-activiteit te trekken. Onderzocht is of de contouren overlaptten met de MEGMA-monsterpunten. Bij deze analyses is Ook gebleken dat er niet gevist was op mosselbanken in de gesloten gebieden.

Voor de analyses van visserij-inspanning door garnalenvissers is gebruik gemaakt van logboekgegevens en de beschikbare data uit het satelliet volgsysteem VMS (Vessel Monitoring System dat visserijvaartuigen op basis van Europese regelgeving verplicht aan boord moeten voeren). De VMS gegevens bestaan uit registraties (pings) met een identificatienummer, geografische positie en vaarrichting en -snelheid. Deze dataset is gekoppeld aan de uitzet- en vangstgegevens uit de logboeken. Op basis van een analyse van de frequentieverdelingen van vaarsnelheden van alle VMS-records voor het betreffende tuig is voor elke VMS-ping de activiteit van het vaartuig (halen, vissen of stomen) bepaald. Elke VMS-ping vertegenwoordigt een bepaalde tijdsduur. Deze is gewoonlijk gelijk aan de intervalsnelheid waarmee VMS-pings worden uitgezonden, variërend van 30 minuten tot 2 uur. De visserij-inspanning werd gedefinieerd als de som van deze tijdstappen voor de pings die als vissen geassocieerd waren. Dit resulteerde in het aantal visuren. Een gedetailleerde uitleg van de gebruikte opwerkingsmethodiek is beschreven in Hintzen et al. (2012).

2.4 Analyses

2.4.1 Ontwikkeling van mosselbanken

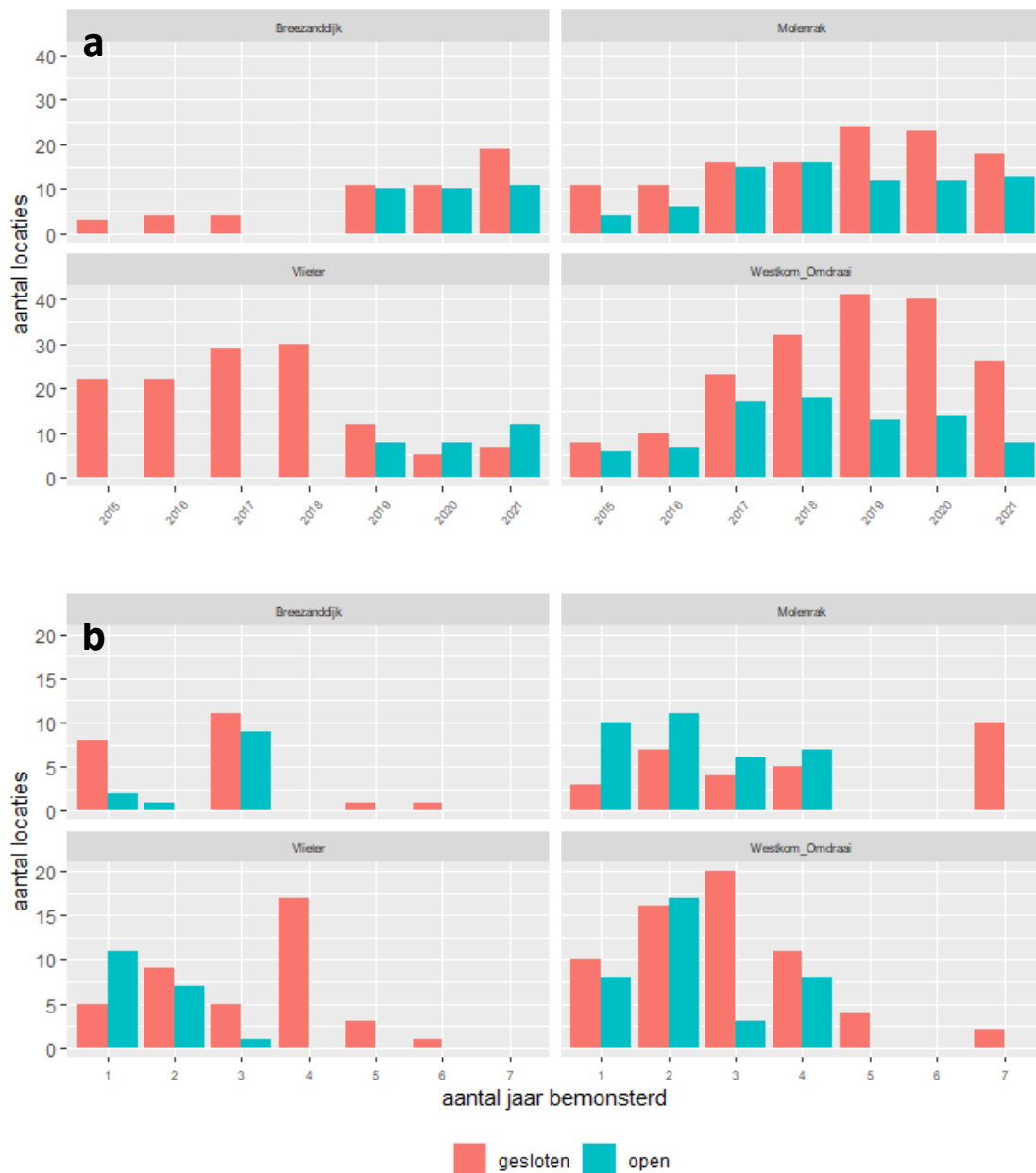
Uit de reguliere mosselzaadinventarisatie is de ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken in de gesloten gebieden uitgezet tegen de tijd, en vergeleken met de ontwikkeling in de open gebieden. Dit zowel voor het gehele gebied dat bestreken wordt door de inventarisatie (kombergingen Marsdiep en Vliestroom), als voor de onderzoeksgebieden afzonderlijk. Geobserveerde verschillen zijn niet statistisch getoetst aangezien per jaar één waarneming beschikbaar is.

2.4.2 Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschappen

De ontwikkeling van de bodemdiergemeenschappen is primair gevolgd door het nagaan van veranderingen in de totale dichtheid, de totale biomassa, de soortenrijkdom en de soortensamenstelling, op basis van de MEGMA-gegevens. Verandering in de soortensamenstelling (aan- en afwezigheid, relatieve verhoudingen in de dichtheid van de soorten) zijn geanalyseerd via gemeenschapsanalyses, gebruik makend 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:

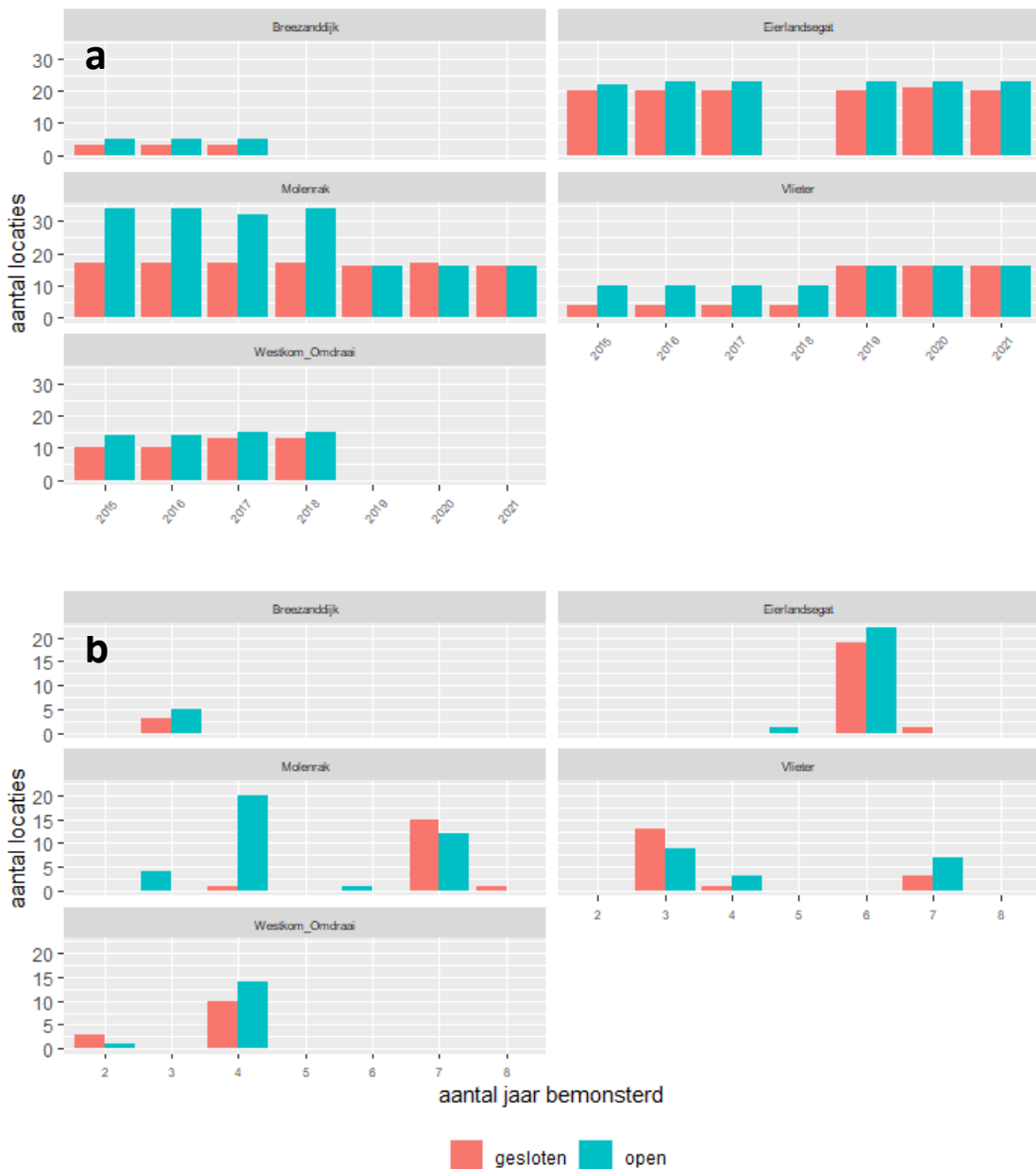
1. Op basis van DCA is onderzocht of de bodemdiergemeenschappen verschillen tussen de onderzoeksgebieden. Op dezelfde manier is nagegaan of er jaarlijkse verschillen zijn over de onderzoeksgebieden heen. Met een directe gradiëntanalyse (Redundancy Analysis, RDA), met de factoren jaar en onderzoeksgebied als verklarende variabelen, is de significantie van ruimtelijke verschillen gecheckt (Hoofdstuk 3.3).
2. Middels DCA en PRC is voor elk gesloten deel van een onderzoeksgebied onderzocht hoe de bodemdiersamenstelling zich ontwikkelde t.o.v. de beginsituatie in 2015. De ontwikkeling van de soorten met de meeste invloed op geobserveerde verschillen is nader bekeken hoofdstukken 3.4.1 en 3.5.1).

3. Middels DCA en PRC is voor alle onderzoeksgebieden afzonderlijk onderzocht hoe de bodemdiergemeenschap zich in de gesloten gebieden ontwikkelde in vergelijking met de ontwikkeling in de open gebieden. 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 onderzoeksgebieden. (hoofdstukken 3.4.2 en 3.5.2)



Figuur 5. Mosselstratum. Aantal monsterpunten per jaar per onderzoeksgebied (a) en aantal maal dat eenzelfde monsterpunt is bemonsterd (b).

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 *readxl*, *doBy*, *nlme*, *rgdal*, *sp*, *fields*, *maptools*, *RColorBrewer*, *classInt*, *ggplot2*, *ggrepel*, *gridExtra*, *gtable*, *raster*, *rgeos* and *reshape2*.



Figuur 6. Garnalenstratum. Aantal monsterpunten per jaar per onderzoeksgebied (a) en aantal maal dat eenzelfde monsterpunt is bemonsterd (b).

2.4.2.1 Ordinatieplots (DCA)

De mate waarin de monsters op elkaar lijken wat betreft de soortensamenstelling en de dichtheid van de verschillende soorten, is eerst onderzocht via een indirecte gradiëntanalyse, met name Detrended Correspondence Analysis (DCA). DCA is een methode voor ordinarie. Ordinarie, 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, waarbij alle voorkomende soorten in een analyse meegenomen worden. 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:

1. het nagaan van verschillen tussen de onderzoekslocaties, en verschillen tussen jaren;
2. de ontwikkeling binnen gesloten gebieden, per onderzoeksgebied;
3. de ontwikkeling binnen gesloten gebieden in vergelijking met de ontwikkeling in open gebieden, per onderzoeksgebied.

2.4.2.2 Principal Response Curves (PRC)

Ordinatieplots waarin de soorten weergegeven worden, zijn vaak slecht leesbaar, zelfs als alleen de meest voorkomende soorten weergegeven worden. Om na te gaan in hoeverre a) de bodemdiersamenstelling in de gesloten delen veranderde t.o.v. de beginsituatie in 2015, en b) 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. De PRC-techniek is vooral geschikt om het effect van een experimentele behandeling op meerdere tijdstippen voor en na de behandeling te onderzoeken, in dit geval dus de sluiting voor een bepaalde vorm van visserij. 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 gebruikt om de variatie in de taxonsamenstelling te verklaren (Verdonschot et al., 2010). Voor de vergelijking in ontwikkeling in open en gesloten delen van een onderzoeksgebied omvat tijd dus de bemonsteringsmomenten, en de behandeling het al of niet gesloten zijn voor visserij (inclusief de interactie met tijd). Voor de ontwikkeling in de tijd in de gesloten delen van onderzoeksgebieden, is de soortensamenstelling bij aanvang van het onderzoek als interne referentie gebruikt waarmee andere tijdstippen vergeleken worden (den Besten & van den Brink 2005, van den Brink et al. 2009).

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 permutatietest. 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 'behandelingsscore' berekend, die de respons op de behandeling in de tijd weergeeft, relatief t.o.v. de niet beviste gebieden (taxon neem bijv. meer of minder af of toe). Taxa met een positieve score nemen meer toe, taxa met negatieve score nemen meer af in het beviste gebied, mogelijk als effect van visserij. Hoe verder de score van een taxon van 0 verwijderd ligt, hoe groter het verschil in ontwikkeling 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 en dichtheden

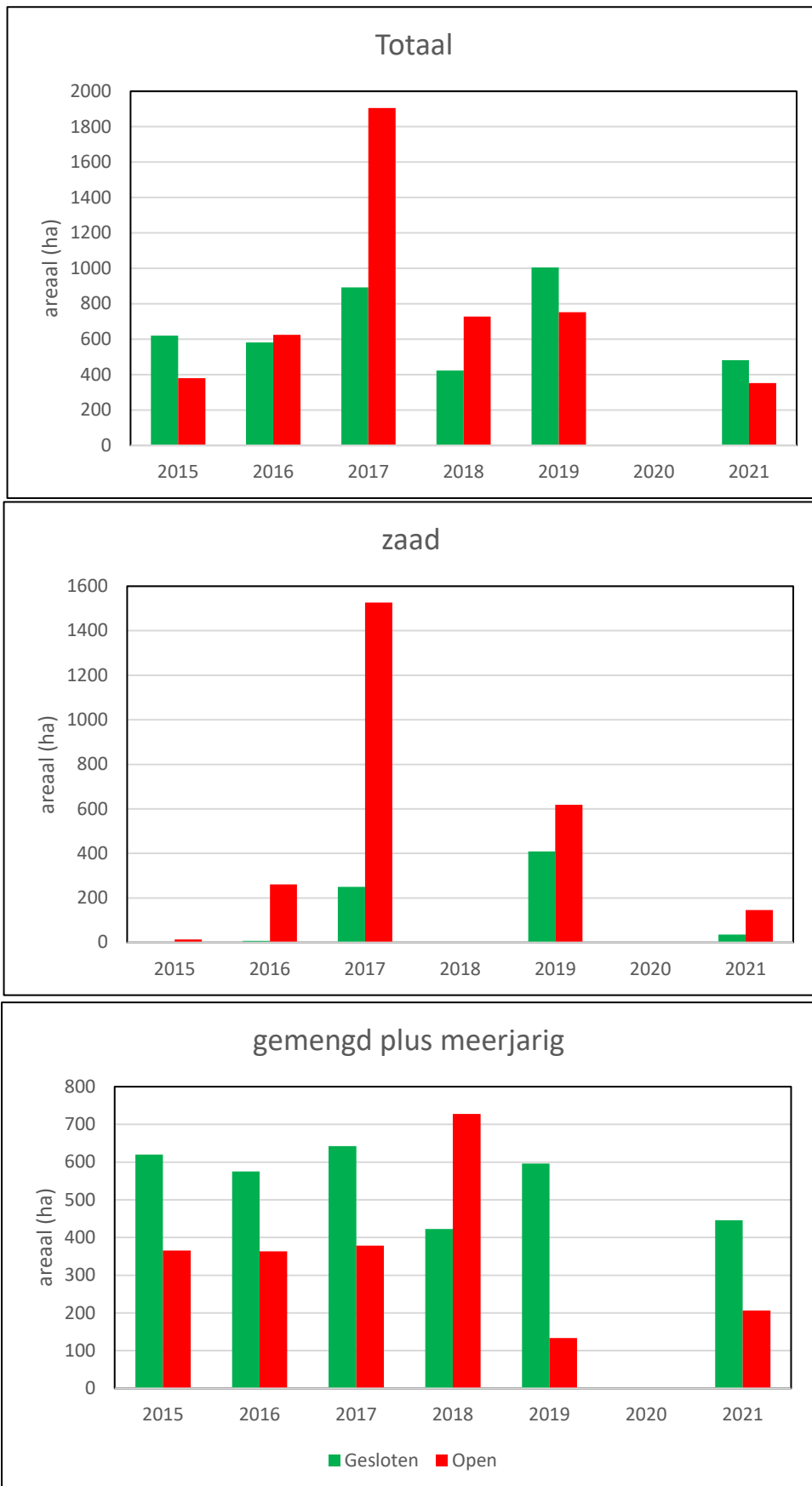
De meest abundante taxa, die op meer dan 50% van de stations zijn aangetroffen, waren in 2021: *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede), *Mya arenaria* (strandgaper), *Mytilus edulis* (mossel), *Actiniaria* (anemonen), *Limecola balthica* (nonnetje)², *Crangon crangon* (gewone garnaal), *Carcinus maenas* (strandkrab) en *Balanoidea* (zeepokken) (Bijlage 1). Dit zijn dezelfde soorten als in de voorgaande jaren, op *Cerastoderma edule* (kokkel) na die sinds 2019 op minder dan de helft van de stations is aangetroffen.

Wat dichtheden betreft, is vooral de afname over de tijd van *Mya arenaria* opvallend (Bijlage 2). Verder is de dichtheid van *Ensis leei* na 2018 weer sterk gedaald, maar nog hoger dan in de eerste jaren.

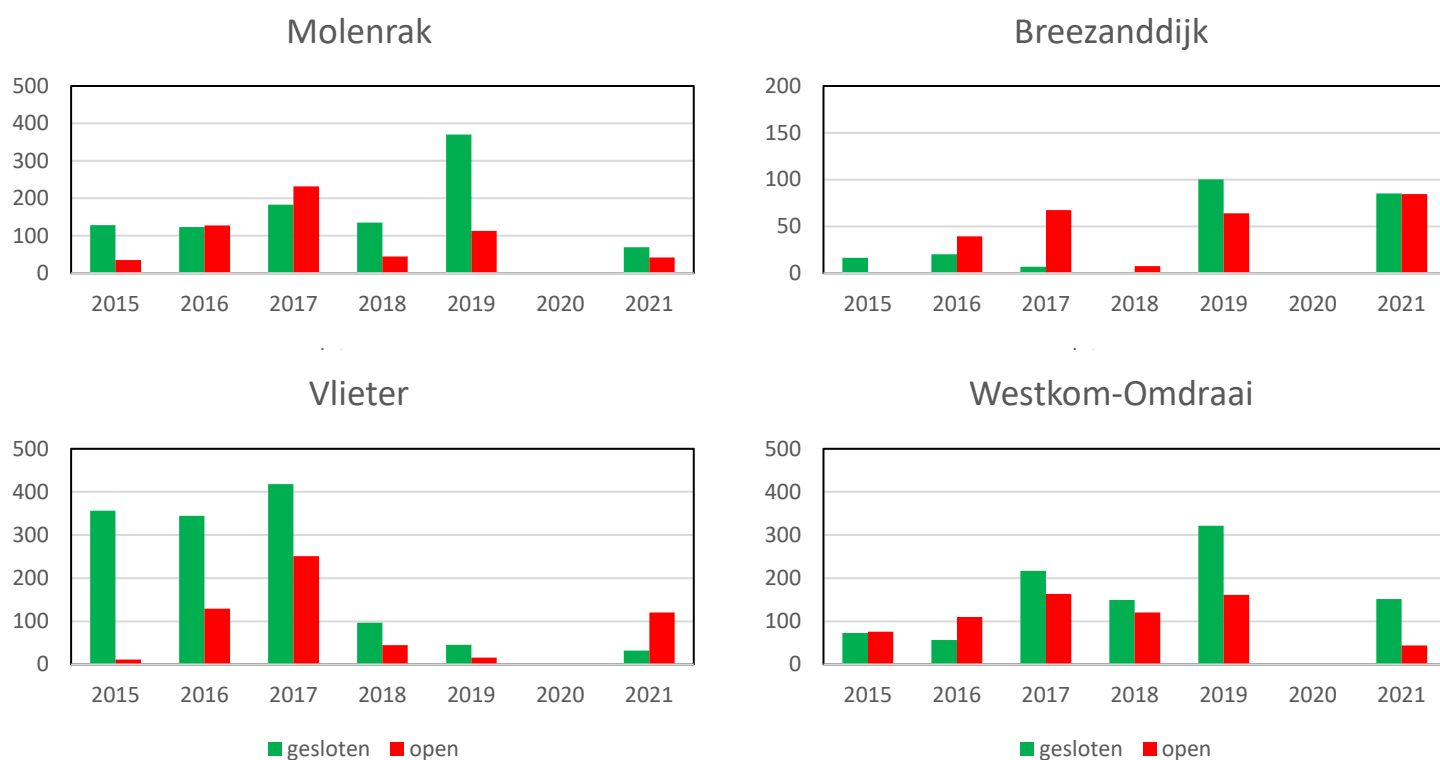
3.2 Ontwikkeling van het areaal aan mosselbanken

In het voorjaar van 2017 werd een grote toename in het areaal van sublitorale mosselbanken geconstateerd (Figuur 7), 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 in 2018 een opvallende afname geconstateerd die te verklaren is door het verdwijnen van voornamelijk oudere banken, die ook in 2017 al geclassificeerd waren als meerjarig. Ook in het open gebied was 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 van 2018 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. In 2018 is er een goede broedval geweest in open en gesloten gebieden, zichtbaar aan de arealen zaadbanken in het voorjaar van 2019. Het areaal aan oudere mosselbanken is met name in het open gebied afgenomen. In 2020 is als gevolg van COVID-19 geen inventarisatie uitgevoerd. Wel weten we dat er in 2019 maar een beperkte zaadval is geweest, nabij de Afsluitdijk, tussen de daar al aanwezige mosselen (van Stralen et al. 2019a). In de zomer van 2020 is er een bescheiden zaadval geweest, te zien aan het areaal zaadbanken in het voorjaar van 2021. Figuur 8 geeft het areaal in de voor mosselzaadvisserij open en gesloten delen van de onderzoeksgebieden. Er is geen duidelijk verschil in ontwikkeling.

² De geaccepteerde wetenschappelijke naam is ondertussen opnieuw *Macoma balthica*



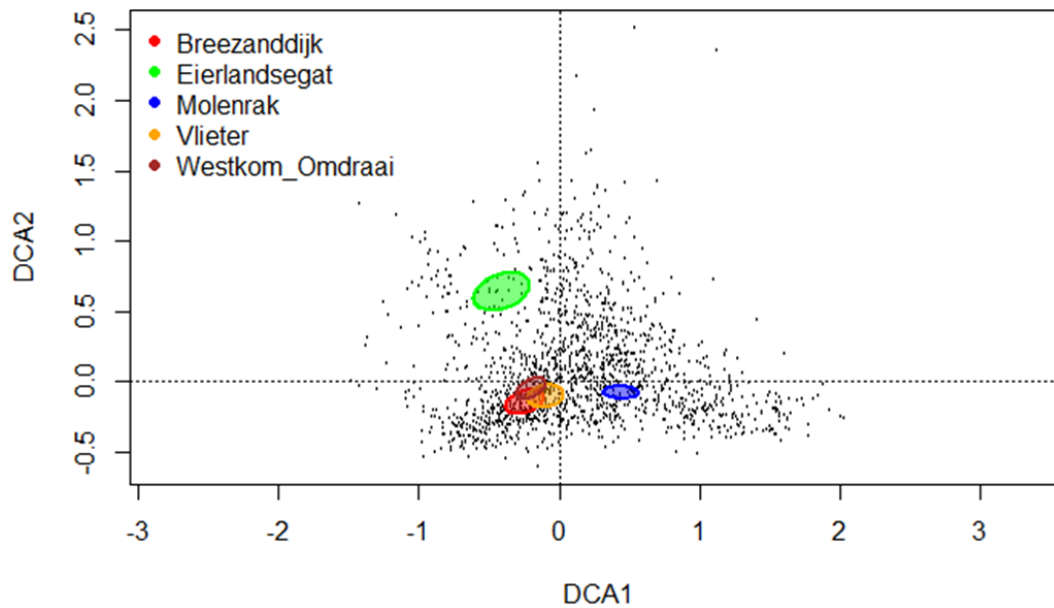
Figuur 7. De ontwikkeling van het areaal aan sublitorale mosselbanken in de westelijke Waddenzee, voor alle banken (boven), alleen de pure mosselzaadbanken (midden) en de meerjarige en gemengde (meerjarig met zaad) banken (onder). In 2020 is geen inventarisatie geweest.



Figuur 8. Areaal aan mosselbanken in de vier onderzoeksgebieden waarvan delen gesloten zijn voor mosselzaadvisserij. In 2020 is geen inventarisatie uitgevoerd.

3.3 Bodemdiergemeenschappen in de onderzoeksgebieden

Zoals vooraf werd verwacht, en eerder gerapporteerd (Troost et al. 2019), bleek uit de gemeenschapsanalyse (DCA) dat de bodemdiergemeenschap verschilt tussen de onderzoeksgebieden. Figuur 9 geeft de ordening van de monsters in de eerste twee ordinatievlakken. Daarin liggen monsters met eenzelfde soortensamenstelling dicht bij elkaar, monsters die sterk verschillen in soortensamenstelling ver uit elkaar. De onderzoeksgebieden 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 onderzoeksgebieden is wel verschillend (geen of geringe overlap tussen de betrouwbaarheidsintervallen). De gemeenschappen in de Vlieter, Westkom en Breezanddijk komen het meest overeen. Een RDA-analyse met onderzoeksgebied en jaar (als factor) als enige verklarende variabelen geeft aan dat deze ruimtelijke verschillen significant zijn ($p=0,001$). Uit de DCA- en de PRC-analyses per onderzoeksgebied blijkt ook dat de soortensamenstelling tussen open en gesloten delen voor mosselzaadvisserij al bij aanvang van het onderzoek verschilde (zie verder).



Figuur 9. DCA-plot voor de gehele dataset waarbij ieder afzonderlijk monsterpunt geplot is, met onderscheid naar onderzoeksgebieden. De ellipsen geven het 99,995% betrouwbaarheidsinterval weer. De eerste 2 ordinatie-assen van de DCA-analyse verklaren 10,2% van de variantie in de dataset.

3.4 Ontwikkeling van de bodemfauna in de voor mosselzaadvisserij gesloten gebieden

3.4.1 Ontwikkeling in de gesloten gebieden

3.4.1.1 Molenrak

De soortensamenstelling veranderde over de tijd, en verschil tussen open en gesloten deel is significant (PRC: $p = 0,003$), zoals te zien in de ordinatieplot en de PRC-curve (Figuur 10). De dichtheid van mosselen (*M. edulis*) wordt lager vanaf 2017-2018 (Figuur 11). Ook de dichtheid van strandgapers (*M. arenaria*) daalt geleidelijk. Zee-anemonen (Actiniaria) hebben in 2016 een hogere dichtheid dan in 2015, maar daarna is de dichtheid weer afgenomen. Anderzijds is er een aantal soorten die in 2015 niet of in heel lage dichtheden voorkomen, maar later wel in hogere dichtheden gevonden zijn, zij het niet ieder jaar. Sommige soorten nemen eerst toe en later weer af (bijv. *Crangon crangon*, *Molgula* sp., *Asterias rubens*), andere worden vooral de laatste jaren gevonden al is dit nog steeds in heel lage dichtheden (*Mulinia lateralis*, *Nephtys* sp.). Hun 'belang' voor de veranderingen in de bodemdiergemeenschap is weerspiegeld in scores gegeven in het PRC-diagram: een hogere absolute waarde (negatief of positief) wijst op een grotere invloed (Figuur 10).

3.4.1.2 Breezanddijk

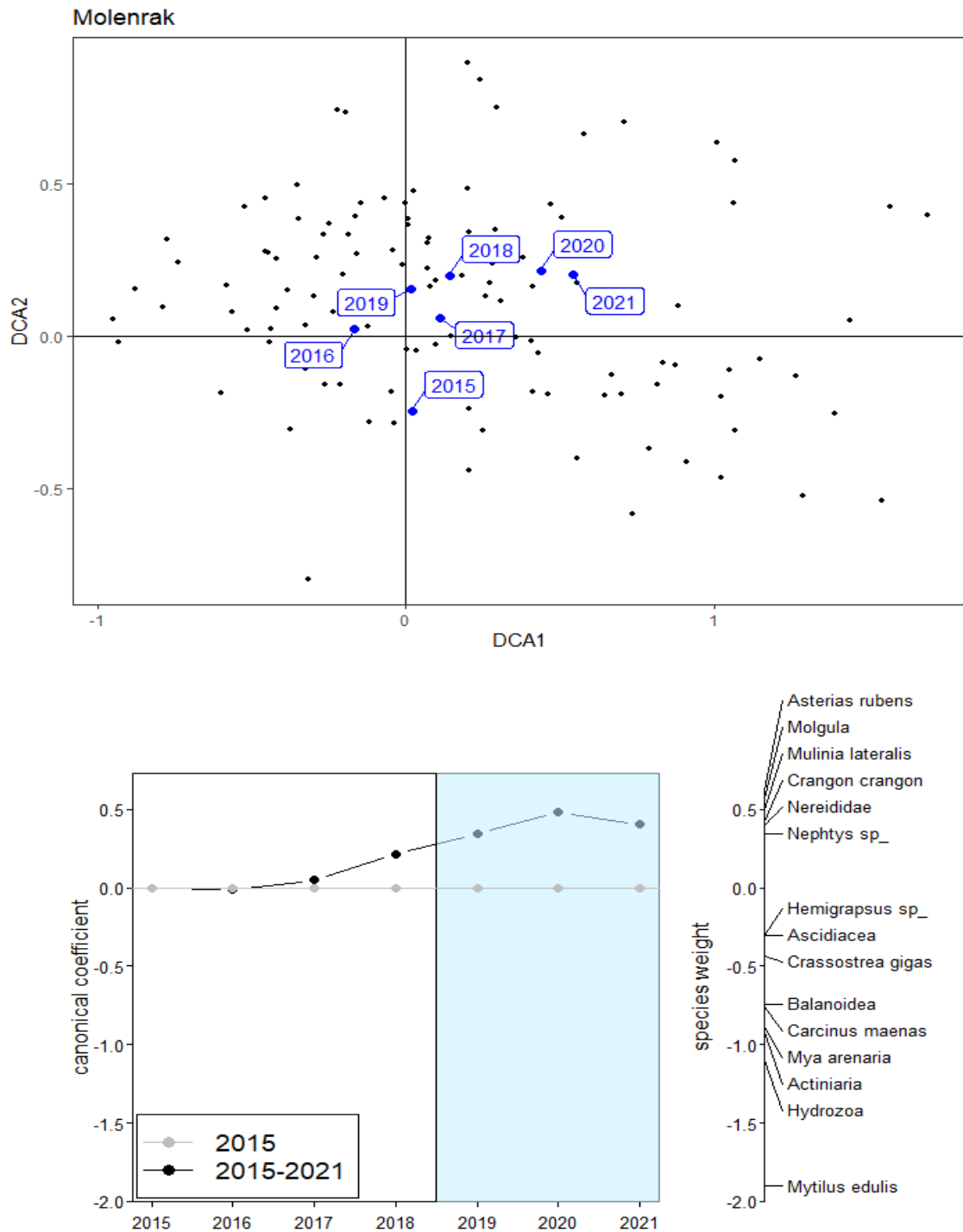
De soortensamenstelling is ook in Breezanddijk over de jaren significant veranderd (PRC: $p = 0,003$). In het DCA-diagram zie je een verschuiving van 2015 langs de as naar 2019 (Figuur 12). Dat is ook in het PRC-diagram te zien: grootste verschil met 2015 is in 2019. De dichtheden van zee-anemonen (Actiniaria) en het muiltje (*C. fornicata*) zijn in de eerste jaren hoger dan in de laatste jaren (Figuur 13). Dat geldt ook voor zakpijpen (Ascidiacea) maar deze zijn slechts enkele jaren en steeds in heel lage dichtheden waargenomen. Zoals in 2.2.3. aangegeven, worden bij de zakpijpen alleen *Molgula* sp., *Ciona intestinalis* en *Styela clava* op genus/soort gebracht. Andere soorten zijn in 2015 in lagere dichtheden gevonden dan in de daaropvolgende jaren, al lijkt bij de meeste van deze soorten de dichtheid weer af te nemen. Dat zijn bijv. de Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*), zeeduizendpoten (Nereididae), de strandgaper (*M. arenaria*) en de kokkel (*C. edule*).

3.4.1.3 Westkom-Omdraai

Ook in dit onderzoeksgebied is er een significante verandering in de soortensamenstelling t.o.v. het jaar 2015 (PRC: $p = 0,001$). Dat zien we ook in het DCA-diagram en de PRC-curve (Figuur 14). Wel lijkt de soortensamenstelling in de loop van de jaren langzaam weer meer op het eerste jaar. De dichtheid van mosselen (*M. edulis*) neemt in 2017 sterk toe, door broedval, maar neemt daarna weer langzaam af (Figuur 15). Garnalen (*C. crangon*) kent een ongeveer gelijke ontwikkeling, met de hoogste dichtheden in 2016 en 2017. Zandzagers zijn bijna niet gevonden in 2015, maar later wel, al is dit al enige jaren in erg lage dichtheden (mediane waarde is bijna nul). De zakpijpen van het genus *Molgula* zijn niet vaak in hoge dichtheden gevonden, maar al helemaal niet in 2015. Andere zakpijpen (Ascidacea) zijn juist vooral in 2015 gevonden. De Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*) is vooral in de eerste 2 jaren aangetroffen, de Japanse oester (*C. gigas*) vooral in 2015 en in 2021.

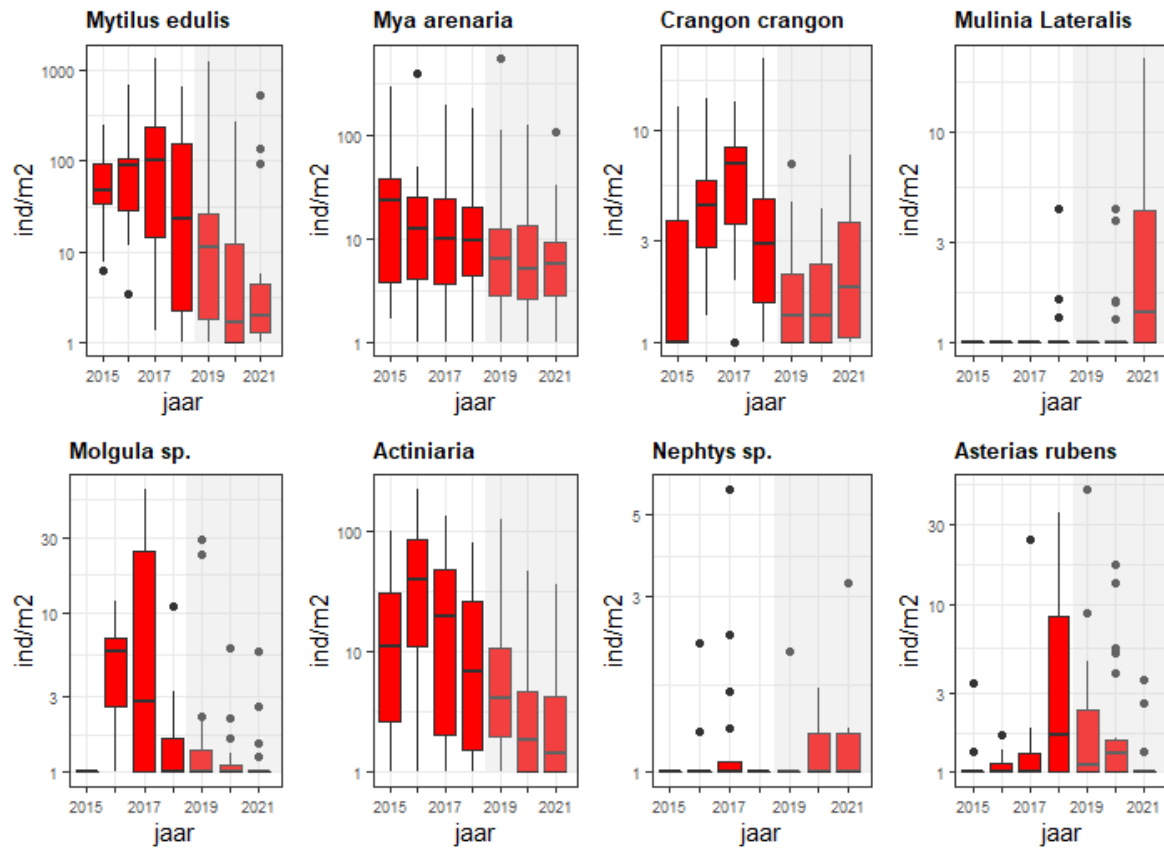
3.4.1.4 Vlieter

De soortensamenstelling is over de jaren significant veranderd (PRC: $p = 0,001$), zoals te zien in de ordinarieplot en de PRC-curve (Figuur 16). In de eerste jaren is vooral een sterke afname in de dichtheden van mosselen (*M. edulis*) en strandgapers (*M. arenaria*) te zien (Figuur 17). Dichtheden van kokkels (*C. edule*) zijn in 2015 al niet in erg hoog, maar nemen in latere jaren nog verder af. Soorten als garnalen (*C. crangon*), zandzagers (*Nephtys* sp.), Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*) en zakpijpen van het genus *Molgula* komen in 2015 niet of nauwelijks voor maar zijn in latere jaren in hogere dichtheden gevonden.

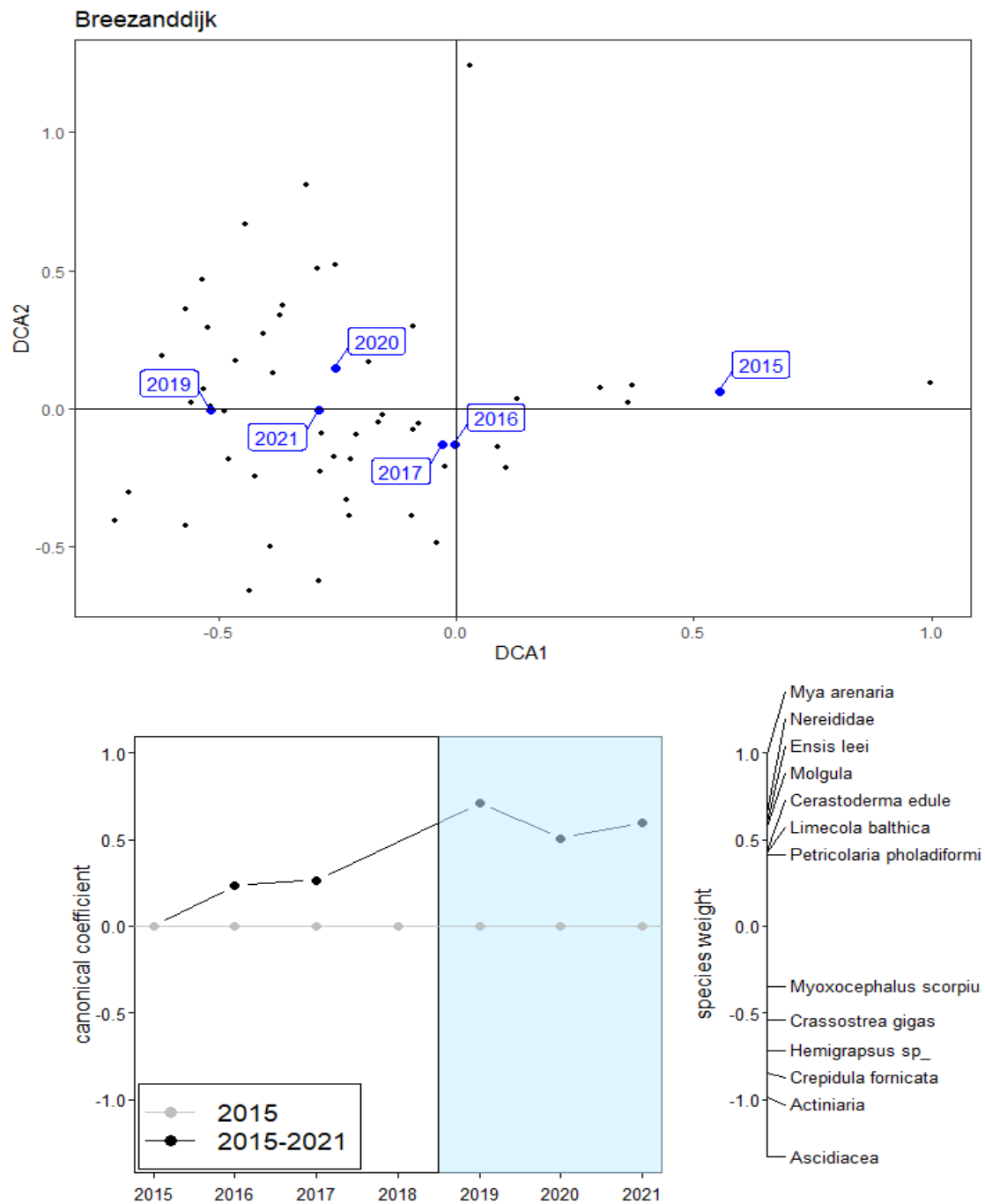


Figuur 10. Onderzoeksgebied Molenrak: ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling in de periode 2015-2021. Boven: DCA-plot met centroiden per jaar. Onder: PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet met de situatie in 2015. Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond).

Molenrak

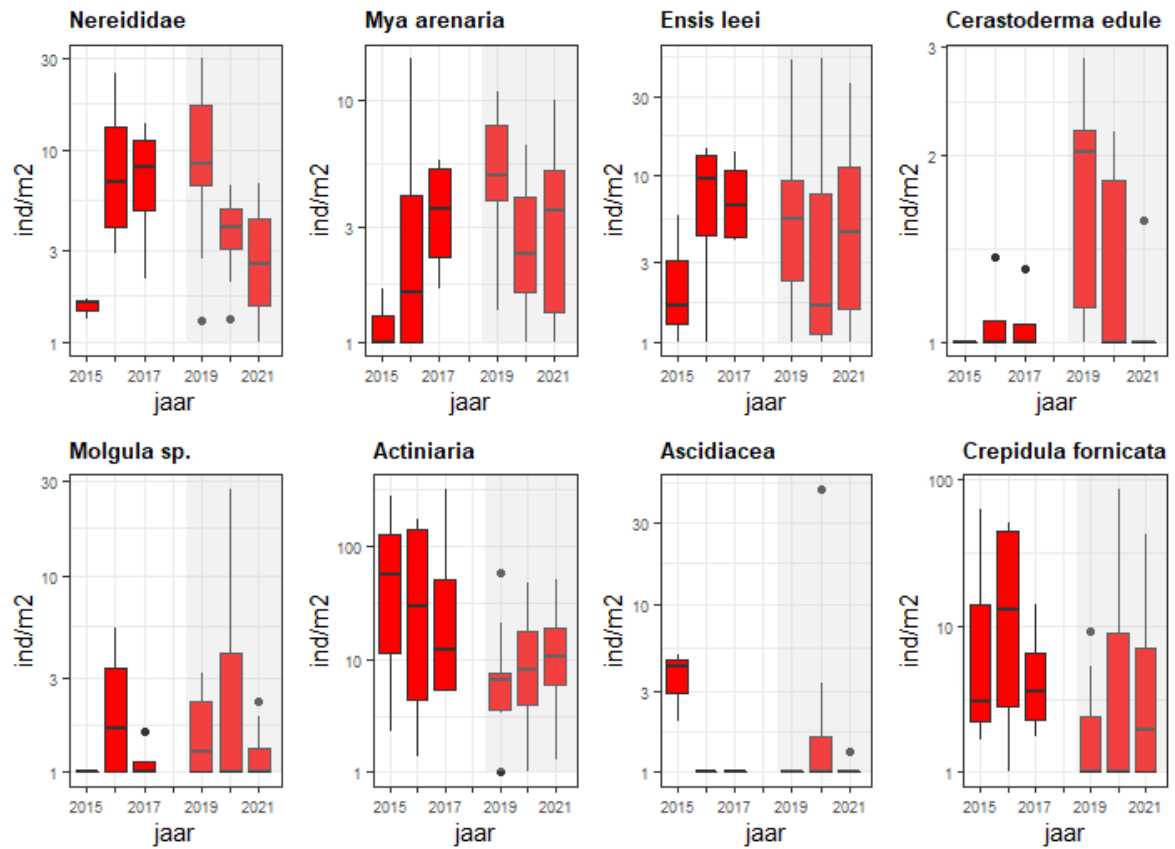


Figuur 11. . Ontwikkeling van een aantal soorten in het gesloten gebied van het Molenrak.

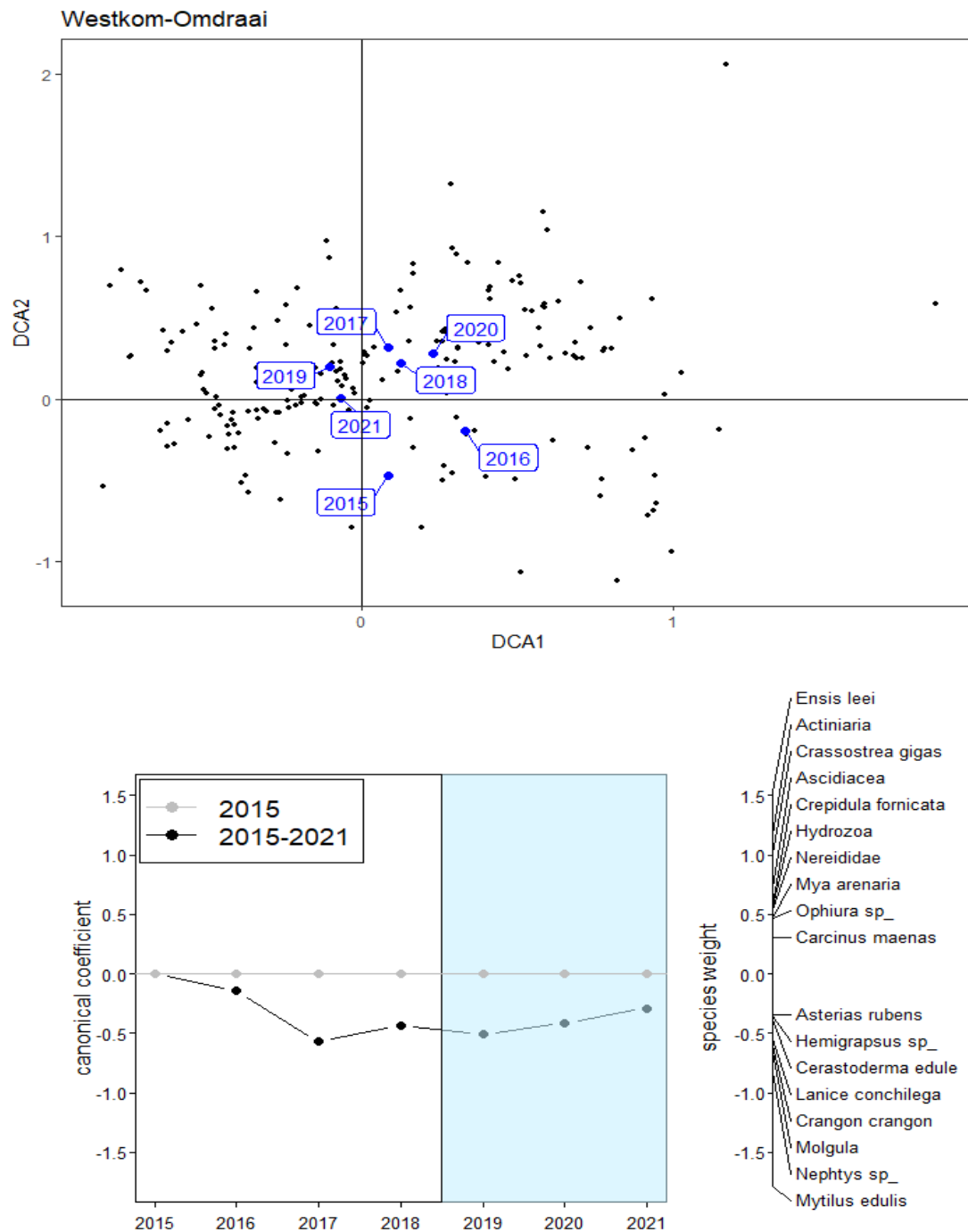


Figuur 12. Onderzoeksgebied Breezanddijk: ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling in de periode 2015-2021. Boven: DCA-plot met centroiden per jaar. Onder: PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet met de situatie in 2015. Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond).

Breezanddijk

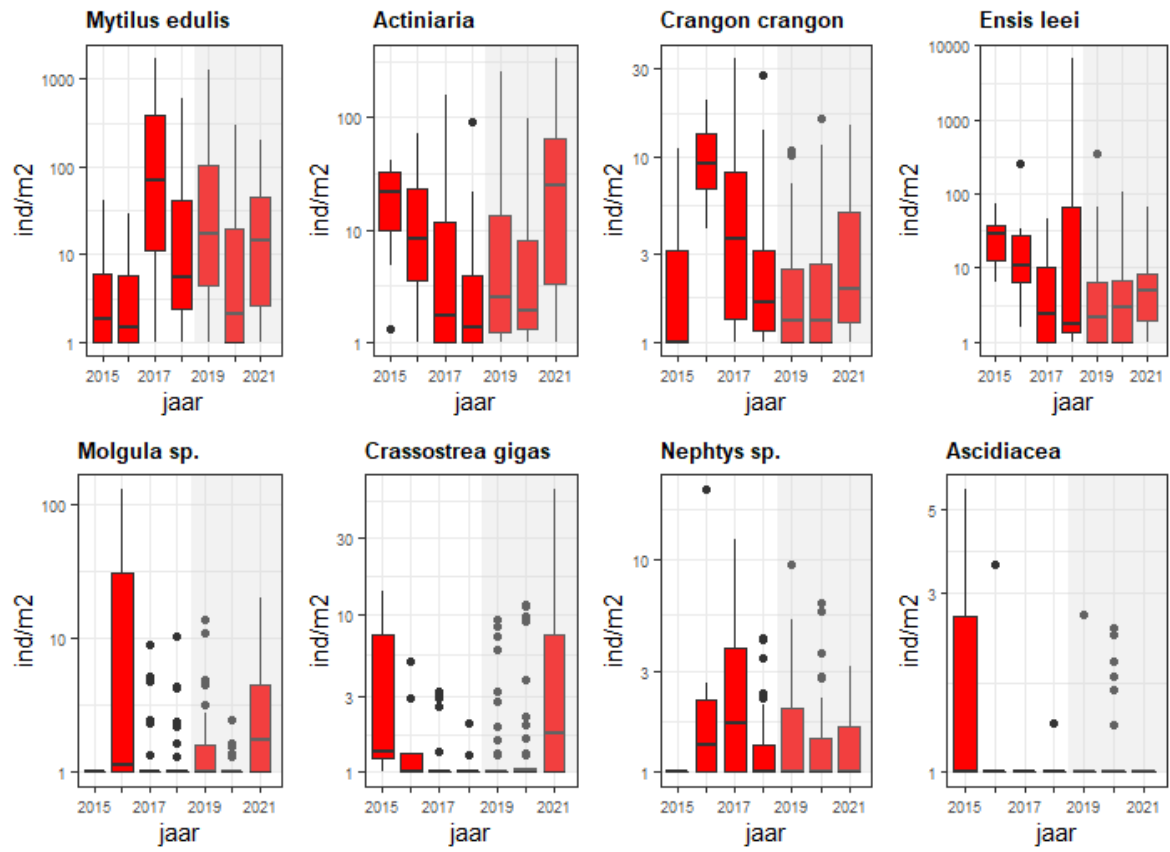


Figuur 13. Ontwikkeling van een aantal soorten in het gesloten gebied van Breezanddijk.. In 2018 is dit gebied niet bemonsterd.

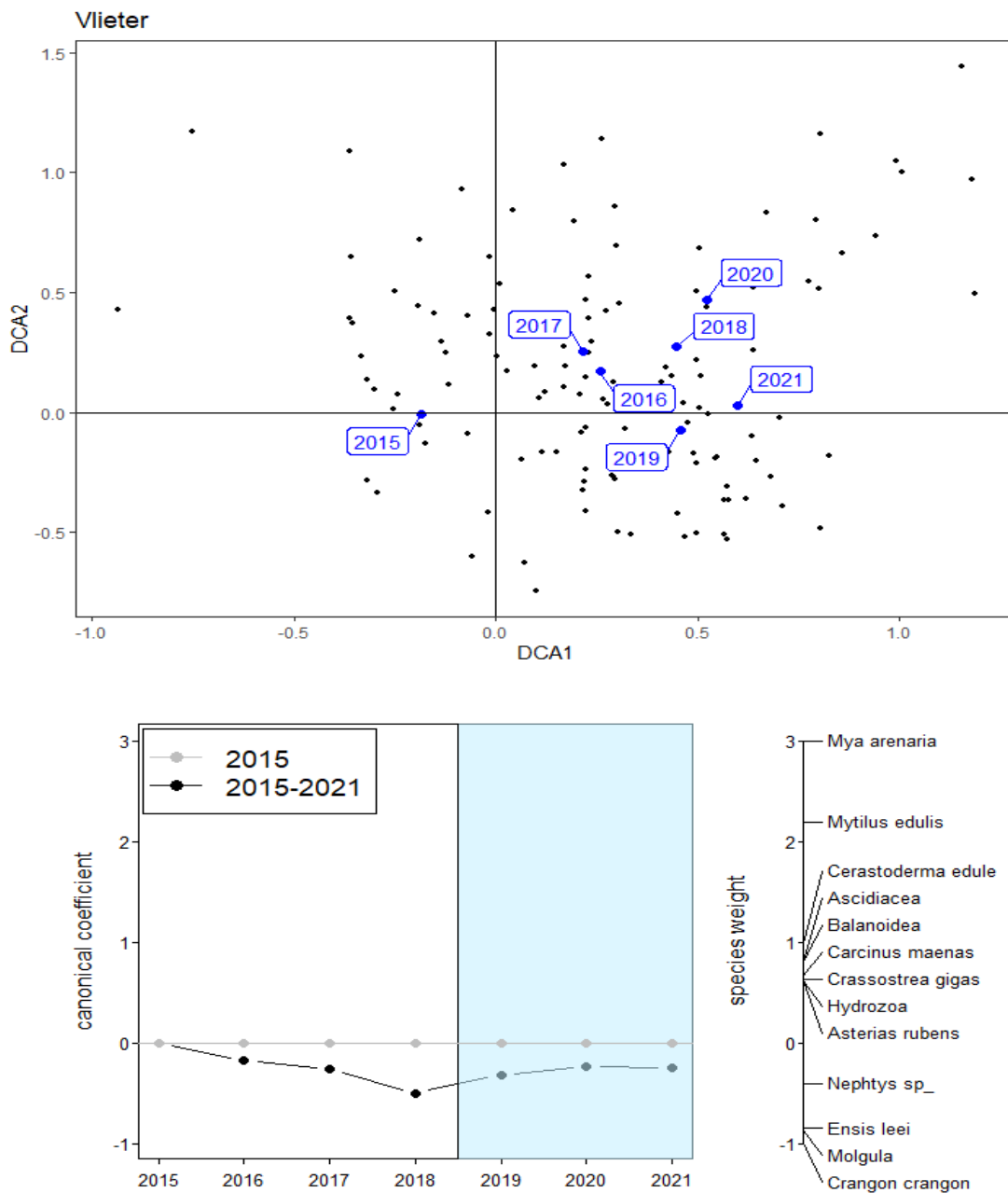


Figuur 14. Onderzoeksgebied Westkom-Omdraai: ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling in de periode 2015-2021. Boven: DCA_plot met centroïden per jaar. Onder: PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet met de situatie in 2015. . Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond).

Westkom-Omdraai

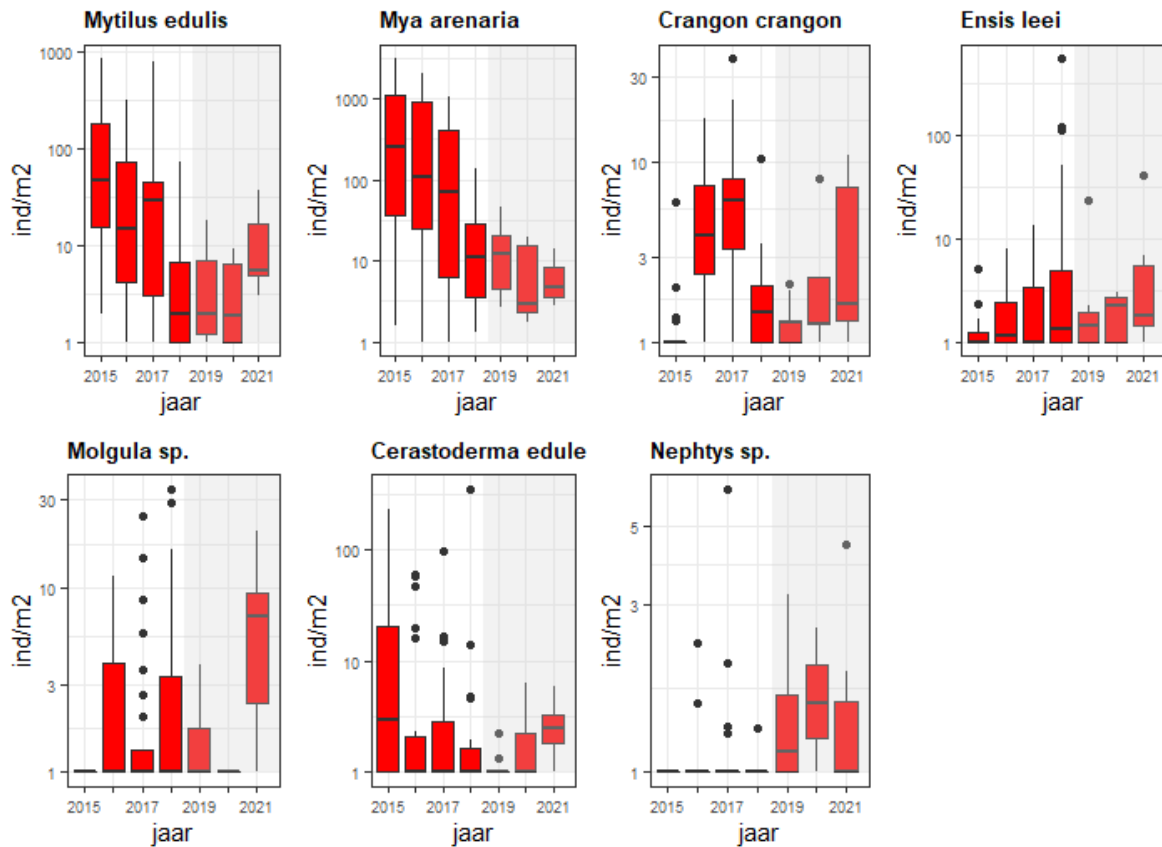


Figuur 15. Ontwikkeling van een aantal soorten in het gesloten gebied vande Westkom-Omdraai.



Figuur 16. Onderzoeksged Vlieter: ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling in de periode 2015-2021. Boven: DCA-plot met centroïden per jaar. Onder: PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet met de situatie in 2015. Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond).

Vlieter



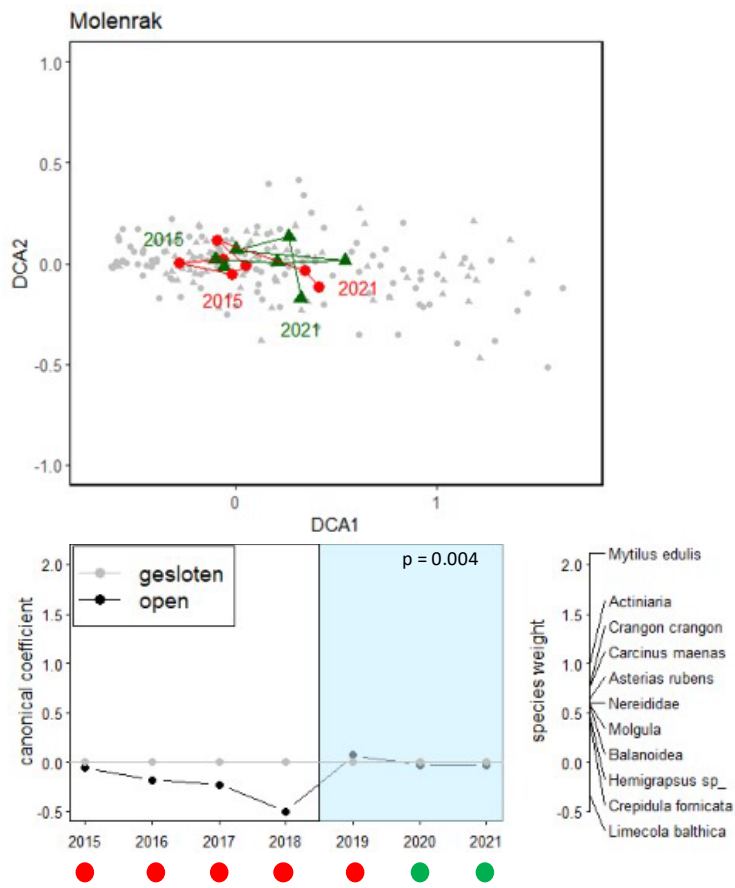
Figuur 17. Ontwikkeling van een aantal soorten in het gesloten gebied van de Vlieter.

3.4.2 Vergelijking gebieden open en gesloten voor mosselzaadvisserij

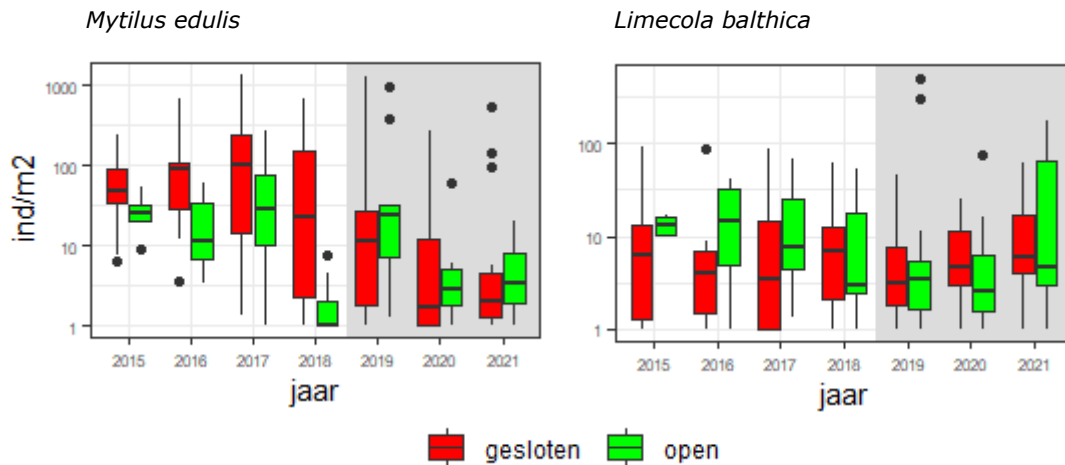
Omdat er significante verschillen in soortensamenstelling en dichtheden zijn tussen de onderzoeksgebieden zijn de analyses apart voor elk onderzoeksgebied uitgevoerd.

3.4.2.1 Molenrak

De bodemdiergemeenschap in open en gesloten delen van onderzoeksgebied Molenrak was bij aanvang van het onderzoek redelijk vergelijkbaar (Figuur 18). Over alle jaren heen –werden de verschillen groter, met de grootste verschillen in 2018. Dat is vooral in de PRC-plot goed te zien. Na 2019, na herziening van het monsterprogramma (nieuwe monsterlocaties op nieuwe zaadbanken), is de bodemfauna in open en gesloten deel weer erg gelijk. De PRC-plot laat zien dat *M. edulis* (mossel) en *L. balthica* (nonnetje) de meeste invloed hebben op het verschil tussen de behandeling (open vs gesloten), vanaf de start van het onderzoek. Bij de lagere dichtheden mosselen in de eerste jaren (Figuur 19) horen ook lagere dichtheden van geassocieerde soorten als Actiniaria (zee-anemonen) en *C. maenas* (strandkrab). In het open gebied nemen mosselen weer toe in 2019, uiteraard veroorzaakt door de ligging van nieuwe monsterpunten in het open gebied, op mosselbanken.

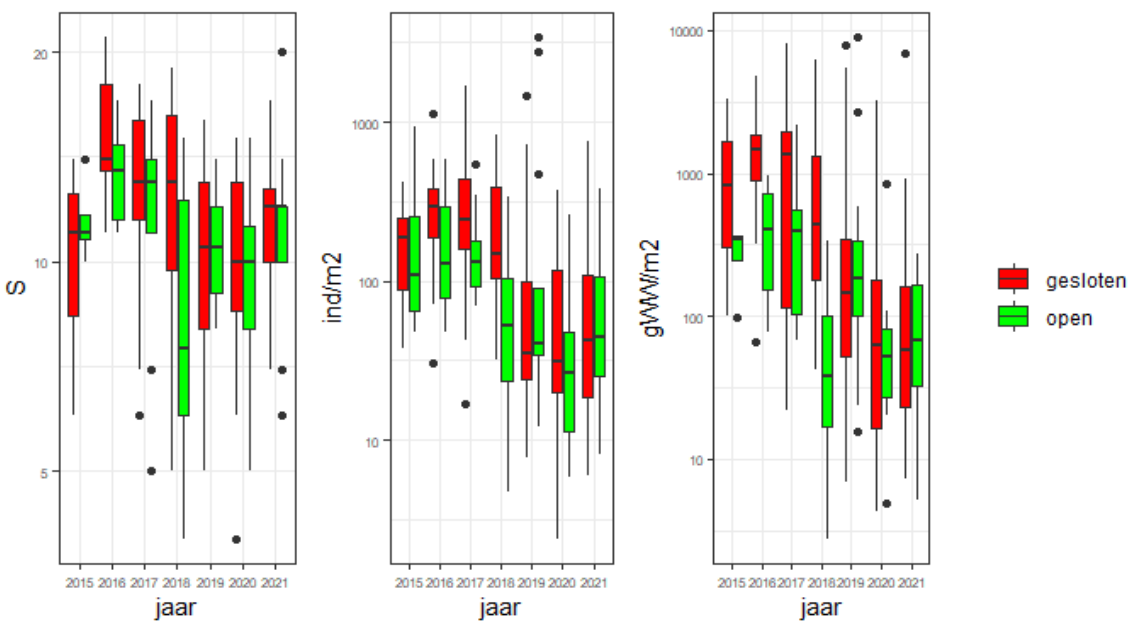


Figuur 18. Onderzoekgebied Molenrak. Boven: DCA-plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar; onder: de bijbehorende PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld. Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond). Met de stippen is aangegeven of er in het open gebied in het voorafgaande jaar op mosselzaad gevist is (rood) of niet (groen).



Figuur 19. Onderzoeksgebied Molenrak. De ontwikkeling van dichtheden van *M. edulis* en *L. balthica* in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden, weergegeven als box-plots.

De soortenrijkdom (aantal taxa per monsterpunt) laat geen duidelijk verschil in ontwikkeling tussen open en gesloten gebieden zien. In de beginjaren liggen de waarden in de gesloten gebieden iets hoger dan in de open gebieden (met name in 2018), maar dat verschil verdwijnt in de latere jaren. (Figuur 20). Hetzelfde geldt voor de totale biomassa.



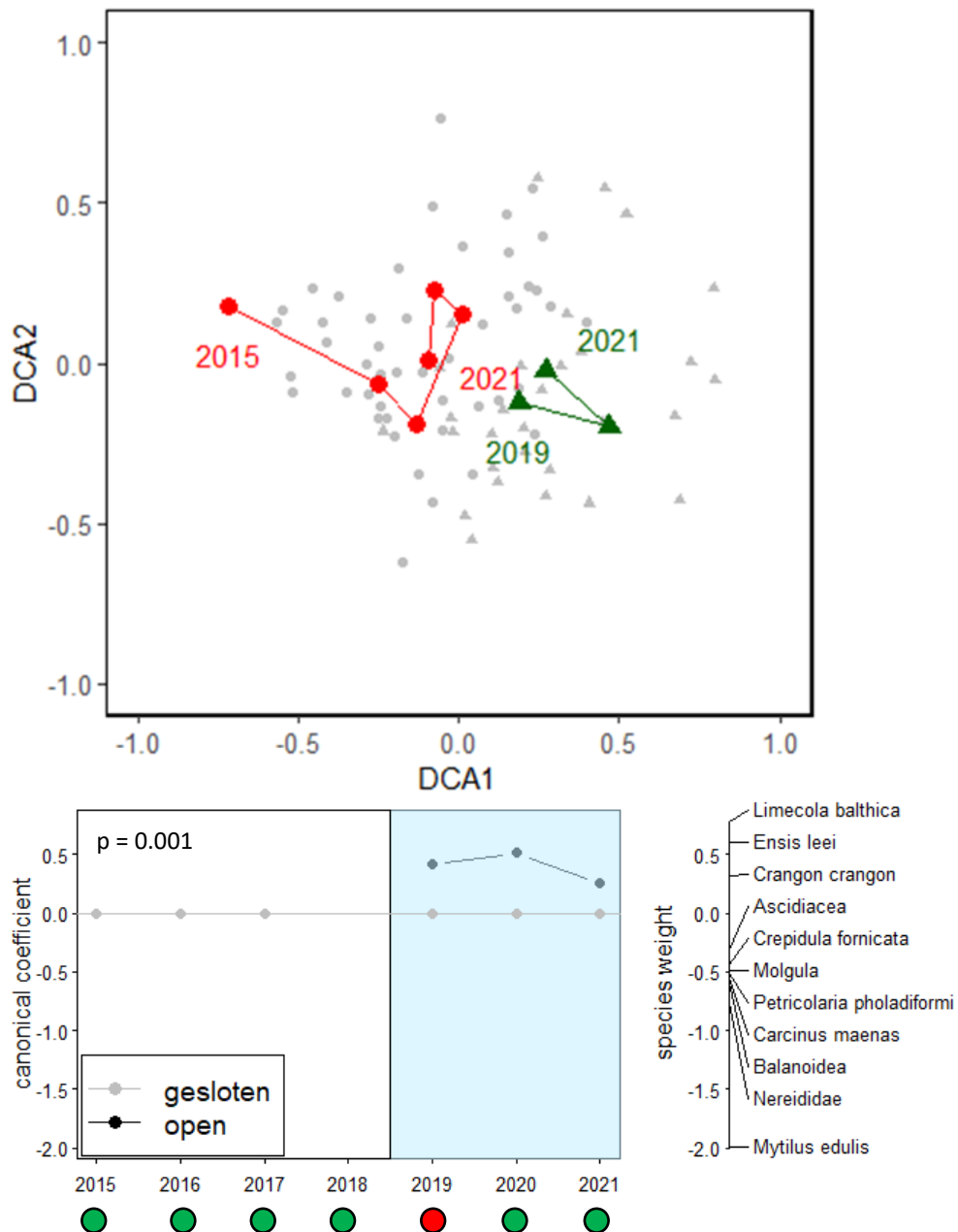
Figuur 20. Onderzoeksgebied Molenrak. De ontwikkeling in soortenrijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt (S), het aantal individuen per monsterpunt (ind/m^2) en de totale biomassa per monsterpunt (gWW/m^2). NB: in de totale biomassa zijn twee zeer abundante soorten niet opgenomen omdat van deze soorten geen intacte individuen worden aangetroffen (*M. arenaria* en *E. leei*).

3.4.2.2 Breezanddijk

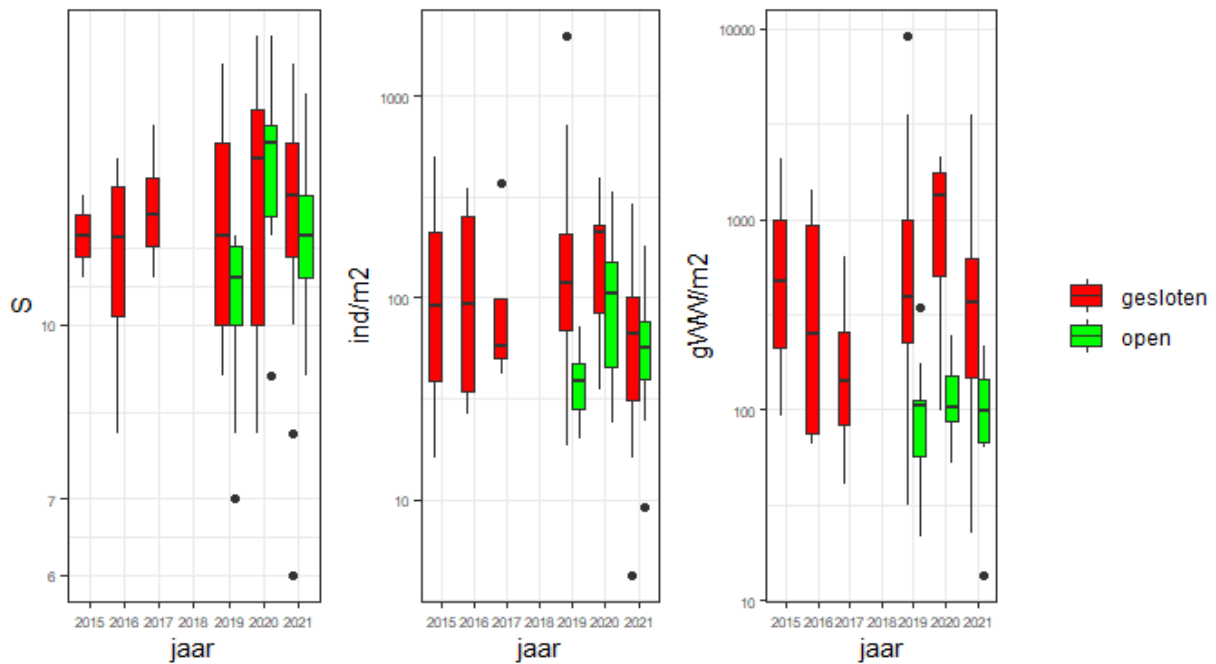
In het DCA-plot (Figuur 21) is te zien dat in de bodemfauna van het open en het gesloten gebied verschillen in de jaren waarin in beide gebieden monsters genomen zijn (vanaf 2019). In de PRC-plot wordt bevestigd dat er een significant verschil is tussen het gesloten en open gebied, maar de verschillen blijven ongeveer gelijk. 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 o.a. *L. balthica* (nonnetje), *E. leei* (Amerikaanse zwaardschede), *M. edulis* (mossel), Balanoidea (zeepokken) en *C. maenas* (strandkrab).

In de jaren 2019-2021 verloopt de ontwikkeling van het aantal soorten, de gemiddelde dichtheid en de gemiddelde biomassa in open en gesloten delen gelijk (Figuur 22). Wel is de dichtheid en de biomassa hoger in het gesloten gebied.



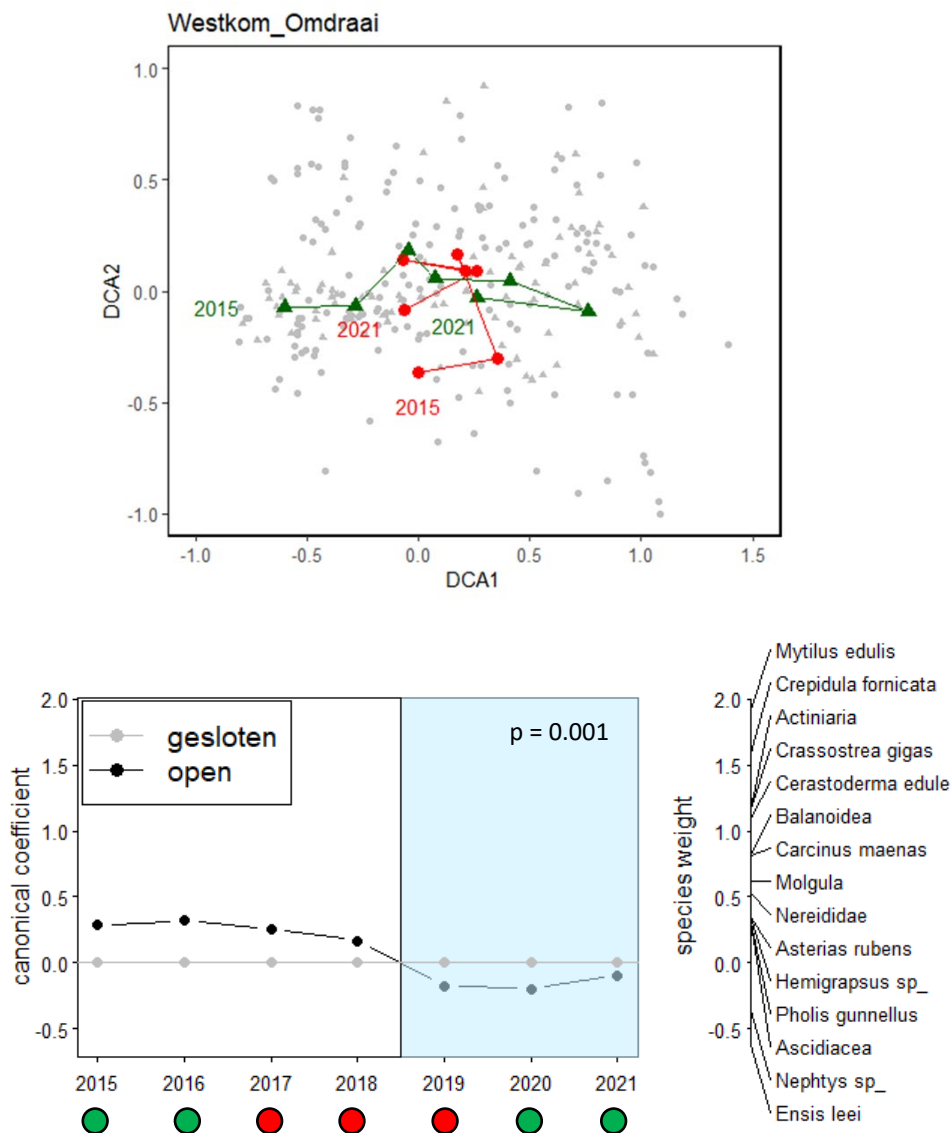
Figuur 21 Onderzoeksgedebied Breezanddijk. Boven: DCA-plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar; onder: de bijbehorende PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld. Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond). Met de stippen is aangegeven of er in het open gebied in het voorafgaande jaar op mosselzaad gevestigd is (rood) of niet (groen).



Figuur 22. Onderzoeksgebied Breezanddijk. De ontwikkeling in bodemdierrijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt (S), het aantal individuen per monsterpunt (ind/m^2) en de totale biomassa per monsterpunt (gWW/m^2). 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*).

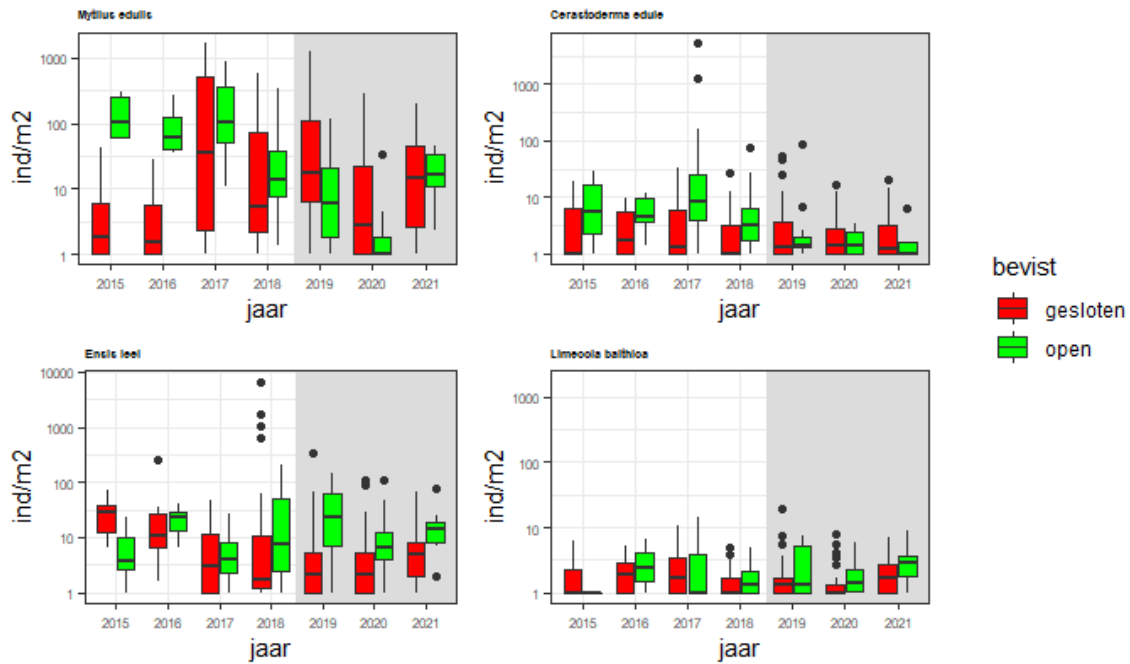
3.4.2.3 Westkom-Omdraai

In het onderzoeksgebied Westkom-Omdraai waren er al verschillen van bij het begin van het onderzoek, maar de veranderingen zoals te zien in de DCA-plot lijken grotendeels parallel te lopen (Figuur 23). De PRC-plot laat de significante verschillen echter duidelijker zien. Het verschil te zien in 2015 is in de periode tot 2018 langzamer wat kleiner geworden, vooral gelinkt aan een afname van mosselen in het open gebied en een toename in het gesloten gebied (hoogste absolute waarde van species weight). Ook *C. edule* (kokkel) kwam in de eerste jaren in hogere dichtheden voor in het open gebied, maar de verschillen waren kleiner in 2018 (Figuur 24). Na 2018 zien we dat de dichtheden van de kokkel in open en gesloten gebied niet verschillen. De dichtheden van mosselen zijn in deze periode ook vrij gelijk, en soms iets lager in het open gebied. Daarnaast zien we de laatste jaren in het open gebied hogere dichtheden van *E. leei* (Amerikaanse zwaardschede), terwijl de dichtheden in de eerdere jaren eerder hoger waren in het gesloten gebied. Dichtheden van *L. balthica* (nonnetje) zijn relatief laag en verschillen in 2015 tussen het gesloten en het open gebied. Daarna werd het verschil kleiner door aanwas in vooral het open gebied. Net zoals voor het Molenrak geldt ook hier dat er in 2019 nieuwe mosselbanken bemonsterd zijn in het nog overgebleven open gebied. Voorheen lagen de monsterpunten, zowel om het open als in het gesloten gebied, in oude mosselbanken. In jonge banken worden geen oesters en minder pokken en zakpijpen gevonden. Ook dit zal voor een groot deel meespelen bij de sprong in het PRC-plot in 2019.

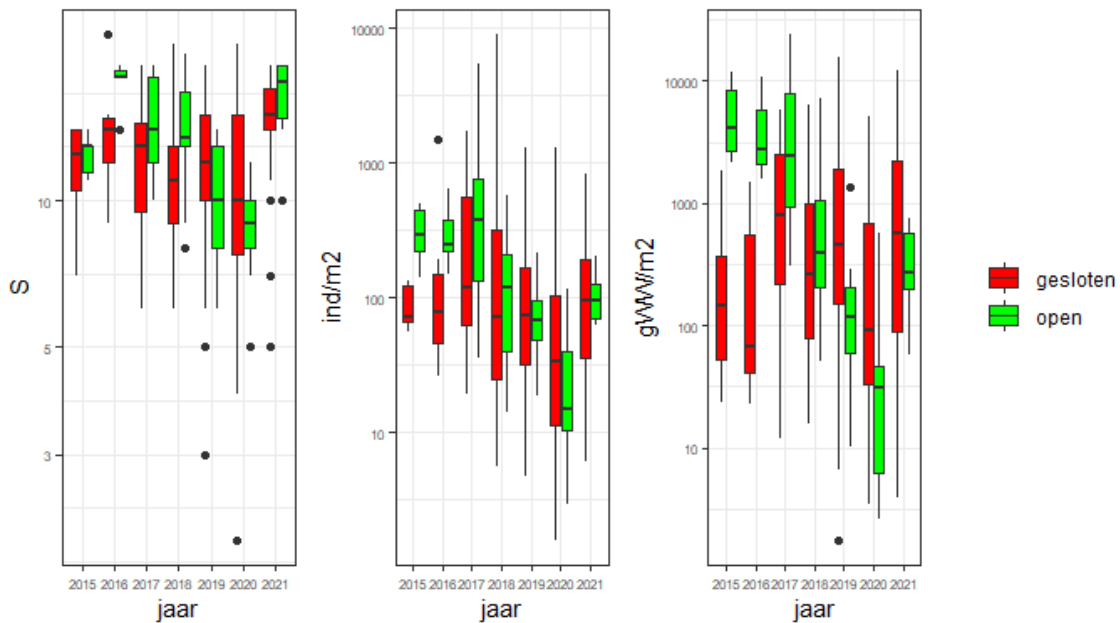


Figuur 23. Onderzoeksgebied Westkom-Omdraai. Boven: DCA-plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar; onder: de bijbehorende PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld. Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond). Met de stippen is aangegeven of er in het open gebied in het voorafgaande jaar op mosselzaad gevist is (rood) of niet (groen).

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 (Figuur 25). Verschillen zijn daarna kleiner geworden vooral als gevolg van een afname in de dichtheden (aantal en biomassa) in het open gebied. In 2020 waren totale dichtheid en biomassa lager in open dan in gesloten.



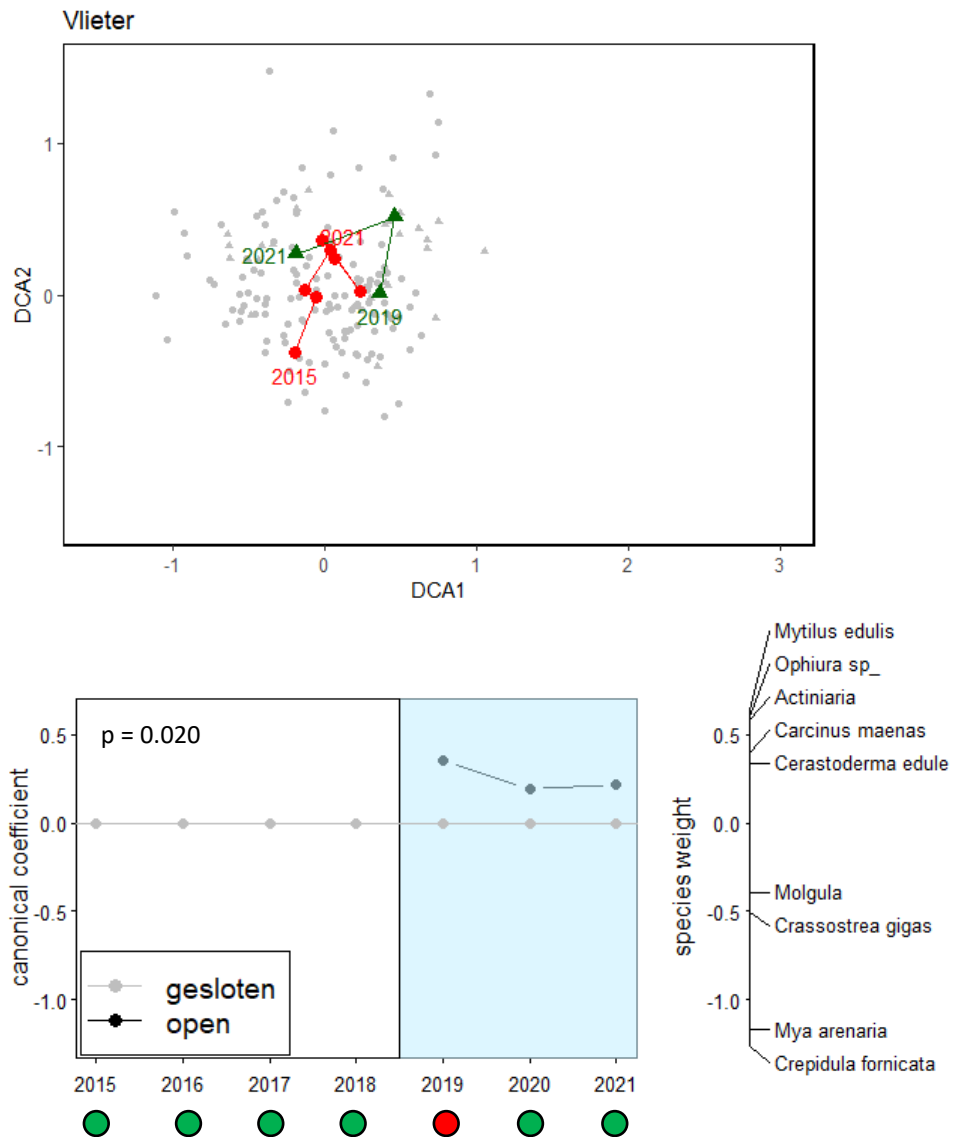
Figuur 24. Onderzoeksgebied Westkom-Omdraai. De ontwikkeling van dichtheden van *M. edulis*, *C. edule*, *E. leei* en *L. balthica* in de voor mosselzaadvisserij gesloten en open gebieden, weergegeven als box-plots.



Figuur 25. Onderzoeksgebied Westkom-Omdraai. De ontwikkeling in soortenrijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt (S), het aantal individuen per monsterpunt (ind/m^2) en de totale biomassa per monsterpunt (gWW/m^2). 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*).

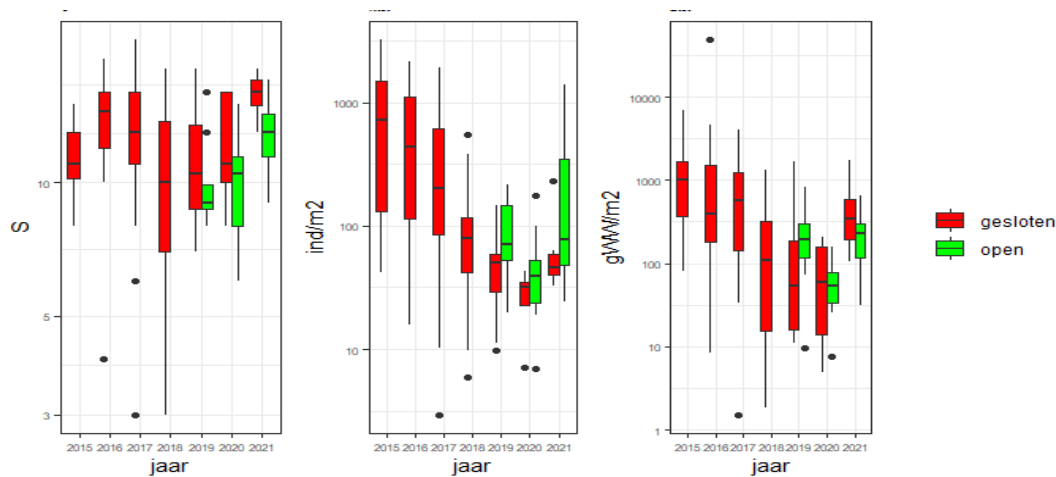
3.4.2.4 Vlieter

Een vergelijking van open en gesloten delen is pas de laatste 3 jaar mogelijk. Daarbij zien we dat er geen significante verschillen zijn over deze periode (Figuur 26). Soorten die enig verschil uitmaken, zijn mosselen (*M. edulis*) en geassocieerde soorten, die in hogere aantallen in open gebied voorkomen.



Figuur 26. Onderzoeksgebied Vlieter. Boven: DCA-plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar; onder: de bijbehorende PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld. Vanaf 2019 is het gesloten gebied vergroot (aangegeven met blauwe achtergrond Met de stippen is aangegeven of er in het open gebied in het voorafgaande jaar op mosselzaad gevist is (rood) of niet (groen).

In onderzoeksgebied Vlieter het aantal soorten per monsterpunt in het open gebied iets lager dan in het gesloten gebied, maar in beide is een toename te zien in de periode 2019-2021 (Figuur 27.) Het aantal individuen per oppervlakte-eenheid is hoger in open gebied, maar verschillen tussen laten hetzelfde patroon zien tussen jaren.



Figuur 27. Onderzoeksgebied Vlieter. De ontwikkeling in bodemdierrijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt (S), het aantal individuen per monsterpunt (ind/m^2) en de totale biomassa per monsterpunt (gWW/m^2). 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*).

3.5 Ontwikkeling van de bodemfauna in de voor garnalenvisserij gesloten gebieden

Omdat er significante verschillen in soortensamenstelling en dichtheden zijn tussen de onderzoeksgebieden zijn, zoals bij de analyses naar voor mosselzaadvissersij gesloten gebieden, de analyses per onderzoeksgebied uitgevoerd. Bij de vernieuwing van de monsteropzet in 2019 is besloten om de vergelijking open/gesloten voor garnalenvisserij te concentreren op de volgende onderzoeksgebieden: Molenrak, Vlieter en Eierlandse gat. In de periode 2015-2018 zijn ook punten in de gebieden Breezanddijk en Westkom-Omdraai bemonsterd. De ontwikkeling van bodemdieren in deze gebieden is beschreven door Troost et al (2019) en maakt verder geen onderdeel uit van voorliggend rapport.

3.5.1 Ontwikkeling in de gesloten gebieden

3.5.1.1 Onderzoeksgebied Molenrak

De soortensamenstelling is in verschillende jaren significant verschillend (PRC: $p = 0,003$) (Figuur 28). De dichtheden van het nonnetje (*L. balthica*), de strandgaper (*M. arenaria*), de Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*) en hydroïdpoliepen (Hydrozoa) zijn over de jaren afgenomen (Figuur 29). Andere soorten, zoals garnalen (*C. crangon*), zee-anemonen (Actiniaria) en kokkels (*C. edule*) hadden veelal in 2015 de laagste dichtheden, op kokkels na met de laagste mediane dichtheid in 2019. In het PRC-diagram blijkt dat de soortensamenstelling in 2019 weer meer op deze van 2015 leek (Figuur 28).

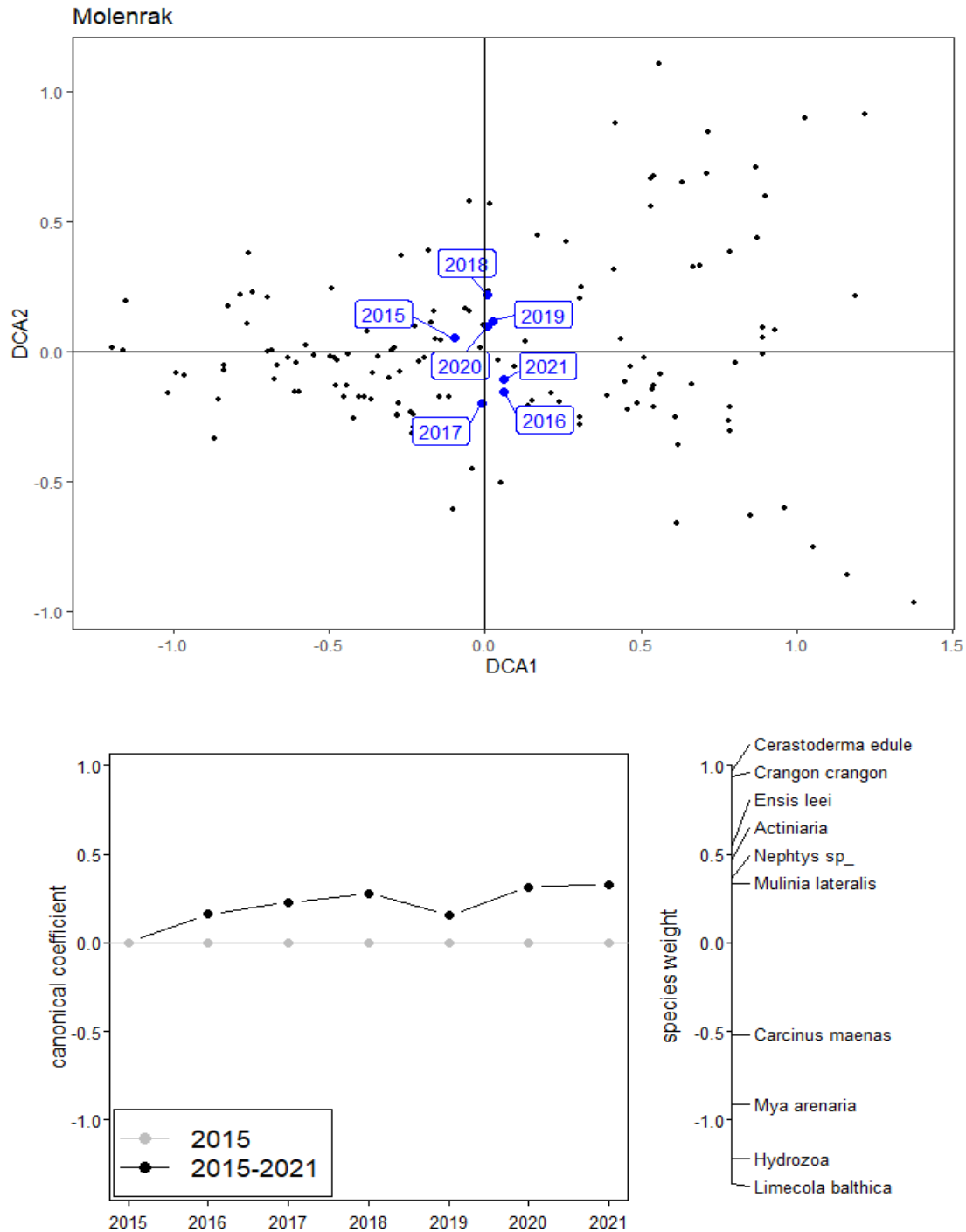
3.5.1.2 Vlieter

De soortensamenstelling is over de tijd significant veranderd (PRC: $p = 0,001$), zoals te zien in het ordinatieplot en de PRC-curve (Figuur 30). Dichtheden van mosselen (*M. edulis*), kokkels (*C. edule*), zeeduizendpoten (Nereididae) en strandgapers (*M. arenaria*) nemen af (Figuur 31). Garnalen (*C. crangon*) en Amerikaanse zwaardscheden (*E. leei*) name eerst toen, daarna af, maar de dichtheid is nog steeds hoger dan in 2015. Andere soorten kwamen in de hoogste dichtheid in een of meerdere van de laatste jaren voor, bijv. het muiltje (*C. fornicata*) en de Amerikaanse strandschelp (*M. lateralis*). Een aantal soorten zijn uitsluitend in 2020 gevonden, bijv. de wapenworm (*S. armiger*), de schelpkokerworm (*L. conchilega*) en de wadpier (*A. marina*) maar in lage aantallen. Hun gewicht in de

PRC-analyse is klein (max. 0,05) en daarom niet in het PRC-diagram getoond. In de DCA-analyse spelen deze soorten een grotere rol, en daarom ligt 2020 in het ordinatiediagram helemaal rechts.

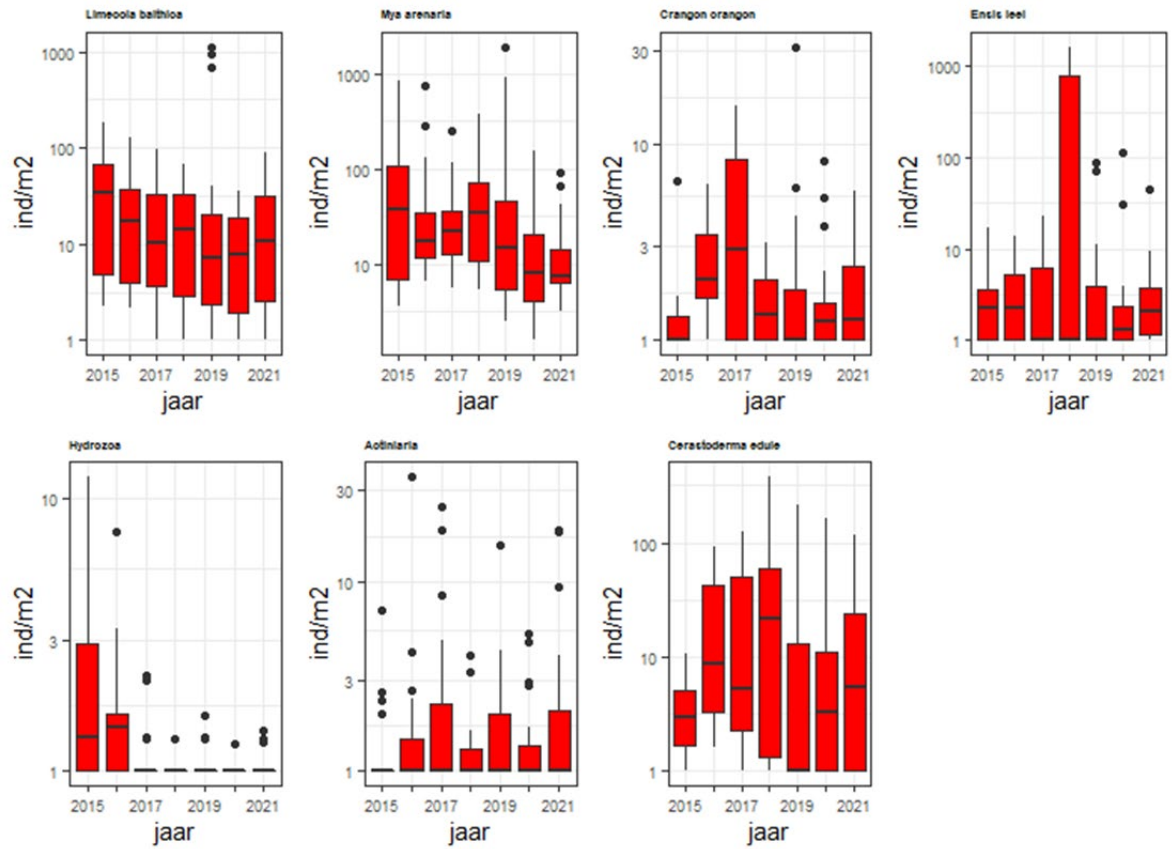
3.5.1.3 Eierlandsegat

De verschillen in soortensamenstelling in de tijd zijn niet significant (PRC: $p = 0,329$) (Figuur 32). Sommige soorten, met name de kokkel (*C. edule*), werd wel vooral in 2015 gevonden (Figuur 33). Andere soorten, zoals garnalen (*C. crangon*) en de Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*) zijn in latere jaren in hogere dichtheden aangetroffen.

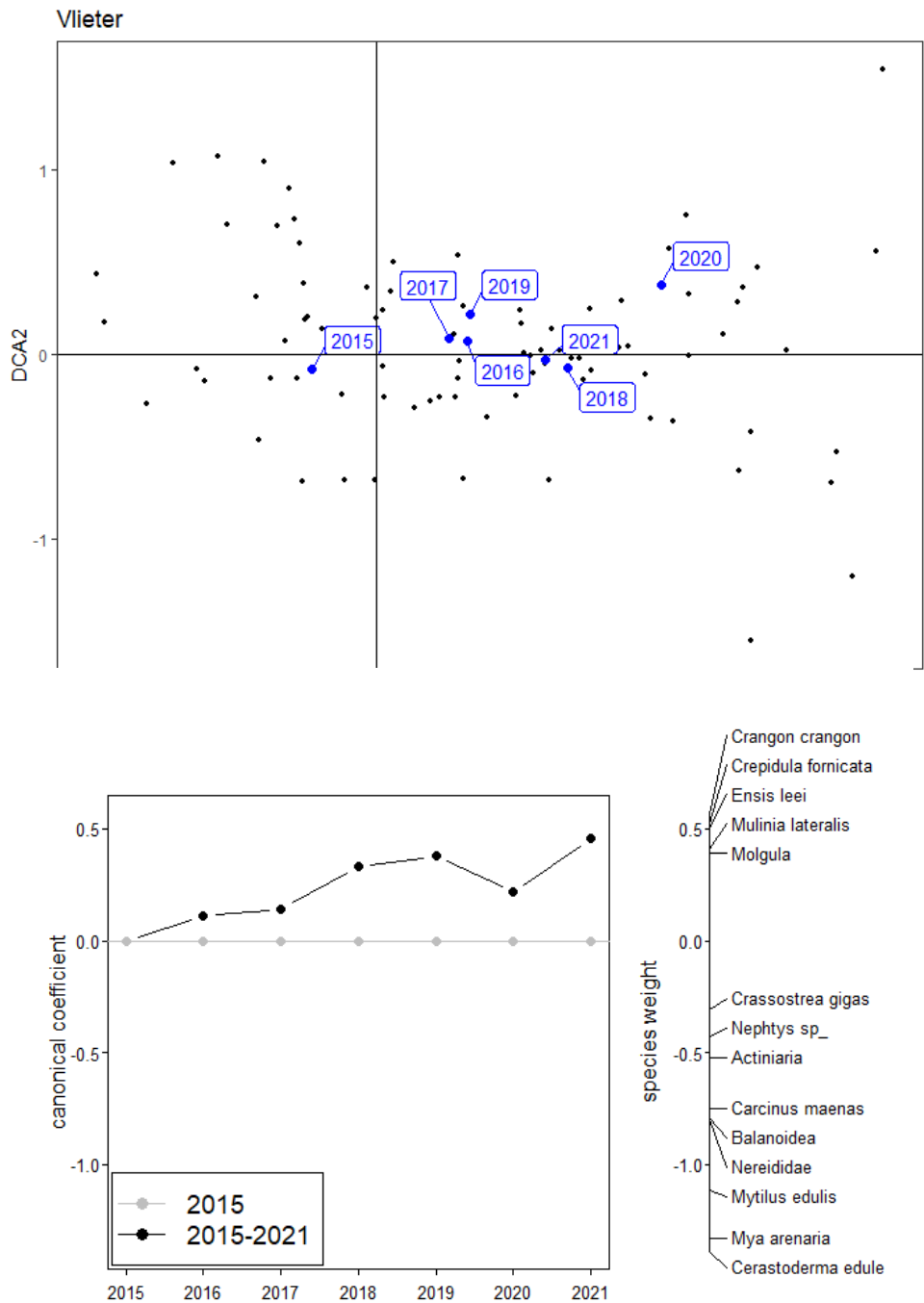


Figuur 28. Onderzoeksgedebied Molenrak: ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling in de periode 2015-2021. Boven: DCA-plot met centroiden per jaar. Onder: PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet met de situatie in 2015.

Molenrak

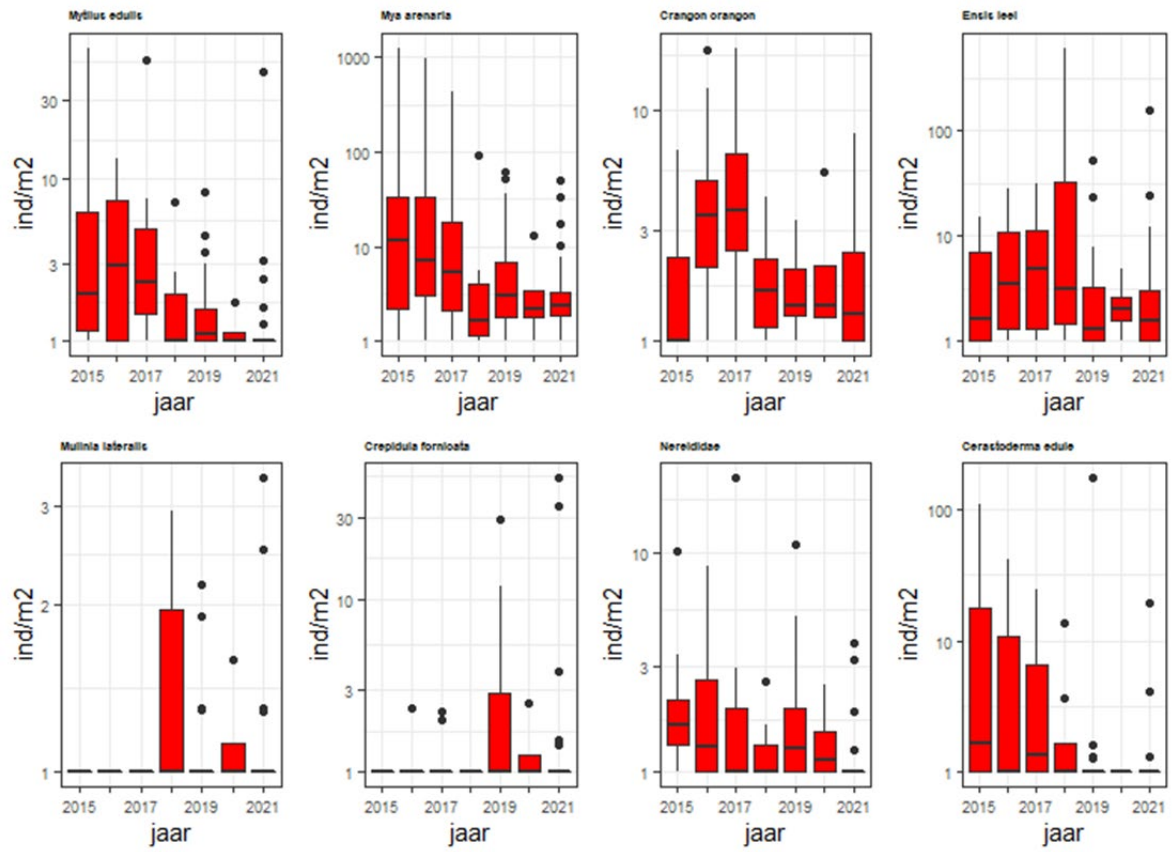


Figuur 29. Onderzoeksg gebied Molenrak. Ontwikkeling van een aantal soorten in het gesloten gebied.

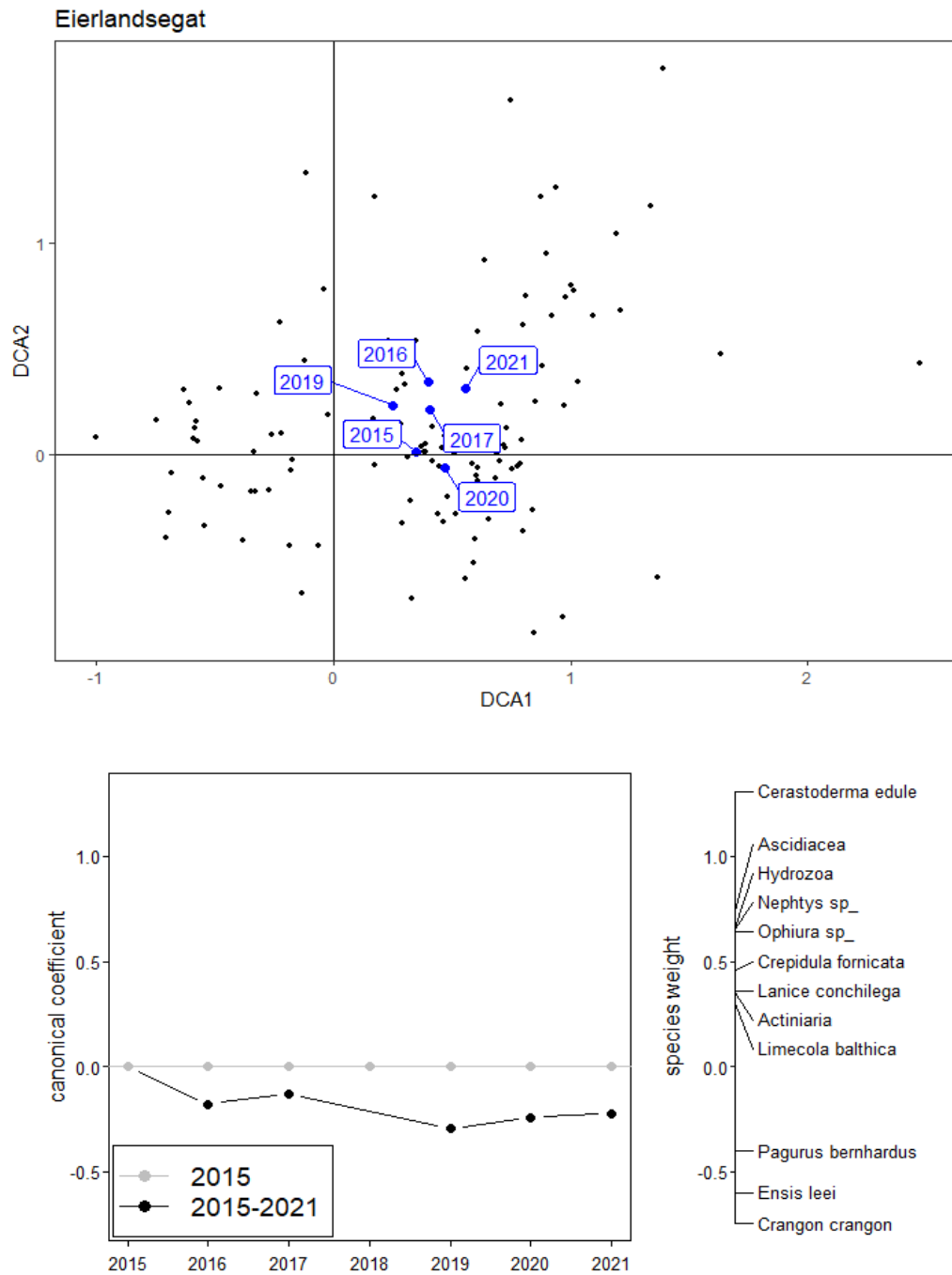


Figuur 30. Onderzoeksg gebied Vlieter: ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling in de periode 2015-2021. Boven: DCAplot met icentroïdencentroïden per jaar. Onder: PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet met de situatie in 2015

Vlieter

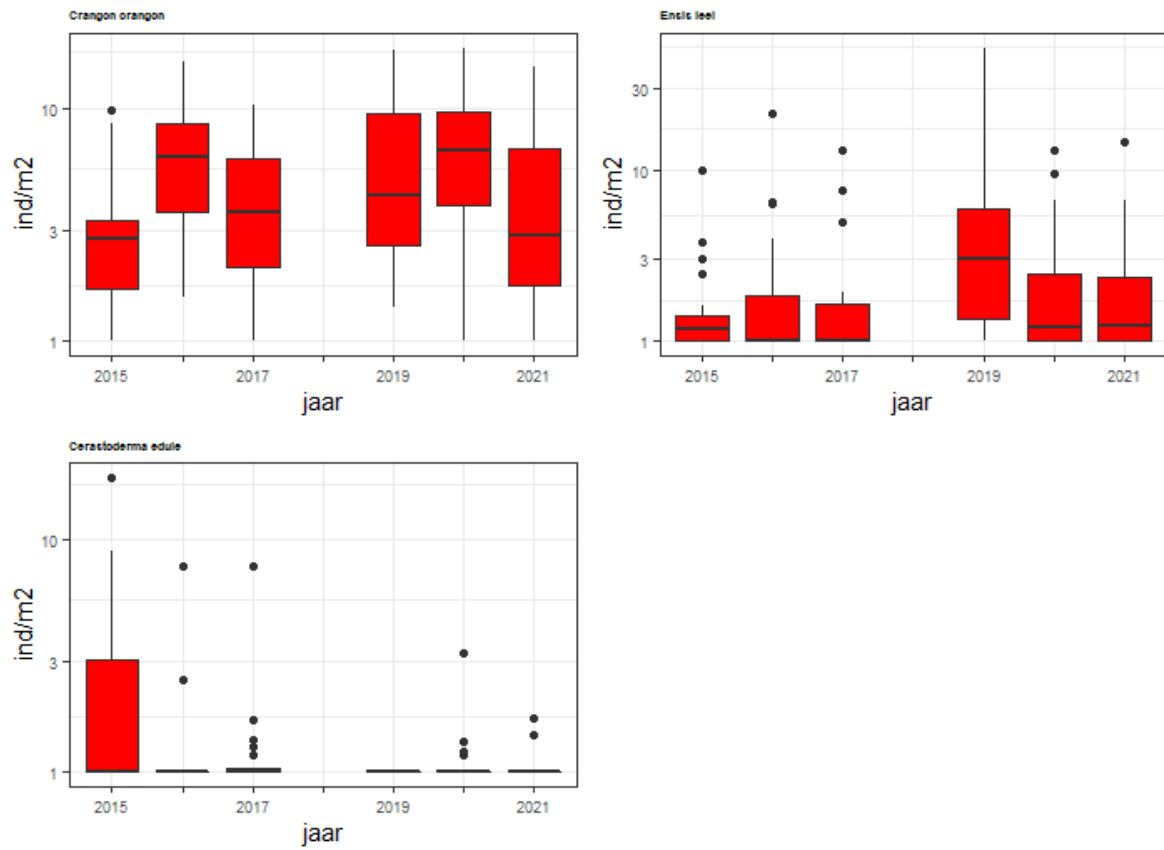


Figuur 31. Ontwikkeling van een aantal soorten in het gesloten gebied van de Vlieter.



Figuur 32. Onderzoeksgedebied Eierlandsegat: ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling in de periode 2015-2021. Boven: DCA_plot met centroiden per jaar. Onder: PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet met de situatie in 2015. In 2018 is dit gebied niet bemonsterd.

Eierlandsegat

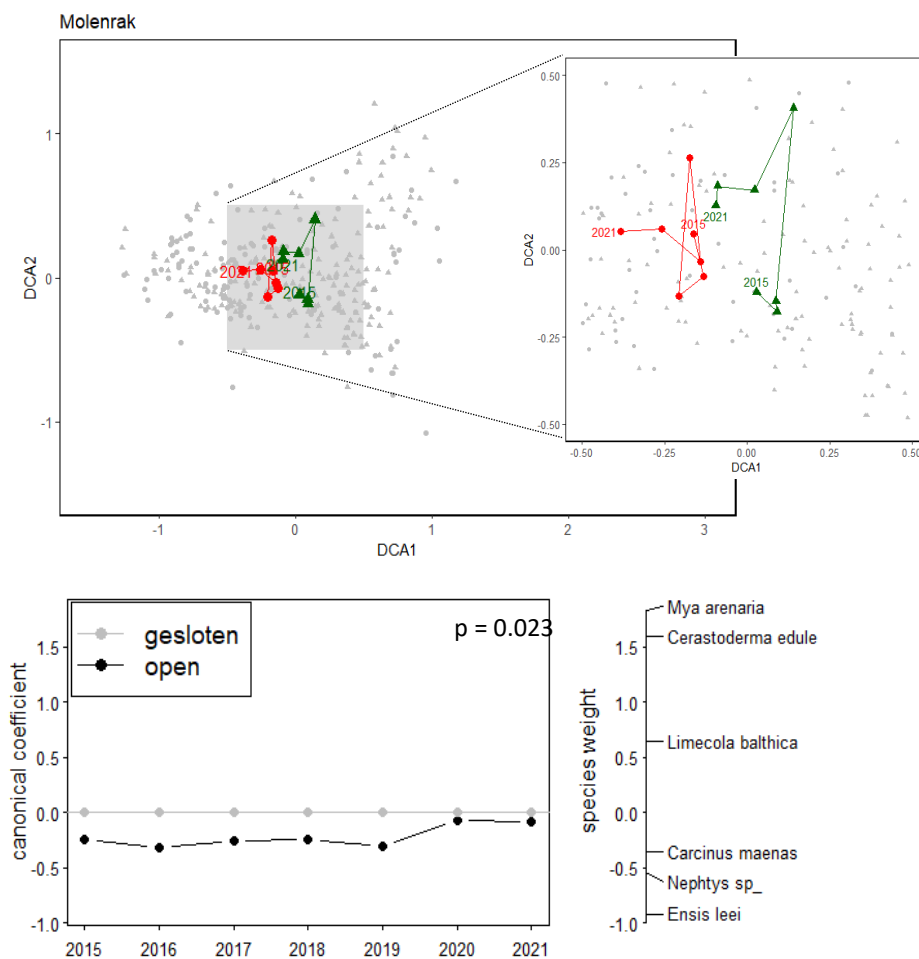


Figuur 33. Ontwikkeling van een aantal soorten in het gesloten gebied van het Eierlandsegat. In 2018 is dit gebied niet bemonsterd.

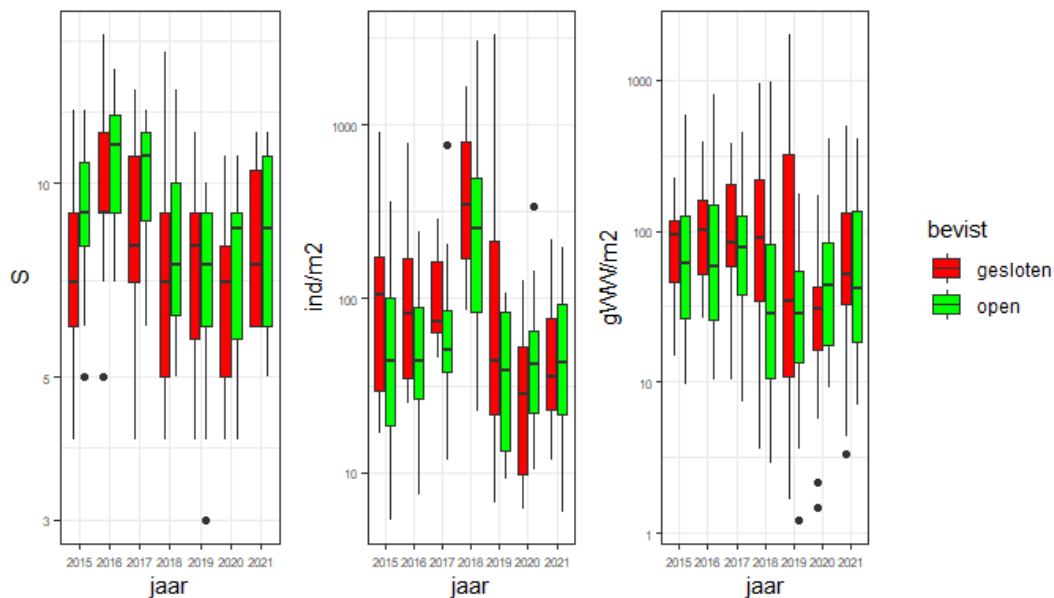
3.5.2 Vergelijking gebieden open en gesloten voor garnalenvisserij

3.5.2.1 Molenrak

De bodemfauna in voor garnalenvisserij open en gesloten delen van het onderzoeksgebied Molenrak is vanaf het begin van de onderzoeksperiode significant verschillend (Figuur 34). De laatste jaren lijkt de fauna wel meer op elkaar (zie PRC-figuur). De kokkel (*C. edule*) en de strandgaper (*M. arenaria*) kwamen in de eerste jaren (tot 2017/2018) in grotere dichtheden voor in gesloten dan in open gebied (Figuur 39, Figuur 42). De Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*) kwam vooral in de periode 2017-2019 meer voor in het open gebied (Figuur 41). De ontwikkeling in termen van aantal soorten, totale dichtheid en totale biomassa is gelijk (Figuur 35).



Figuur 34. Onderzoeksgebied Molenrak. Boven: DCA-plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar; onder: 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 35. Onderzoeksgebied Molenrak. De ontwikkeling in bodemdierrijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt (S), het aantal individuen per monsterpunt (ind/m^2) en de totale biomassa per monsterpunt (gWW/m^2). 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*).

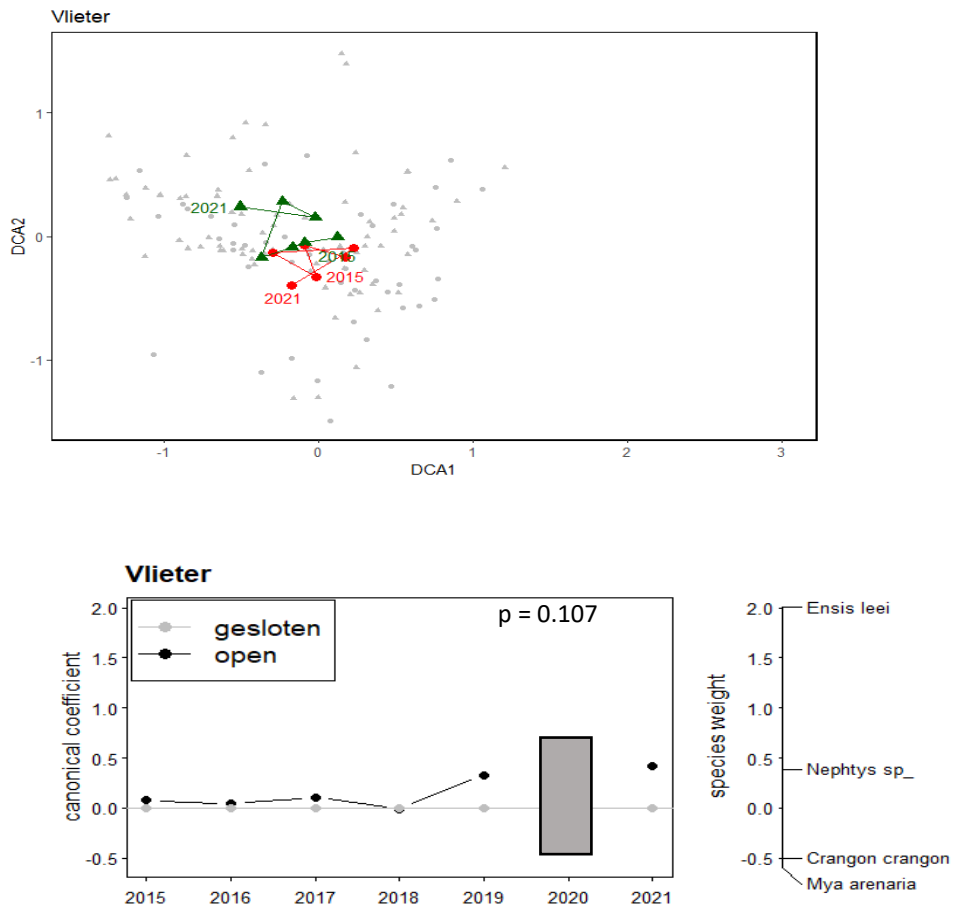
3.5.2.2 Vlieter

De DCA-plot lijkt te wijzen op verschillen tussen de bodemfauna in open en gesloten delen van onderzoeksgebied Vlieter (Figuur 36)³, maar dit verschil is niet significant. Wel lijken de laatste jaren meer verschillend dan de voorgaande jaren (PRC-plot), door iets hogere dichtheden van de Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*) vanaf 2019 (Figuur 41), en de wat kleinere verschillen in de dichtheden van de strandgaper (*M. arenaria*) (Figuur 42).

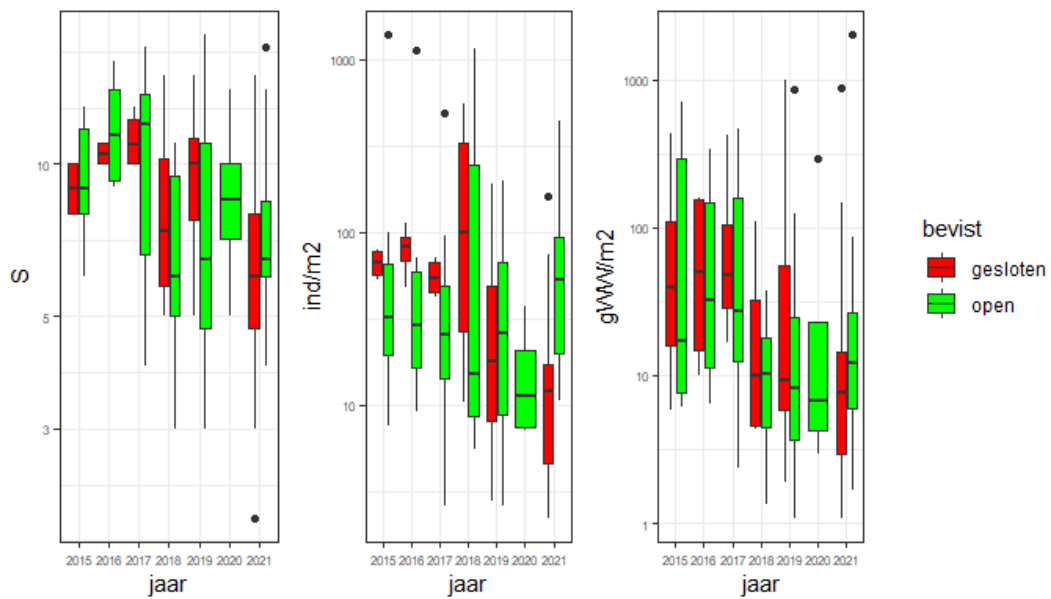
3.5.2.3 Onderzoeksgebied Eierlandsegat

De bodemfauna in open en gesloten delen van het Eierlandsegat was bij het begin van het onderzoek al significant verschillend, en is dat de hele periode gebleven (Figuur 38). Een aantal soorten komen in bepaalde jaren op een aantal stations in hogere dichtheden voor in het gesloten gebied (*C. fornicata*, Actiniaria, *C. gigas*, *C. edule*), maar zijn niet de belangrijkste soorten voor het verschil (kleine absolute waarde van species weight in PRC-plot). Soorten die in meerdere jaren in hogere dichtheden voorkomen in het open gebied zijn Hydrozoa, *L. conchilega* en *E. leei*. *E. leei* komt met name in de laatste jaren in hogere dichtheden voor in het open gebied (Figuur 41).

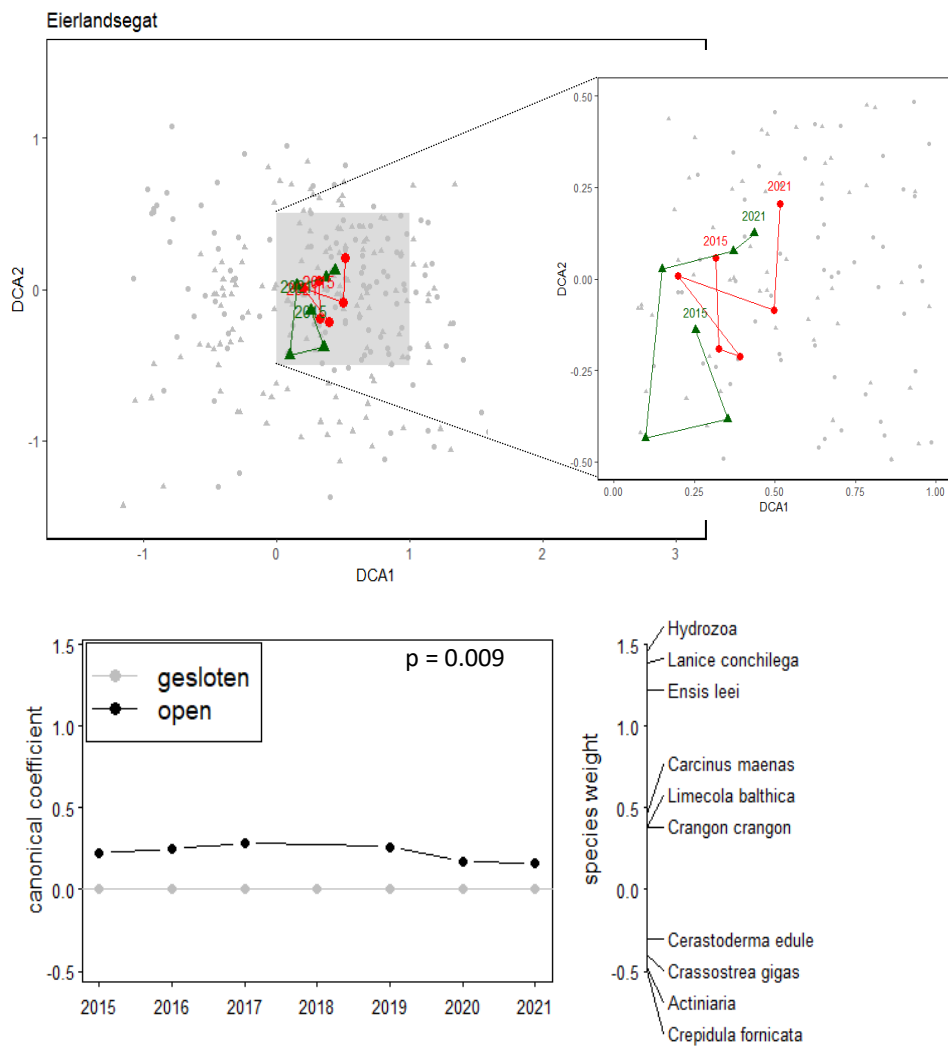
³ Na afronden van analyses en rapportage is nog een fout ontdekt in de data van 2020. We denken niet dat dit de conclusies beïnvloed heeft. In de PRC-plot is 2019 daarom 'grijs' gemarkeerd.



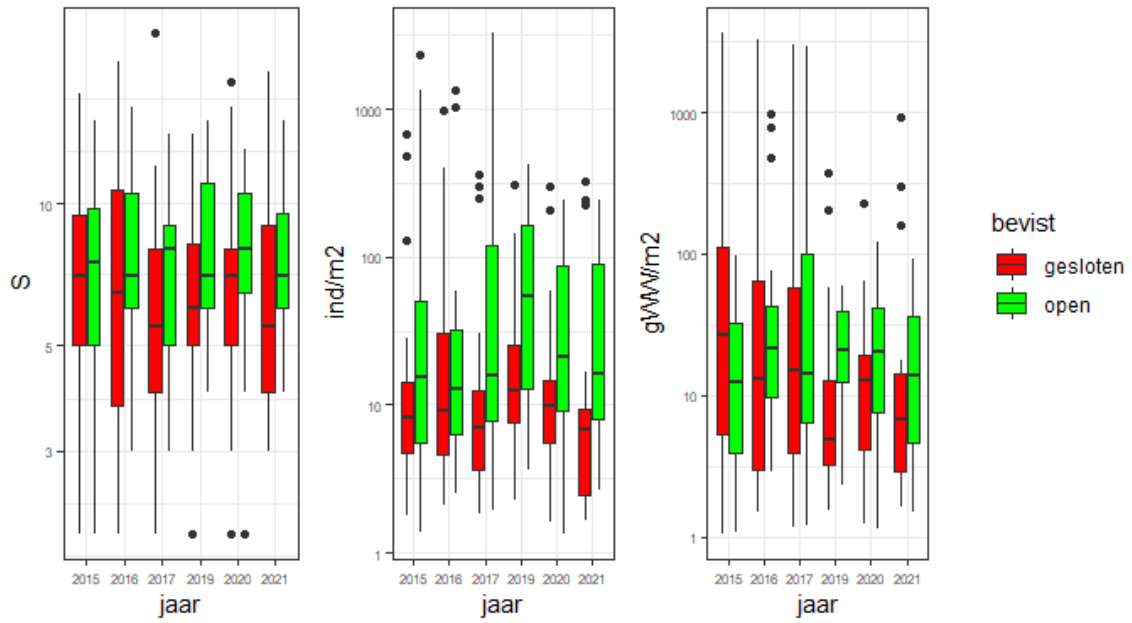
Figuur 36. Onderzoekgebied Vlieter. Boven: DCA-plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar; onder: de bijbehorende PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld.



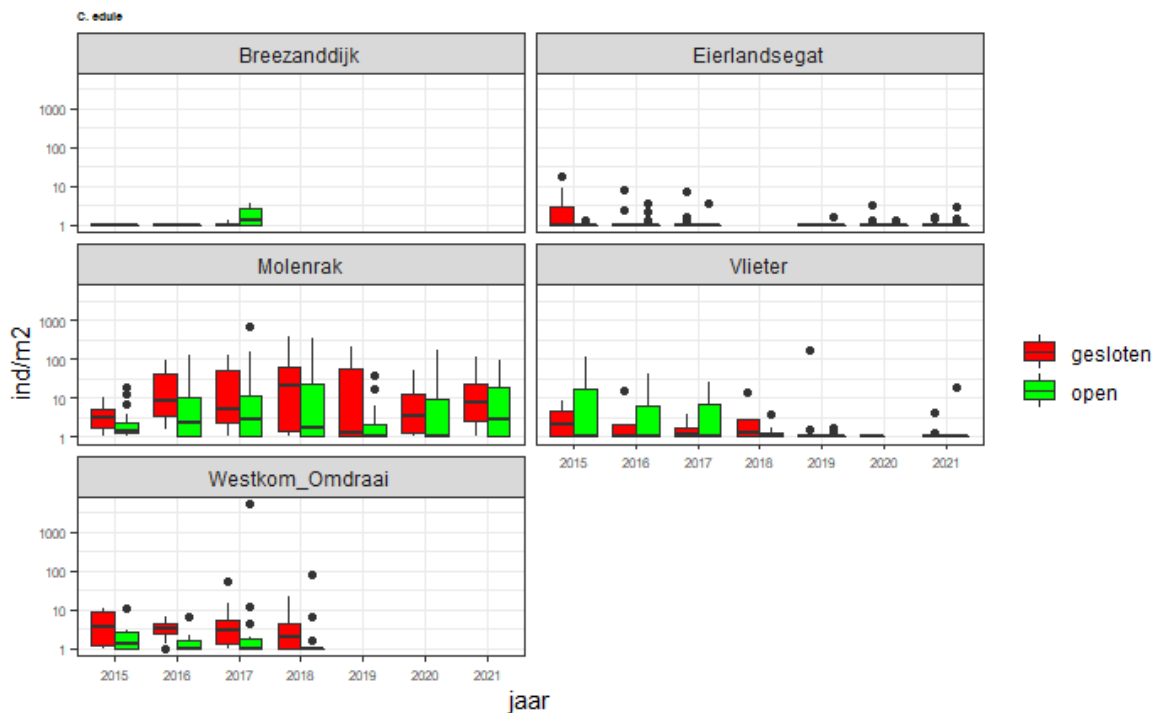
Figuur 37. Onderzoekgebied Vlieter. De ontwikkeling in bodemdierrijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt (S), het aantal individuen per monsterpunt (ind/m^2) en de totale biomassa per monsterpunt (gWW/m^2). NB: in de totale biomassa zijn twee zeer abundante soorten niet opgenomen omdat van deze soorten geen intacte individuen worden aangetroffen (*M. arenaria* en *E. leei*).



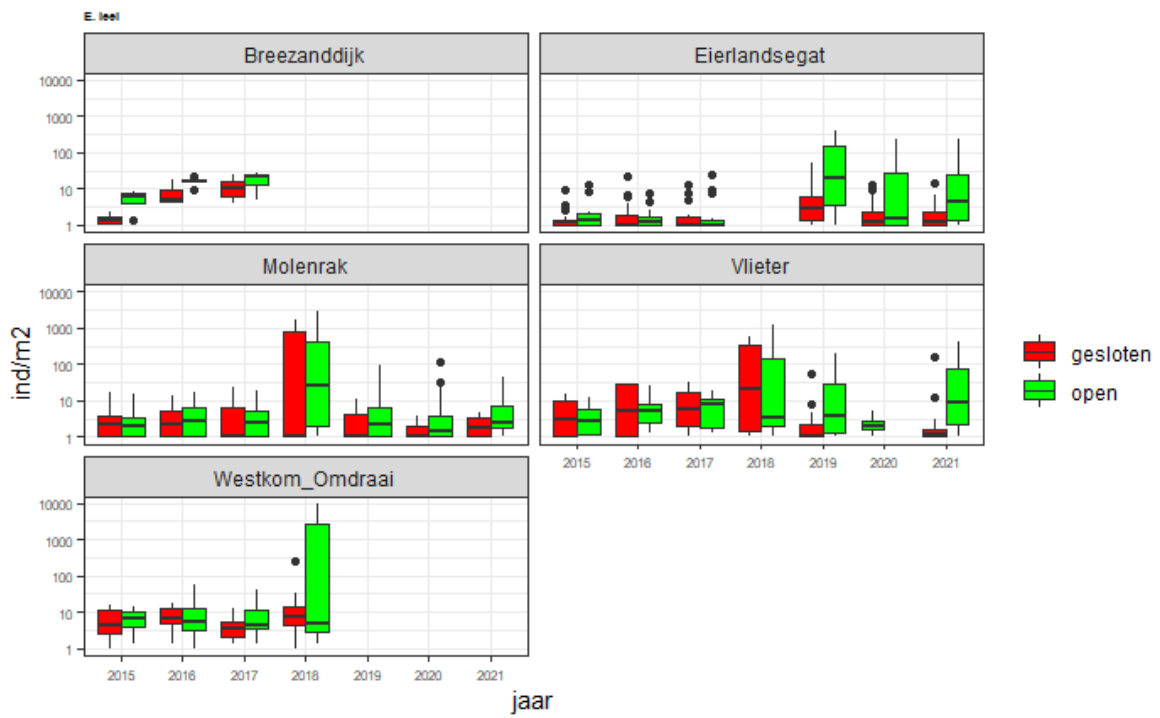
Figuur 38. Onderzoeksgedebied Eierlandsegat. Boven: DCA-plot met onderscheid naar behandeling (open of gesloten) en jaar; onder: de bijbehorende PRC-plot waarin per jaar het verschil is uitgezet tussen het gesloten open gebied waarbij het gesloten gebied op 0 is gesteld.



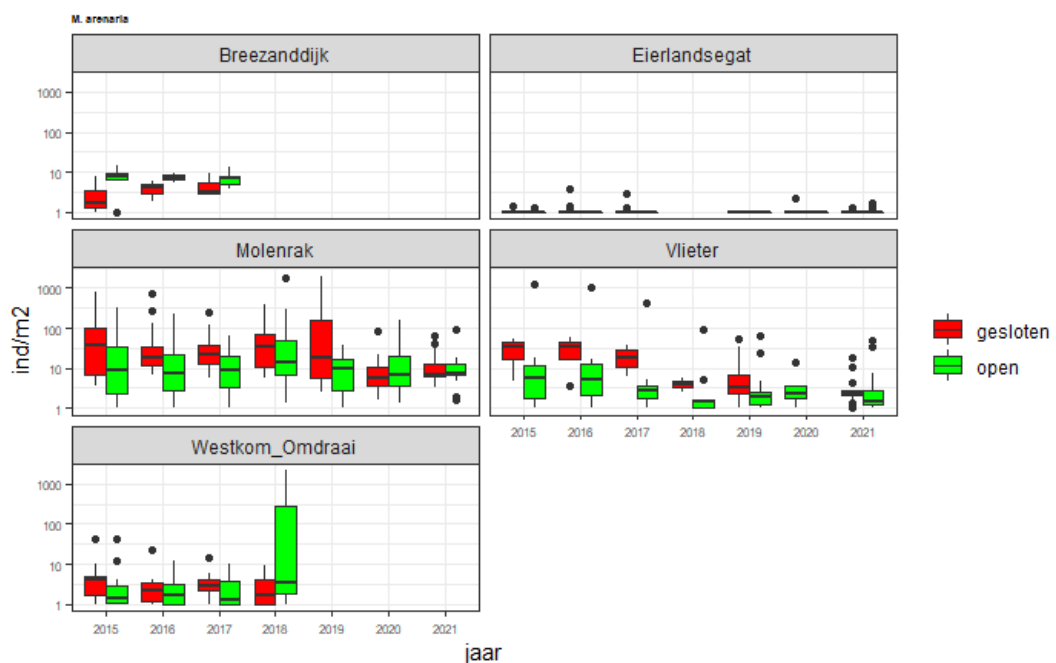
Figuur 40. Onderzoeksgebied Eierlandsegat. De ontwikkeling in bodemdierrijkdom is weergegeven als boxplots van de ontwikkelingen in het aantal soorten per monsterpunt (S), het aantal individuen per monsterpunt (ind/m^2) en de totale biomassa per monsterpunt (gWW/m^2). NB: in de totale biomassa zijn twee zeer abundante soorten niet opgenomen omdat van deze soorten geen intacte individuen worden aangetroffen (*M. arenaria* en *E. leei*).



Figuur 39. Ontwikkeling van de kokkel (*Cerastoderma edule*) in de voor garnalenvisserij open en gesloten delen van de onderzoeksgebieden.



Figuur 41. Ontwikkeling van de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*) in de voor garnalenvisserij open en gesloten delen van de onderzoeksgebieden.



Figuur 42. Ontwikkeling van de strandgaper (*Mya arenaria*) in de voor garnalenvisserij open en gesloten delen van de onderzoeksgebieden.

3.6 Visserij-activiteiten

3.6.1 Visserij op mosselzaad

Visserij op mosselzaad vindt niet ieder jaar plaats en als het wél plaatsvindt, is dat alleen in het gebied dat in het visplan is opgenomen en vrijwel uitsluitend binnen de contouren van mosselbanken en daar vlak omheen. Tabel 2 geeft een overzicht van de mosselzaadvisserij op basis van black box gegevens op de MEGMA-monsterpunten in de periode van 2015 t/m 2021. In Molenrak is sinds sluiting vijfmaal gevist. In Westkom-Omdraai overlapt bevinging viermaal met MEGMA-monsterpunten. In de Vlieter is een aantal keer gevist in de onderzoeksperiode, met name in najaar 2018 en voorjaar 2019, in Breezanddijk alleen in voorjaar 2019. Na het voorjaar 2019 is in de onderzoeksperiode in geen van de onderzoeksgebieden nog op mosselen gevist.

Tabel 2. Voorkomen van visserij op mosselzaad in de onderzoeksgebieden, overlappend met minstens één MEGMA-monsterpunt. Voorjaarsvisserij = "vj", najaarsvisserij = "nj".

Onderzoeksgebied	2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	vj	nj	vj	nj	vj	nj	vj	nj	vj	nj	vj	nj	vj	nj	vj	nj
Molenrak	JA	nee	nee	nee	JA	nee	JA	nee	JA	nee	JA	nee	nee	nee	nee	
Vlieter	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	JA	JA	nee	nee	nee	nee	
Westkom-Omdraai	nee	nee	nee	nee	nee	nee	JA	nee	JA	JA	JA	nee	nee	nee	nee	
Breezanddijk	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee		nee	JA	nee	nee	nee	nee	

3.6.2 Garnalenvisserij

Op basis van VMS-gegevens lijkt er in de eerste jaren gevist te zijn in de gesloten gebieden, hoewel duidelijk minder dan in de open gebieden (Tabel 3). In de loop der tijd is dit afgenomen maar niet helemaal verdwenen, met name in het Eierlandse Gat en de Vieter. Vaak is het aantal visuren wel lager dan in de open gebieden. In het Eierlandse Gat is echter relatief veel gevist in het gesloten gebied.

Tabel 3. Op basis van VMS-data berekend aantal visuren door garnalenvissers in open en gesloten delen van de onderzoeksgebieden volgens methodiek beschreven in Hintzen et al (2012). [<5: minder dan 5 visuren, < 10: tussen 5 en 10 visuren]

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Eierlandsegat	open	49	59	72	45	27	49	33
	gesloten	15	16	13	<10	<5	11	<10
Breezanddijk	open	220	182	382	110	68	118	114
	gesloten	<5	<5	<5	<5	0	<5	0
Molenrak	open	188	159	269	148	73	123	133
	gesloten	<5	<5	<5	<5	0	<5	<5
Vlieter	open	313	224	442	172	200	287	261
	gesloten	10	<10	12	<5	<5	<10	<10
Westkom_Omdraai	open	134	137	179	111	60	143	128
	gesloten	<5	<5	<5	<5	0	<5	<5

4 Discussie en conclusies

Het MEGMA-onderzoek is primair gericht op het volgen van de ontwikkeling van bodemdieren in een aantal voor visserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee. Nu komen niet alle bodemdieren overal en/of in dezelfde dichtheden voor. Dat blijkt ook uit de analyses van de MEGMA-data (zie 3.4.1), en is uiteraard ook al bij vroeger onderzoek vastgesteld. Verschillen in stroomsnelheden, diepte, sedimentkarakteristieken, enz. zorgen voor verschillen tussen en binnen de verschillende bekkens (Schuckel et al. 2015). Ook in mosselbanken komen niet alle soorten overal voor. Het aantal met mosselbanken geassocieerde soorten is het grootste bij hoge zoutgehaltes, stroomsnelheden boven de $0,5 \text{ ms}^{-1}$, locaties dieper dan 5m en bij een mediane korrelgrootte van ongeveer $200 \mu\text{m}$ (Drent & Dekker 2013). Dat was een eerste reden om de vergelijkingen in ontwikkeling in open en gesloten gebieden per onderzoeksgebied te analyseren. Daarnaast spelen nog twee andere zaken. Ten eerste is een aantal gebieden gesloten voor mosselzaadvisserij in 2019 groter geworden, wat noodzakelijkerwijze geleid heeft tot een herziening van de monsterpunten (zie 2.2.1). Deze waren gelegen op 'nieuwe' mosselbanken. Tot slot, niet in alle onderzoeksgebieden zijn ieder jaar monsters genomen in open en gesloten delen, om meerdere redenen (zie hoofdstuk 2.2.1)

De analyses per onderzoeksgebied, waren gericht op:

- 1) het in kaart brengen van eventuele trends in de open en gesloten delen van de onderzoeksgebieden
- 2) een vergelijking van eventuele trends in gesloten en open delen, rekening houdend met eventuele verschillen aanwezig bij de start van het onderzoek.
- 3) De ontwikkeling van de mosselbanken. Dit is met name van belang omdat mosselbanken een groot effect hebben op de diversiteit van de bodemdiergemeenschap (Dolmer et al. 2001, Ysebaert et al. 2009, Markert et al. 2010, Drent & Dekker 2013, Craeymeersch & Jansen 2019, Ricklefs et al. 2020).
- 4) De visserij-activiteiten in de onderzoeksperiode (wel of niet gevist voor mosselzaadvisserij, visserij-inspanning voor garnalenvisserij). Mosselzaadvisserij heeft uiteraard een effect op de dichtheid van mosselen in een mosselbank en op de bodemstructuur, en dus wellicht op de diversiteit (zie punt 2 hierboven). Garnalenvisserij beroert de bodem en dat zou een effect op de bodemfauna kunnen hebben (Tulp et al. 2020).

4.1 Bodemdiergemeenschappen in voor mosselzaadvisserij open en gesloten gebieden

4.1.1 Aanpassingen in monitoringsopzet

Bij aanvang van het onderzoek in 2015 waren niet in alle open en gesloten delen van de onderzoeksgebieden mosselbanken aanwezig. In onderzoeksgebieden Breezanddijk en de Vlieter lagen alleen in de laatste 3 jaar monsterpunten op mosselbanken in zowel open als gesloten delen. Alleen in de onderzoeksgebieden Molenrak en Westkom-Omdraai zijn open en gesloten delen alle jaren bemonsterd. Maar ook in deze gebieden zijn aanpassingen aan de monitoringsopzet nodig geweest. Door de 3^{de} sluitingsstap lagen in 2019 monsterpunten die voorheen in het open gebied lagen, nu in het gebied gesloten voor mosselzaadvisserij. Hierdoor lagen er nog te weinig monsterpunten in het open gebied om daar een goede vergelijking mee te kunnen maken. Dit geldt voor de voormalige onderzoeksgebieden Molenrak (oost en west) en Omdraai. Hier konden vanaf 2019 meer punten gelegd worden in mosselbanken die in 2017 en 2018 zijn ontstaan (tijdens de voorjaarsurvey geïnventariseerd in 2018 en 2019). De onderzoeksperiode en bemonsterde locaties per onderzoeksgebied zijn derhalve dermate verschillend dat we geen integrale analyses uitgevoerd hebben, in tegenstelling tot een vorige rapportage (Troost et al. 2019). We hebben geprobeerd uit de analyses per onderzoeksgebied algemene conclusies te trekken.

4.1.2 Ontwikkelingen in het gesloten gebied

Binnen de gesloten delen van de verschillende onderzoeksgebieden is de bodemdiergemeenschap in de onderzoeksperiode veranderd. De opvallendste veranderingen zijn:

1. In het Molenrak is vanaf ca. 2018 een afname te zien in de dichtheid van mosselen, de totale dichtheid en de totale biomassa.
2. In Westkom-Omdraai nam de dichtheid van mosselen toe in 2017, na een goede broedval, gevolgd door een afname.
3. In het gebied Vlieter is een sterke afname te zien in de dichtheid van mosselen, de strandgaper en als gevolg daarvan de totale dichtheid schelpdieren.
4. In het gebied Breezanddijk is de gemiddelde dichtheid van zee-anemonen lager sinds 2019.

4.1.3 Vergelijking tussen het gesloten en open gebied

In de periode 2015-2018 zien we met name in Molenrak dat de bodemfauna in open en gesloten gebied steeds meer van elkaar verschilt. Dat komt voor een groot deel door met mosselen geassocieerde soorten, die met de afname van mosselen in het gesloten deel ook in dichtheid afnemen. In Westkom-Omdraai zien we dat de fauna in die periode iets meer op elkaar gaat lijken. Maar in dit gebied was de dichtheid van mosselen juist in open gebied hoger gedurende de eerste jaren, gevolgd door een afname in open gebied, en een toename in gesloten gebied.

In de periode 2019-2021 zie we weinig verschil in ontwikkeling. Dit kan te maken hebben met de derde sluitingsstap, waardoor de vergelijking tussen open en gesloten gebieden steeds moeilijker wordt, en tot trendbreuken leidt. Dat is duidelijk uit de PRC-plots van de onderzoeksgebieden Molenrak en Westkom-Omdraai. Je zet als het ware een reset op het onderzoek, en start een nieuwe tijdsreeks. Aan de andere kant is de levensduur van mosselbanken ook niet zo groot. Als gevolg van het verdwijnen van oude banken en opkomst van nieuwe vindt steeds als het ware een reset plaats van de geassocieerde fauna. Eenmaal de eerste winter overleefd, is de gemiddelde leeftijd van sublitorale mosselbanken 2,3 jaar waarbij 90% van de banken verdwenen is na 5 jaar (Troost et al. 2022). Deze overlevingskans is sterk afhankelijk van het zoutgehalte. Bij lagere zoutgehalten is 90% verdwenen na 7 jaar, bij hogere zoutgehalten na 3 jaar. Een groot deel van de gesloten gebieden ligt juist bij de wat lagere zoutgehalten omdat daar de kans op ontwikkeling van meerjarige mosselbanken hoger is (van Stralen & Troost 2022). Hoe langer een bank overleeft, hoe meer allerlei soorten de kans krijgen zich hierin te vestigen. Dat geldt des te meer voor banken die langer overleven door regelmatige aanwas, zoals bijvoorbeeld in het gesloten gebied van het Molenrak.

Gebieden waar mosselzaadvisserij is toegestaan, worden alleen bevestigd wanneer daar ook visbare voor de zaadvisserij interessante hoeveelheden mosselen of mosselzaad ligt. Sinds de 3^{de} sluitingsstap is maar heel beperkt gevestigd in de open delen van de onderzoeksgebieden: enkel in het voorjaar van 2019 en dan niet in Molenrak. In ieder geval is het zo dat het nu langer gaat duren vooraleer we eventuele lange-termijnveranderingen als gevolg van de sluiting zullen kunnen waarnemen.

Kortom, verschillen in ontwikkeling lijken voor een belangrijk deel gerelateerd aan de ontwikkeling, de opkomst en het weer verdwijnen, van mosselbanken. En dan speelt de vraag of een effect verwacht van mosselzaadvisserij, en zo ja, welk effect. Het effect van mosselzaadvisserij op de ontwikkeling van mosselbanken en geassocieerde soorten is onderzocht binnen het PRODUS-onderzoek (Smaal et al. 2013, Smaal et al. 2021). 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 bevestigde en onbevestigde banken uit omdat ook in de onbevestigde banken de dichtheid en biomassa van mosselen afnam als gevolg van natuurlijke factoren.

De verdere ontwikkeling van de fauna als een bank verdwenen is, hangt dan af van het, veelal stochastisch, broedvalsucces van andere soorten, met name voor schelpdieren als de Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*), de kokkel (*C. edule*), de strandgaper (*M. arenaria*) en het nonnetje (*L. balthica*), zoals eerder gerapporteerd (Troost et al. 2019). Hetzelfde geldt ook voor de mosselen zelf.

Zaadval vindt plaats binnen bestaande banken bij een bescheiden zaadval, maar buiten bestaande banken tijdens omvangrijke zaadvallen en vormen zo nieuwe zaadbanken. Door Troost et al. (2019) werd over de periode 2015-2018 geconcludeerd dat de gebiedssluiting geen invloed had op het ontstaan van nieuwe zaadbanken. Aanvulling van de tijdreeks tot en met 2021 verandert dat beeld niet.

Het kan natuurlijk dat waar de monsterpunten lagen, de mosselbank verdwenen is, volledig of gedeeltelijk. Zo is de gemiddelde dichtheid van mosselen in het open deel van Molenrak in 2018 het laagste en bijna nul. Het areaal in 2018 is nochtans ongeveer gelijk aan dat in 2015. Dat is te verklaren doordat in de periode 2015-2018 werd gewerkt met vaste monsterpunten zoals die in 2015 gelegd waren. Wanneer de mosselbank verdween uit het bemonsterde gebied resulteerde dat in een afname in dichtheid van mosselen en geassocieerde soorten. Er zijn echter toen geen nieuwe punten bij geplaatst op andere locaties binnen bestaande mosselbanken, afgezien van enkele nieuwe zaadbanken ontstaan in de zomer van 2016 (zie bijlage 3, kaart 3.1). Kortom, voor de extrapolatie naar het hele gebied is de informatie m.b.t. het areaal dus van belang. Dat geldt uiteraard ook voor de andere soorten. De data uit de reguliere voorjaarssurvey kunnen voor veel van deze soorten aanvullende ruimtelijke informatie en een beeld van de historische ontwikkeling, zoals bij vorige rapportage gebruikt (Troost et al. 2019). In voorliggend rapport is dat niet gedaan omdat de resultaten geen verschillen in ontwikkeling aan het licht brachten. Daarmee is een nadere beschouwing om eventuele verschillen te kunnen verklaren, nu niet zinvol.

4.2 Bodemdiergemeenschappen in voor garnalenvisserij open en gesloten gebieden

4.2.1 Aanpassingen in monitoringsopzet

Vanaf 2019 is het onderzoek gericht op drie onderzoeksgebieden : Molenrak, Vlieter en Eierlandsegat. In de tijdseries zijn geen trendbreuken waarneembaar. Dat is uiteraard gelinkt aan het feit dat hier geen monsterpunten op mosselbanken meegenomen zijn, en dat de begrenzing van de voor garnalenvisserij gesloten gebieden niet veranderd is.

4.2.2 Ontwikkelingen in het gesloten gebied

Binnen de gesloten gebieden van de verschillende onderzoeksgebieden zijn over het algemeen geen of geen grote veranderingen waargenomen. Wel zijn de volgende ontwikkelingen zichtbaar. In de Vlieter is over de onderzoeksperiode de dichtheid van strandgapers afgenomen, en ook de totale dichtheid en totale biomassa. In het Molenrak zien we ook een afname van strandgapers, evenals van kokkels en nonnetjes.

4.2.3 Vergelijking tussen het gesloten en open gebied

In Vlieter zijn geen significante verschillen tussen open en gesloten delen, in de twee andere onderzoeksgebieden wel. In het Eierlandsegat is er al vanaf het begin van de onderzoeksperiode een verschil en dat blijft ongeveer even groot gedurende de hele periode. Ook in het Molenrak was er bij aanvang een verschil. Dat verschil bleef tot 2020. De laatste twee jaren is de faunasamenstelling in open en gesloten delen van het Molenrak niet erg verschillend.

Alle verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in de dichtheden van schelpdieren: de Amerikaanse zwaardschede (*E. leei*), de kokkel (*C. edule*) en de strandgaper (*M. arenaria*). Opvallend daarbij is dat de Amerikaanse zwaardschede in die gevallen altijd meer voorkomt in open dan in gesloten delen. In een experimenteel onderzoek naar relatie tussen visserij-intensiteit en de benthische fauna, bleek dat de dichtheid van zwaardschedes toenam in reactie op de visserij-intensiteit, wat doet vermoeden dat de soort gedijt bij verstoring, of in ieder geval een verstoord gebied vlug weet te koloniseren (Glorius et al. 2015, Tulp et al. 2020). Echter, ook in de gesloten gebieden is gevist, zij het veelal met een veel lagere visserij-intensiteit. Enkel in het Eierlandsegat lijkt

er nog relatief veel gevist in het gesloten deel. Maar de verschillen kunnen ook komen door verschillen in hydrodynamische omstandigheden. Immers, de gesloten gebieden zijn relatief minder dynamisch en, specifiek voor het Eierlandse Gat, geldt dat in het gesloten deel de monsterpunten op het einde van de geulen liggen. Hoewel er geen significante verschillen in ontwikkeling gevonden zijn tussen het gesloten en open gebied, kan vanwege de indruk dat nog steeds gevist wordt in het gesloten gebied dus niet geconcludeerd worden dat de gebiedssluiting geen effect heeft. Daarnaast zorgen de soms grote ruimtelijke verschillen in (plaatselijk soms zeer omvangrijke) broedval van allerlei schelpdiersoorten voor een grote variatie waardoor eventuele verschillen in ontwikkeling mogelijk pas na langere tijd zichtbaar worden.

4.3 Conclusies

Hoofddoel van het MEGMA-onderzoek is de ontwikkeling van mosselen en andere bodemdieren te volgen in de voor mosselzaad- en garnalenvisserij gesloten gebieden. In alle voor mosselzaad- en garnalenvisserij gesloten gebieden zien we een significante verandering van de bodemfauna. Dat is vooral toe te schrijven aan de ontwikkeling van schelpdieren als mosselen, strandgapers, kokkels en nonnetjes. Het populatieverloop van deze soorten vertoont meestal sterke jaarlijkse pieken gevolgd door afnames, doordat ze niet jaarlijks een goede broedval hebben. Veranderingen in de dichtheid van mosselen resulteert ook in veranderingen van de met mosselen geassocieerde fauna.

Vervolgfragen op de hoofdvraag zijn:

- Is er een verschil in ontwikkeling in voor visserij open en gesloten gebieden? Er zijn verschillen, zij het vaak klein, die toe te schrijven zijn aan verschillen in de ontwikkeling van schelpdieren en dan vooral van mosselen.
- Zijn deze verschillen eventueel het gevolg van sluiting voor mosselzaadvisserij? Er zijn geen aanwijzingen dat dit het geval is. Verschillen lijken vooral te wijten aan verschillen in de populatiedynamiek van mosselen. Mosselbanken komen en gaan. In de onderzoeksgebieden, met wat lagere zoutgehalten, is het grootste deel verdwenen na 7 jaar. Met het verdwijnen van oude banken, vindt ook een reset plaats van de geassocieerde fauna. Immers, met het ouder worden van een bank hebben meer soorten de kans gekregen zich hierin te vestigen. Dat geldt des te meer voor banken die langer overleven door regelmatige aanwas, zoals bijvoorbeeld in het gesloten gebied van het Molenrak.
- Hoewel er geen significante verschillen in ontwikkeling gevonden zijn tussen de voor garnalenvisserij gesloten en open gebieden, kan vanwege de indruk (en waarnemingen) dat er nog steeds gevist wordt in het gesloten gebied dus niet geconcludeerd worden of de gebiedssluiting een meetbaar effect heeft. Daarnaast zorgen de soms grote ruimtelijke verschillen in (plaatselijk soms zeer omvangrijke) broedval van allerlei schelpdiersoorten voor een grote variatie waardoor eventuele verschillen in ontwikkeling mogelijk pas na langere tijd zichtbaar worden.

5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

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, Jansen HM (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 , Cham
- 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>
- 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 PJ, van den Brink PJ (2005) Bioassay responses and effects on benthos after pilot remediations in the delta of the rivers Rhine and Meuse. *Environ Pollut* 136:197-208
- Dittmann S (1990) Mussel beds—amensalism or amelioration for intertidal fauna? *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 44:335–352.
- Dolmer P, Kristensen T, Christiansen ML, Petersen MI, Kristensen PS, Hoffmann E (2001) Short-term impact of blue mussel dredging (*Mytilus edulis* L.) on a benthic community. *Hydrobiologia* 465:115-127
- Donadi, S., T. van der Heide, E.M. van der Zee, J.S. Eklöf, J. van de Koppel, E.J. Weerman, T. Piersma, H. Olff & 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.
- Drent J, Dekker R (2013) Macrofauna associated with mussels, *Mytilus edulis*, in the subtidal of the western Dutch Wadden Sea. NIOZ Report 2013-7. 77 pp.
- Glorius S, Craeymeersch J, van der Hammen T, Rippen A, Cuperus J, van der Weide B, Steenbergen J, Tulp I (2015) Effecten van garnalenvisserij in Natura 2000 gebieden. IMARES Rapport C013/15. 162 pp.
- 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.
- Hintzen NT, Bastardie F, Beare D, Piet GJ, Ulrich C, Deporte N, Egekvist J, Degel H (2012) VMStools: Open-source software for the processing, analysis and visualisation of fisheries logbook and VMS data. *Fish Res* 115:31-43
- 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.
- Markert A, Wehrmann A, Kroncke I (2010) Recently established *Crassostrea*-reefs versus native *Mytilus*-beds: differences in ecosystem engineering affects the macrofaunal communities (Wadden Sea of Lower Saxony, southern German Bight). *Biol Invasions* 12:15-32
- 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>
- Ricklefs K, Buttger H, Asmus H (2020) Occurrence, stability, and associated species of subtidal mussel beds in the North Frisian Wadden Sea (German North Sea Coast). *Estuar Coast Shelf S* 233
- Schuckel U, Beck M, Kroncke I (2015) Macrofauna communities of tidal channels in Jade Bay (German Wadden Sea): spatial patterns, relationships with environmental characteristics, and comparative aspects. *Marine Biodiversity* 45:841-855
- Smaal A, Craeymeersch J, van Stralen M (2021) The impact of mussel seed fishery on the dynamics of wild subtidal mussel beds in the western Wadden Sea, The Netherlands. *J Sea Res* 167, 101978. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101978>
- Smaal A, Craeymeersch JA, Drent J, Jansen J, Glorius S, van Stralen M (2013) Effecten van mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden : samenvattend eindrapport. IMARES Rapport PR 1 C006/13. 162 pp.
- Smaal AC, Brinkman AG, Schellekens T, Jansen JM, Agüera A, van Stralen M (2014) Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, samenvattend eindrapport. IMARES Wageningen UR, IJmuiden
- Troost, K., van Stralen, M., Craeymeersch, J., van den Ende, D., van Asch, M., 2018. Ontwikkeling van bodemdieren in voor mosselzaad- en garnalervisserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee : evaluatie na drie jaar monitoring. Wageningen Marine Research, Yerseke.
- Troost K, Craeymeersch J, Ende Dvd, Es Yv, Asch Mv, Stralen Mv, Troost K, Craeymeersch J, Ende Dvd, Es Yv, Asch Mv, Stralen Mv (2019) Ontwikkeling van bodemdieren in de voor mosselzaadvisserij gesloten gebieden in de westelijke Waddenzee : evaluatie na vier jaar monitoring (2015-2018). Wageningen Marine Research, Yerseke
- Troost K, van der Meer J, van Stralen M (2022) The longevity of subtidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *J Sea Res* 181:102174
- 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.
- Tulp I, Glorius S, Rippen A, Looije D, Craeymeersch J (2020) Dose-response relationship between shrimp trawl fishery and the macrobenthic fauna community in the coastal zone and Wadden Sea. *J Sea Res* 156
- van den Brink PJ, den Besten PJ, bij de Vaate A, ter Braak CJF (2009) Principal response curves technique for the analysis of multivariate biomonitoring time series. *Environ Monit Assess* 152:271-281
- 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, Troost K (2021) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2021. MarinX Rapport 2021.193.
- van Stralen M, Troost K (2022) Ervaringskaart relatieve stabiliteit van sublitorale mosselbanken in de Waddenzee - Update met gegevens tot en met 2021. MarinX rapport 2021.198.
- van Stralen M, Troost K, Capelle J (2019a) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het najaar van 2019. MarinX Rapport 2019.189.
- van Stralen M, van den Ende D, Poiesz S, Troost K (2022) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2022. MarinX rapport 2022.199.
- van Stralen M, van den Ende D, Troost K (2015) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2015. MarinX Rapport 2015.151.
- van Stralen M, van den Ende D, Troost K (2017) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2017. MarinX Rapport 2017.175.
- van Stralen M, van den Ende D, Troost K (2018) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2018. MarinX Rapport 2018.180.
- van Stralen M, van den Ende D, Troost K (2019b) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2019. MarinX Rapport 2019.187.
- van Stralen MR, van den Ende D, Troost K (2016) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2016. MarinX RAPPORT 2016.156. 24 pp. .
- Van Stralen, M. (2014) Gebiedsmaatregelen Mosselconvenant en VISWAD 2013. Bureau MarinX, Scharendijke, rapport 2014.141.
- 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.
- 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.
- Ysebaert T, Hart M, Herman PMJ (2009) Impacts of bottom and suspended cultures of mussels *Mytilus* spp. on the surrounding sedimentary environment and macrobenthic biodiversity. *Helgoland Mar Res* 63:59-74

Verantwoording

Rapport C046/22

Projectnummer: 4318100320

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. Ingrid Tulp
Senior onderzoeker

Handtekening: 

Datum: 11/11/2022

Akkoord: Drs. Jakob Asjes
MT lid integratie

Handtekening: 

Datum: 11/11/2022

Overzicht van de in alle jaren aangetroffen en onderscheiden taxa: op welk deel (in procent) van het totale aantal monsterpunten genomen in een bepaald jaar is het taxon gevonden.

Taxon	Aantal keer aangetroffen (% van de monsterpunten)						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<i>Abra alba</i>	2.2	2.3	1.2	2.5	0.4	3.8	0.5
<i>Acanthodoris pilosa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
Actinaria	61.9	67.9	65.0	62.6	73.5	53.3	72.4
Ammodytes	5.4	2.3	0.8	2.0	3.8	6.3	4.5
Amphipoda	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0
<i>Anguilla anguilla</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
<i>Aphia minuta</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
<i>Arenicola marina</i>	3.1	0.9	0.0	1.0	2.1	1.7	0.0
Ascidacea	19.7	6.4	1.6	0.0	0.0	2.5	0.0
<i>Asterias rubens</i>	21.1	23.9	28.8	30.8	28.2	25.8	23.1
Balanoidea	57.8	61.9	60.9	56.1	50.8	35.0	52.9
<i>Barnea candida</i>	0.4	0.5	0.4	0.0	0.4	0.8	1.8
<i>Belone belone</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
Bryozoa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.4
<i>Buglossidium luteum</i>	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
<i>Cancer pagurus</i>	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Carcinus maenas</i>	68.2	82.6	80.7	62.6	71.4	49.6	54.3
<i>Cerastoderma edule</i>	48.4	50.5	53.9	59.6	33.2	36.7	38.0
<i>Ciliata mustela</i>	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Clupeidae	0.0	0.0	0.8	3.5	5.9	6.7	11.3
<i>Crangon crangon</i>	42.6	93.1	87.2	71.2	67.6	59.6	68.3
<i>Crepidula fornicata</i>	26.0	30.7	25.9	21.2	29.0	21.3	28.1
<i>Donax vittatus</i>	0.0	0.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
<i>Ensis leei</i>	59.6	72.0	69.1	75.3	63.9	50.8	76.9
<i>Euspira</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
<i>Fabulina fabula</i>	1.8	3.7	7.0	1.0	0.4	1.7	1.4
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0.0	3.7	0.4	1.5	0.0	0.0	0.5
<i>Hemigrapsus</i> sp.	14.3	16.1	19.8	16.7	18.5	9.6	34.8
Hydrozoa	48.9	63.3	46.9	16.2	17.6	13.8	30.8

Taxon	Aantal keer aangetroffen (% van de monsterpunten)						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Lagis koreni	0.0	0.9	0.0	8.6	0.4	0.8	0.0
Lanice conchilega	5.8	11.0	18.5	16.2	12.6	17.9	6.3
Lepidonotus squamatus	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	4.2	1.8
Limanda limanda	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.4	0.0
Limecola balthica	52.5	67.0	61.7	69.7	52.9	49.6	66.1
Liocarcinus holsatus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	0.0
Liparis liparis liparis	0.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Macomangulus tenuis	0.9	3.7	5.3	1.0	3.4	1.7	3.6
Magallana gigas	27.4	24.8	18.1	16.2	9.2	7.5	14.9
Merlangius merlangus	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Microstomus kitt	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Molgula	0.0	34.9	27.6	23.7	20.6	10.0	25.8
Mulinia lateralis	0.0	0.0	0.0	8.1	2.5	6.3	23.1
Mya arenaria	68.2	72.0	72.4	90.4	67.2	54.2	76.5
Myoxocephalus scorpius	0.9	0.0	2.1	0.5	2.9	0.0	6.3
Mysida	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.5
Mytilus edulis	61.4	72.0	72.0	72.2	65.1	44.6	64.3
Nephtys	18.4	38.1	38.7	19.2	22.3	34.6	47.1
Nereididae	55.2	58.3	44.9	50.5	63.4	48.3	48.4
Nudibranchia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
Oligochaeta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
Ophiura	9.4	15.6	11.1	2.0	12.2	3.3	0.0
Ophiura albida	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
Osmerus eperlanus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
Pagurus bernhardus	5.4	7.8	5.8	2.5	4.6	5.0	7.2
Palaemonidae	0.0	0.5	0.8	0.0	1.7	0.0	1.4
Petricolaria pholadiformis	4.9	7.8	5.8	12.1	15.5	7.1	12.2
Pholis gunnellus	4.0	8.3	8.2	4.5	4.6	3.3	4.1
Platichthys flesus	0.0	0.5	0.8	2.5	0.8	0.4	0.9
Pleuronectes platessa	8.5	20.2	11.9	2.5	5.9	2.9	16.3
Polychaeta	3.1	4.6	0.4	10.1	8.8	3.8	3.2
Polynoidae	0.0	3.7	3.3	9.1	0.0	0.0	0.0
Pomatoschistus	3.6	15.1	13.6	21.7	9.2	10.4	7.2
Porifera	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Ruditapes philippinarum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
Scoloplos armiger	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	6.3	6.3
Scrobicularia plana	0.9	2.8	2.1	2.0	2.9	1.7	2.7
Solea solea	1.8	5.0	1.6	4.5	2.9	1.7	1.8
Spisula subtruncata	0.9	0.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.5
Styela clava	1.3	3.2	0.0	1.5	0.4	2.9	2.3
Syngnathus	2.0	11.0	2.5	2.0	2.5	1.0	0.9
Venerupis corrugata	1.3	1.4	0.8	1.5	1.7	0.4	1.8
Zoarces viviparus	0.9	4.6	4.1	4.5	4.2	1.3	0.5

Overzicht van de in alle jaren aangetroffen en onderscheiden taxa: gemiddelde dichtheid per jaar, berekend over alle bemonsterde stations in dat jaar.

Taxon	Gemiddelde dichtheid (n/m ²)						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<i>Abra alba</i>	0.7	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Acanthodoris pilosa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Actiniaria	19.2	19.6	16.4	6.5	11.4	6.1	14.1
Ammodytes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Amphipoda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Anguilla anguilla</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Aphia minuta</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Arenicola marina</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ascidacea	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
<i>Asterias rubens</i>	1.1	1.2	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4
Balanoidea							
<i>Barnea candida</i>	0.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.3
<i>Belone belone</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bryozoa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Buglossidium luteum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cancer pagurus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Carcinus maenas</i>	2.5	3.5	4.5	1.2	2.2	0.7	1.0
<i>Cerastoderma edule</i>	5.6	7.0	39.8	22.4	5.2	3.4	12.3
<i>Ciliata mustela</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Clupeidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Crangon crangon</i>	2.2	5.9	5.6	1.9	2.5	2.5	2.2
<i>Crepidula fornicata</i>	3.6	5.0	2.6	0.8	2.4	2.0	3.4
<i>Donax vittatus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ensis leei</i>	4.4	6.9	4.6	356.0	31.6	9.3	15.2
<i>Euspira</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Fabulina fabula</i>	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Hemigrapsus</i> sp.	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.1	0.9
Hydrozoa	4.0	9.8	5.2	0.3	0.8	0.2	0.3

Taxon	Gemiddelde dichtheid (n/m ²)						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Lagis koreni	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
Lanice conchilega	53.6	25.0	14.8	0.6	0.9	6.5	0.9
Lepidonotus squamatus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Limanda limanda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Limecola balthica	12.3	7.0	6.5	6.2	17.6	3.2	7.0
Liocarcinus holsatus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Liparis liparis liparis	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Macomangulus tenuis	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Magallana gigas	1.4	2.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.9
Merlangius merlangus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Microstomus kitt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Molgula	0.0	3.4	3.0	1.0	0.7	0.3	0.8
Mulinia lateralis	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.5
Mya arenaria	112.7	74.7	38.1	72.1	26.4	4.8	6.5
Myoxocephalus scorpius	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mysida	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mytilus edulis	30.1	379.6	79.4	31.8	47.7	16.0	19.7
Nephtys sp.	0.3	0.4	0.8	0.2	0.3	0.3	0.4
Nereididae	1.8	4.5	2.8	2.1	3.5	1.2	1.3
Nudibranchia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Oligochaeta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ophiura albida	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ophiura sp.	0.4	0.3	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0
Osmerus eperlanus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pagurus bernhardus	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1
Palaemonidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Petricolaria pholadiformis	0.2	0.5	0.2	0.1	1.0	0.1	0.5
Pholis gunnellus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Platichthys flesus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pleuronectes platessa	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Polychaeta	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
Polynoidae	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Pomatoschistus	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1
Porifera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ruditapes philippinarum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Scoloplos armiger	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
Scrobicularia plana	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Solea solea	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Spisula subtruncata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Styela clava							
Syngnathus sp.	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Venerupis corrugata	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zoarces viviparus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

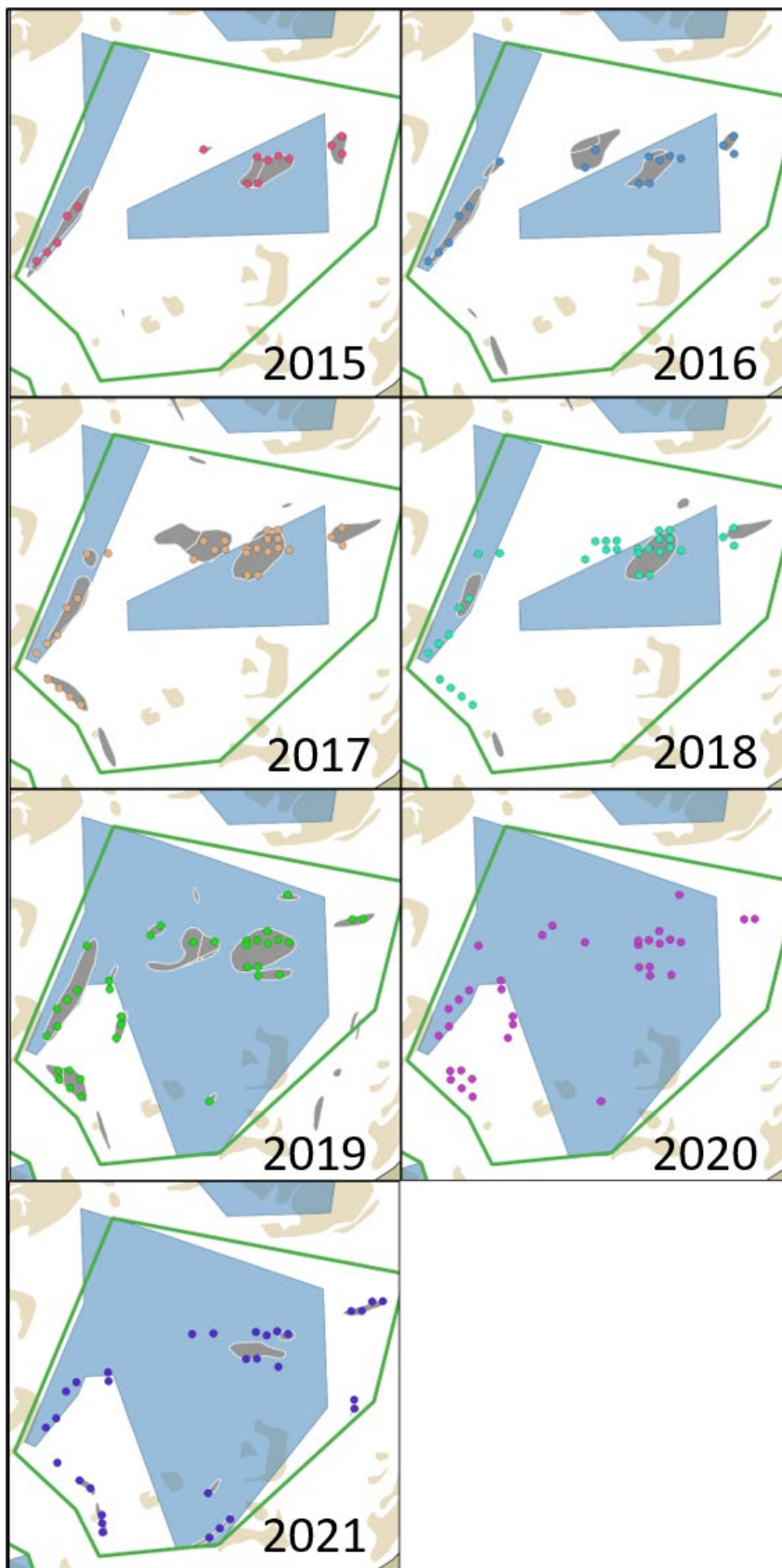
Bijlage 3 Ontwikkeling van de bodemgemeenschappen in voor
mosselzaadvisserij open en gesloten gebieden. Ligging van de
mosselbanken en monsterpunten per onderzoeksgebied en per jaar.

Kaart 3.1: Onderzoeksgebied Molenrak

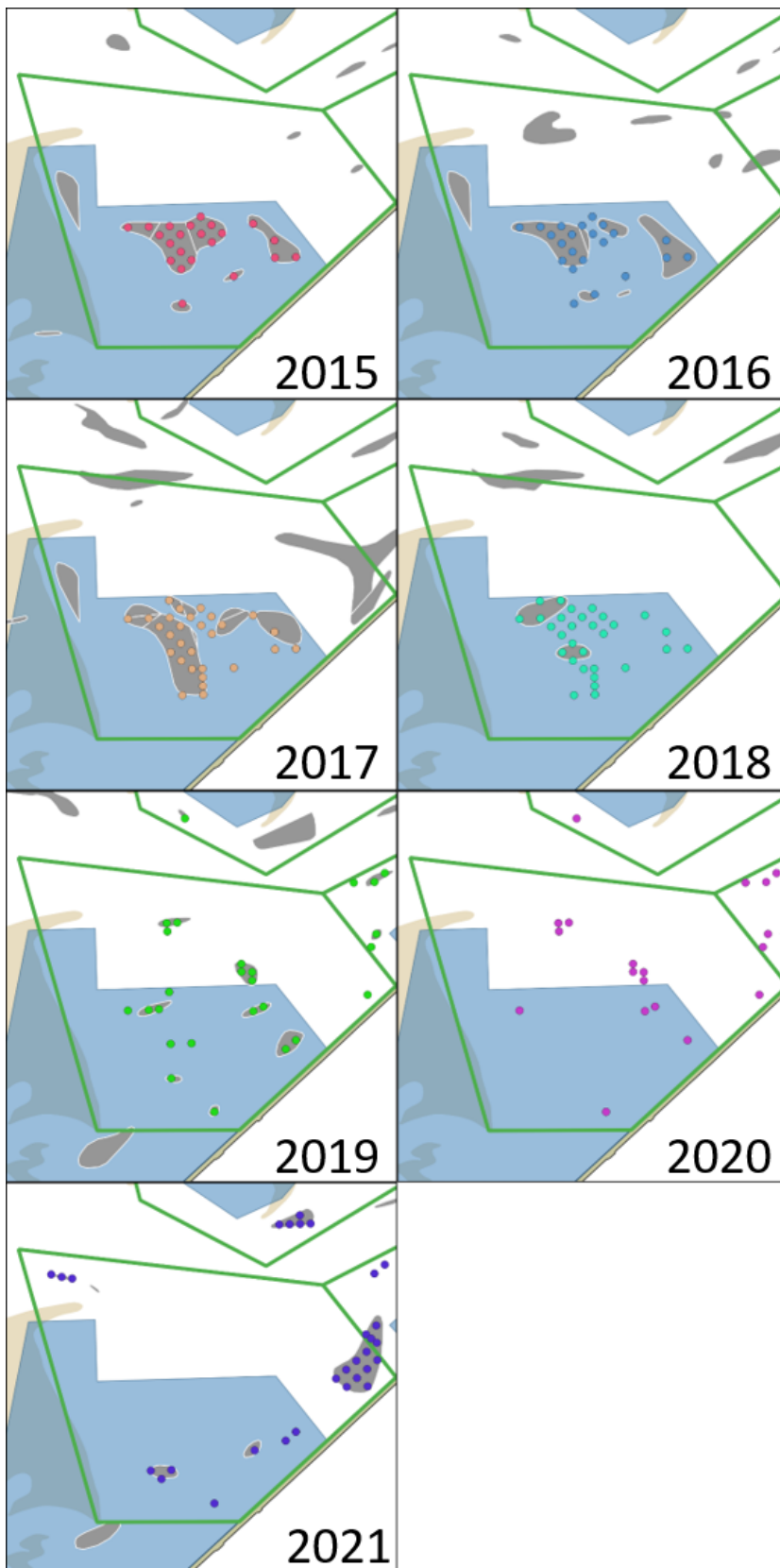
Kaart 3.2: Onderzoeksgebied Vlieter

Kaart 3.3: Onderzoeksgebied Westkom-Omdraai

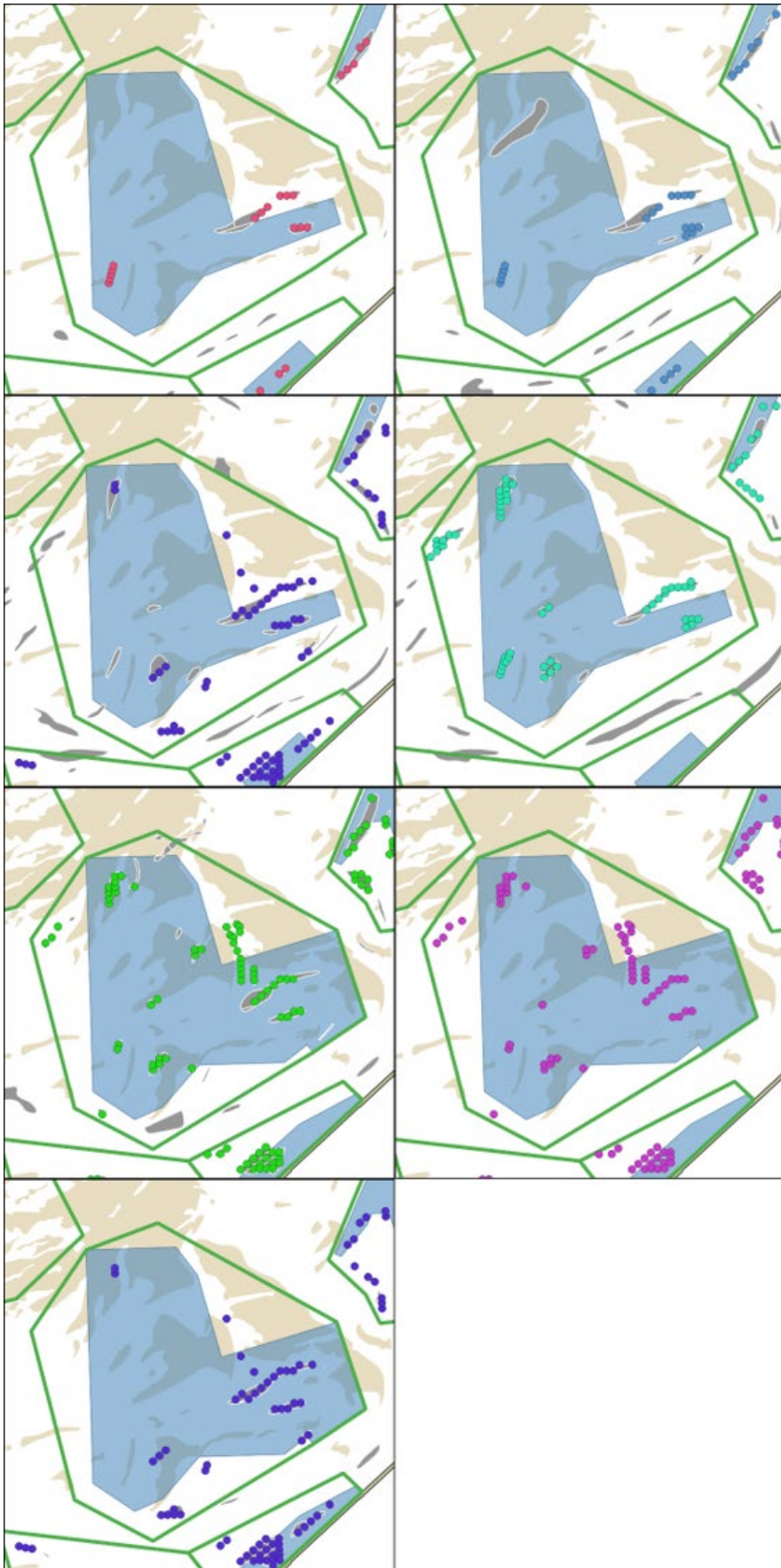
Kaart 3.4: Onderzoeksgebied Breezanddijk



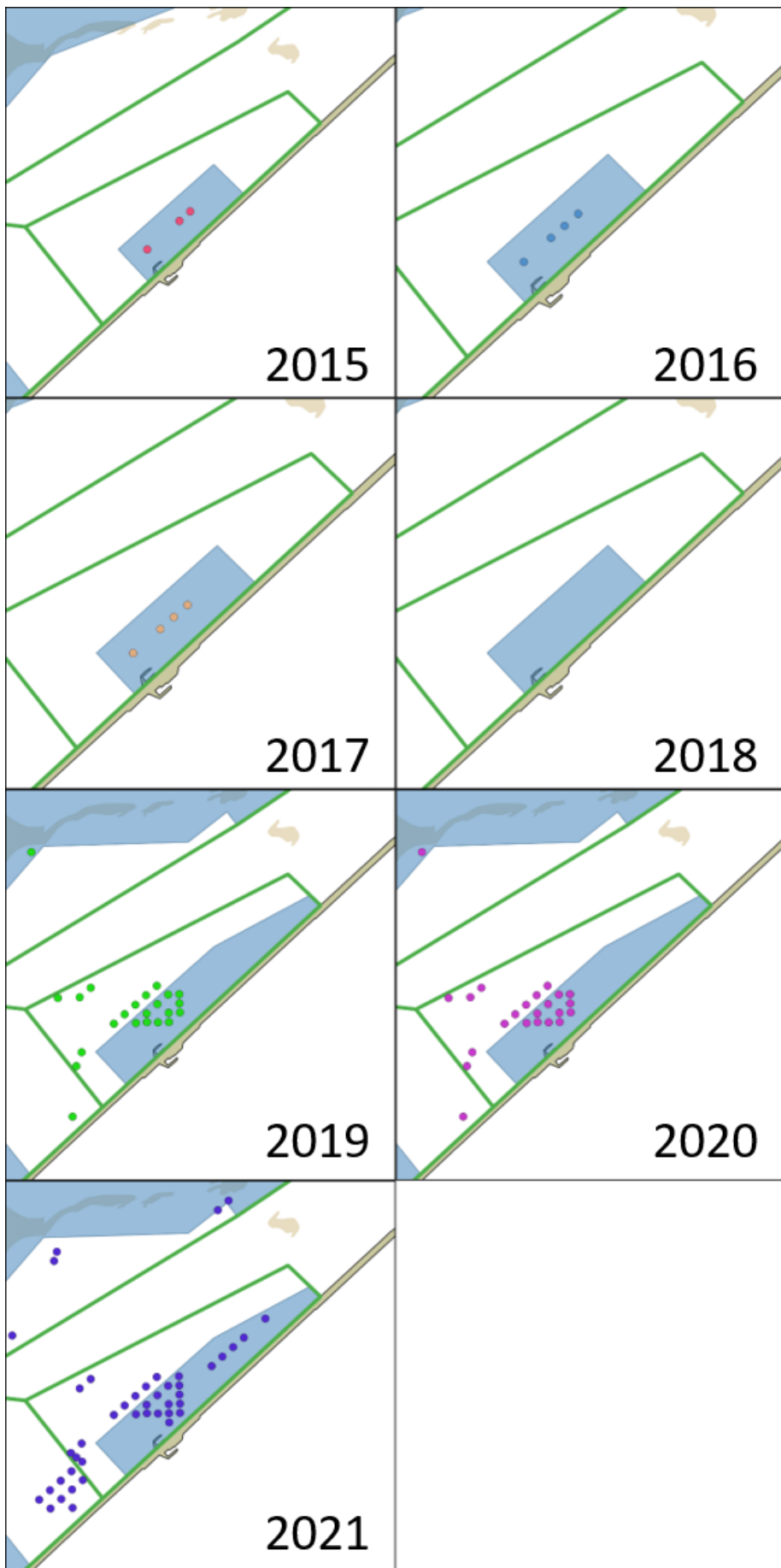
Kaart 3. 1. Onderzoeksgebied Molenrak



Kaart 3. 2. Onderzoeksgebied Vlieter



Kaart 3. 3. Onderzoeksgebied Westkom-Omdraai



Kaart 3. 4. Onderzoekgebied Breezanddijk

Bijlage 4 Ontwikkeling van de bodemgemeenschappen in voor
garnalenvisserij open en gesloten gebieden. Ligging van de
monsterpunten per onderzoeksgebied en per jaar.

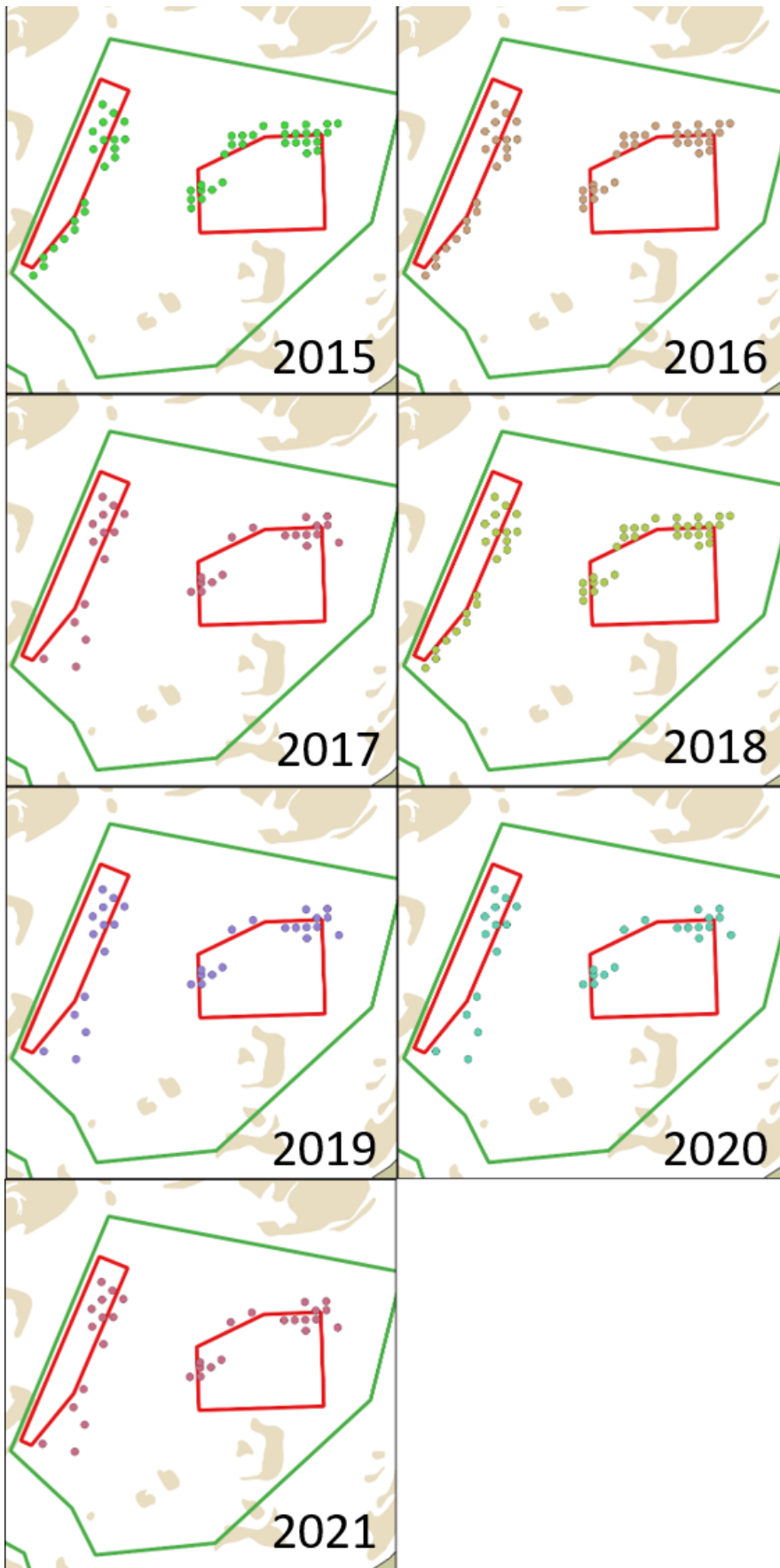
Kaart 4.1: Onderzoeksgebied Molenrak

Kaart 4.2: Onderzoeksgebied Vlieter

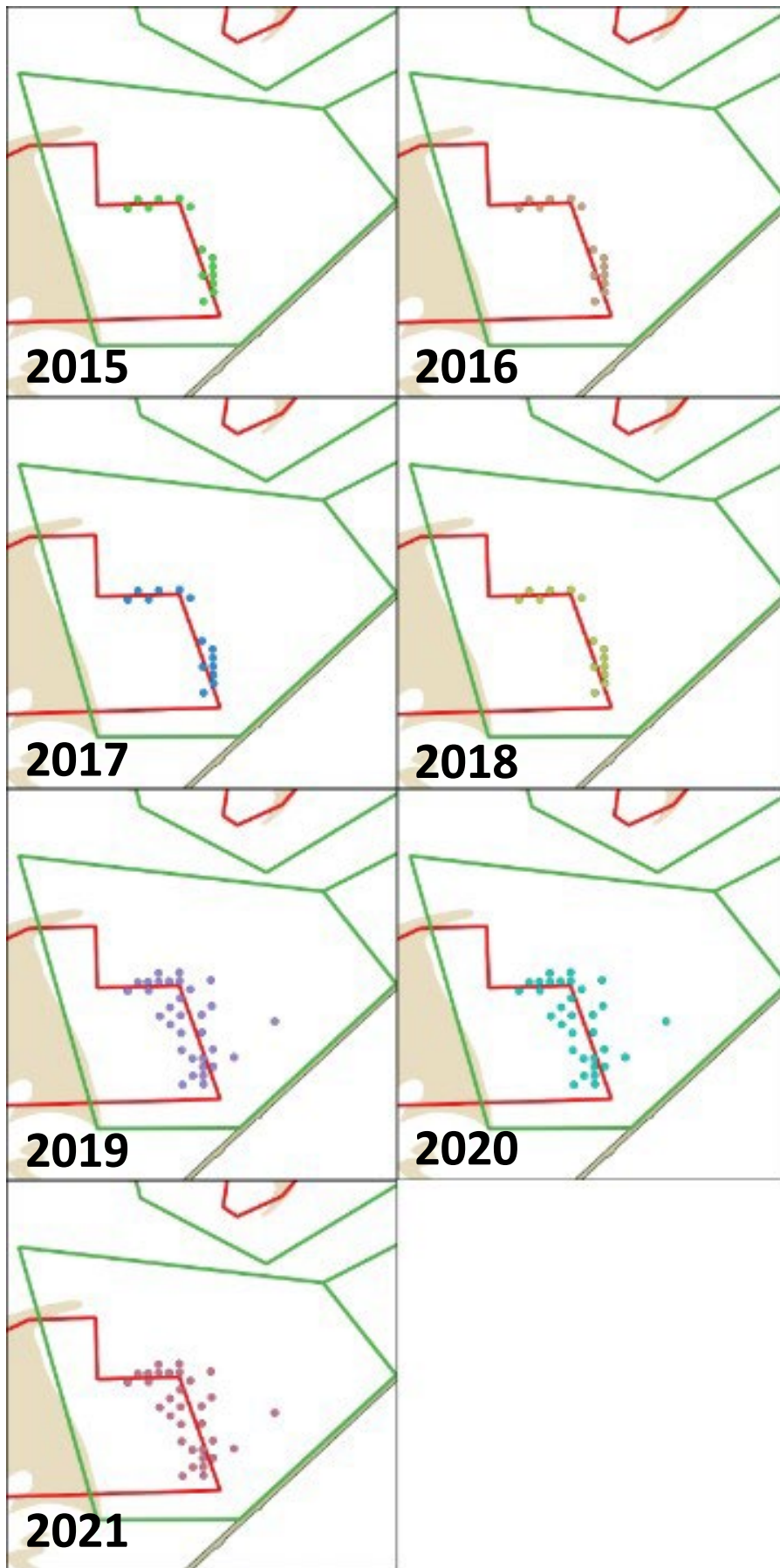
Kaart 4.3: Onderzoeksgebied Westkom-Omdraai

Kaart 4.4: Onderzoeksgebied Breezanddijk

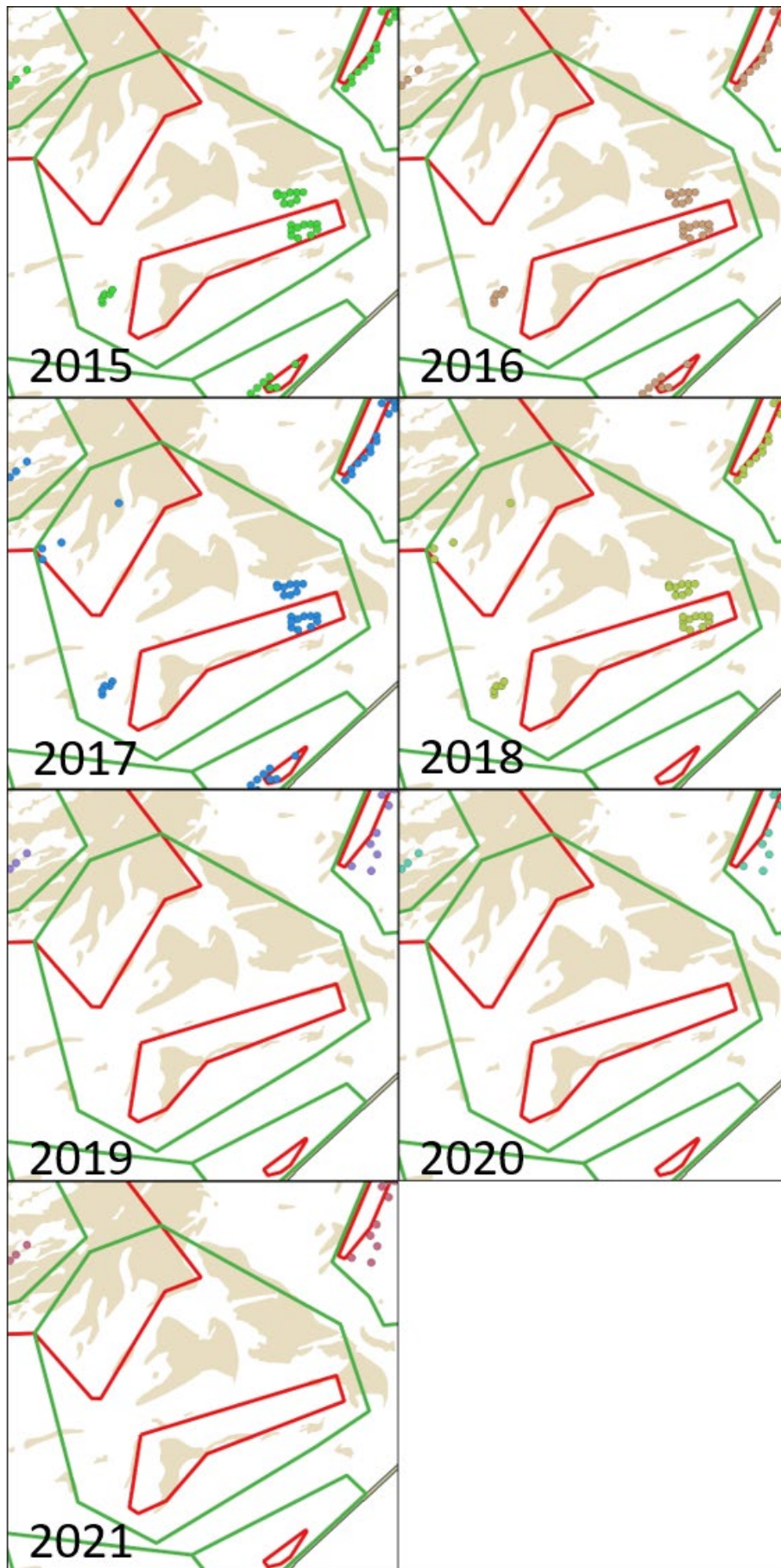
Kaart 4.5: Onderzoeksgebied Eierlandsegat



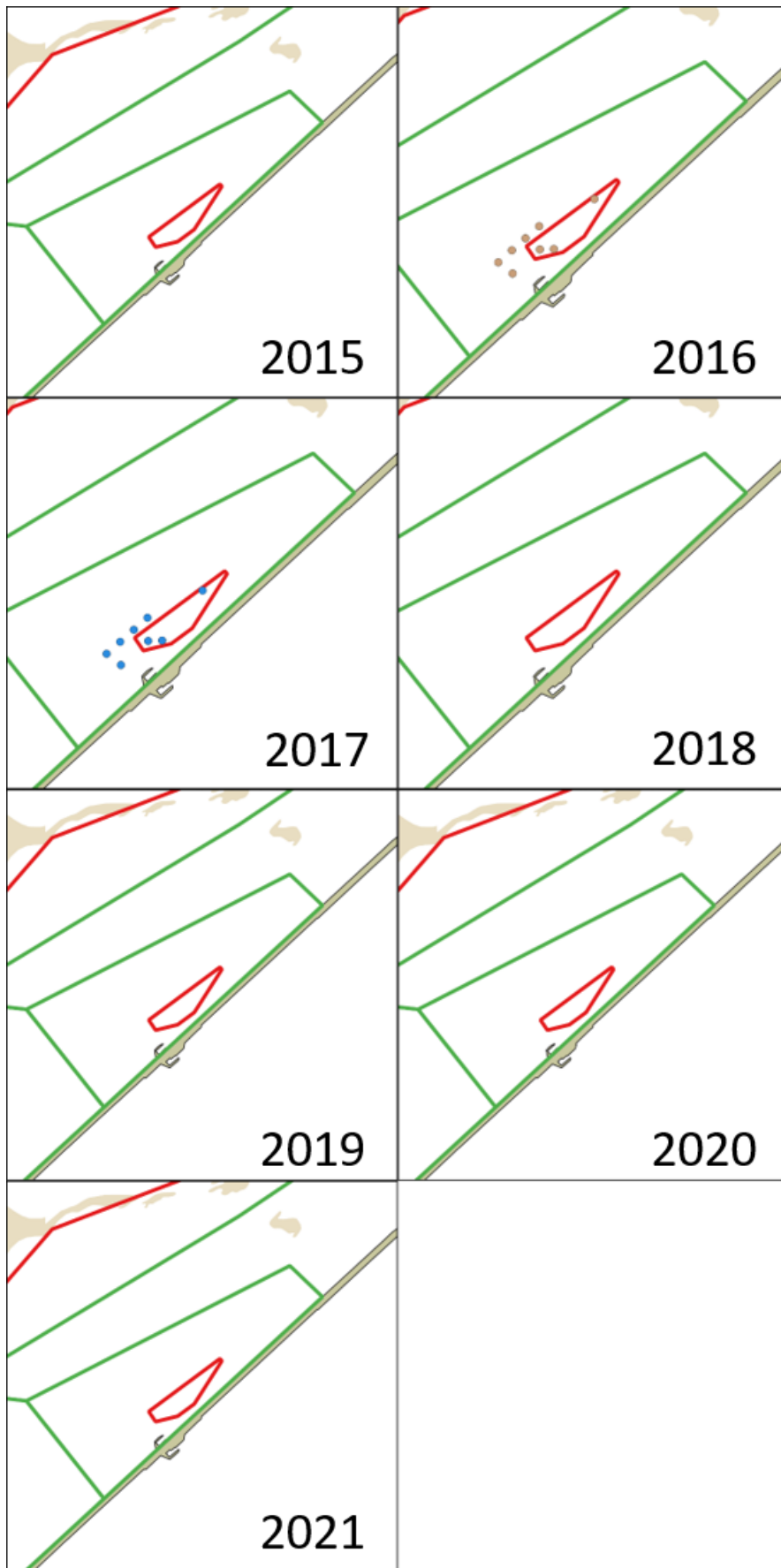
Kaart 4. 1. Onderzoeksgebied Molenrak



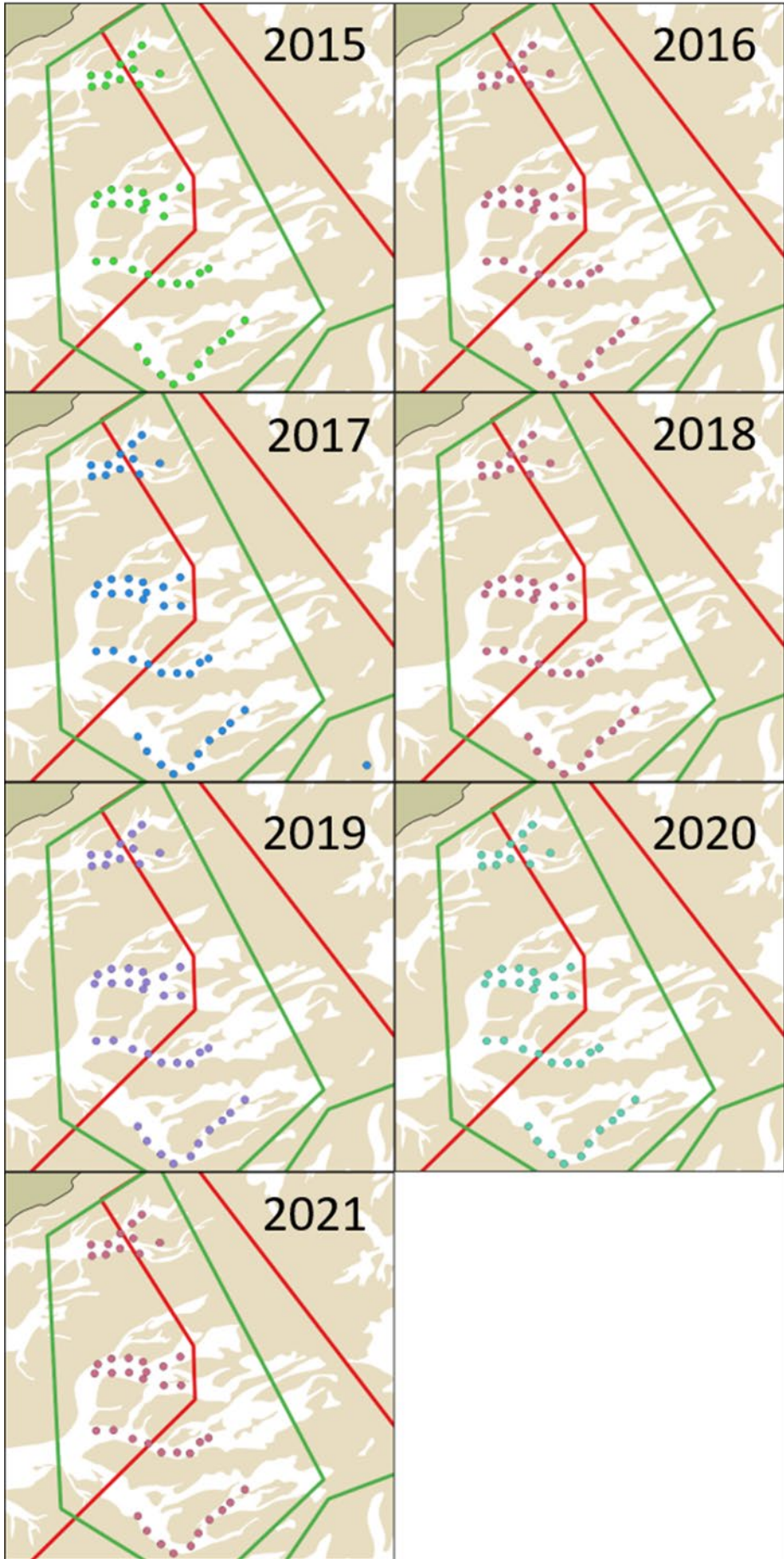
Kaart 4. 2. Onderzoeksgebied Vlieter



Kaart 4. 3. Onderzoeksg gebied Westkom-Omdraai



Kaart 4. 4. Onderzoeksgebied Breezanddijk



Kaart 4. 5. Onderzoeksgedebied Eierlandsegat

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'