



Veranderingen in ecotopen over 10 jaar na aanleg van de Zandmotor

Monitoring en evaluatie 2010-2020

Auteur(s): S.C. van Donk, J.W.M. Wijsman

Wageningen University &
Research rapport C100/20

Veranderingen in ecotopen over 10 jaar na aanleg van de Zandmotor

Monitoring en evaluatie 2010-2020

Auteur(s): S.C. van Donk, J.W.M. Wijsman

Wageningen Marine Research Yerseke

Wageningen Marine Research
Yerseke, november 2020

Wageningen Marine Research rapport C100/20

Keywords: Ecotopenkaarten, Benthos, Zandmotor

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat WVL
T.a.v.: Petra Damsma
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/535128>.
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
vertegenwoordigd door
Dr. ir. J.T. Dijkman, Managing director

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

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

A_4_3_1 V30 (2020)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doelstelling	8
2 Methoden	9
2.1 Ontwikkeling van een ecotopenclassificatie	9
2.2 Abiotische parameters	9
2.2.1 Droogvalduur	10
2.2.2 Gemiddelde bodemschuifspanning en stroomsnelheid	12
2.2.3 Mediane korrelgrootte	14
2.3 Relatie tussen abiotiek en de bodemdiergemeenschap	15
2.4 Ecotopenclassificatie	16
2.5 Diversiteit aan ecotopen in het gebied rond de Zandmotor	17
3 Resultaten	19
3.1 Veranderingen over de tijd in ecotopen	19
3.2 Ecotopen en de bodemdiergemeenschap	24
4 Conclusies	26
4.1 Conclusie	26
4.2 Natuurwaarden Zandmotor in verandering ecotopen	26
4.3 Ecotopen en ontwikkeling bodemdiergemeenschap	27
5 Kwaliteitsborging	29
Literatuur	30
Verantwoording	31

Samenvatting

De Zandmotor is in 2011 aangelegd als innovatieve pilot ter bescherming van de kust. Deze megasuppletie is een alternatief voor meerdere kleine strand- en vooroeversuppleties die tevens frequenter moeten worden uitgevoerd. Een megasuppletie biedt naast financiële voordelen (minder kosten per m³ zand) mogelijk ook voordelen voor natuurwaarden. Ten eerste omdat het bodemleven langer de tijd krijgt om zich te herstellen en ten tweede omdat een megasuppletie effect heeft op de abiotische randvoorwaarden wat kan leiden tot meer variatie in ecotopen. In deze rapportage is onderzocht of de aanleg van de Zandmotor heeft geleid tot een hogere variëteit aan habitats, die ruimte zouden kunnen bieden aan diverse soorten fauna.

De ontwikkeling van habitats is gevolgd van het jaar voor de aanleg van de Zandmotor in 2011 tot en met 2019 met behulp van ecotopenkaarten. Ecotopen zijn gebieden met een min of meer homogene landschappelijke eenheid, die bepaald worden door specifieke abiotische, biotische of antropogene condities ter plaatse. In deze studie is gebruik gemaakt van de abiotische condities droogvalduur, bodemschuifspanning door golven en stroming, gemiddelde stroomsnelheid en mediane korrelgrootte. Met behulp van bodemdiergegevens in het gebied hebben we categorieën voor elke abiotische variabele bepaald en deze gebruikt om 10 verschillende ecotopen te definiëren. In de vooroever zijn vier ecotopen die onderscheiden worden door hoog- of laagdynamische condities (bodemschuifspanning door golven en stroming) en een relatief grove of fijne mediane korrelgrootte. Beschut water is onderscheiden van delen in de vooroever door een lage stroomsnelheid. Verder zijn er vier ecotopen in het intergetijdengebied die onderscheiden worden door hoog- of laagdynamische condities (bodemschuifspanning door golven en stroming) en de mate van droogval (hoog of laag). De laatste onderscheiden ecotoop is het strand.

De aanleg van de Zandmotor heeft de arealen en variëteit aan ecotopen duidelijk veranderd. De ecotopen in de vooroever zijn afgenomen met ongeveer 130 hectare en het strand is toegenomen met bijna 70 hectare. Over de tijd is het areaal vooroever na de aanleg weer iets toegenomen, door erosie van de Zandmotor, waardoor de netto afname is gezakt tot 100 hectare en het strand weer afgenomen tot een netto toename van ongeveer 30 hectare. Het intergetijdengebied is ook toegenomen met ongeveer 60 hectare door de aanleg van de Zandmotor, maar het totale areaal schommelt wat over de tijd. Tevens heeft de Zandmotor geleid tot een relatief beschutte lagune wat een uniek habitat is voor de Noordzee kustzone. Binnen het intergetijdengebied is vooral het beschutte lage en hoge intergetijdengebied toegenomen. In de vooroever heeft de eroderende kop van de Zandmotor tijdelijk gezorgd voor een hogere bodemschuifspanning en stroomsnelheid (>4 m/s) dichtbij het strand. Verder is relatief grover sediment toegenomen in de vooroever. Dit zou een effect van de Zandmotor kunnen zijn die mogelijk grover sediment heeft aangebracht dan voorheen aanwezig was in het gebied. Algeheel is de diversiteit aan ecotopen in het gebied rond de Zandmotor toegenomen; de diversiteitsindex is toegenomen van ~1.2 naar ~1.6.

Vervolgens hebben we de ecotopenindeling geverifieerd met de bodemdiergemeenschap. Ecotopen verschillen in het voorkomen van bodemdieren. Ecotopen in de vooroever zijn over het algemeen soortenrijker en hebben een hogere biomassa en dichtheid dan ecotopen in het intergetijdengebied. Binnen het intergetijdengebied is het lage intergetijdengebied over het algemeen rijker aan bodemleven dan het hoge intergetijdengebied. In het beschutte water (vooral lagune) vonden we weinig soorten en biomassa aan bodemdieren. Dit is te verklaren doordat stroomsnelheid hier laag is, waardoor voedsel makkelijk naar de bodem zakt. Mediane korrelgrootte lijkt enigszins van belang; er zijn iets meer soorten in ecotopen in de vooroever met fijner sediment, maar dit resultaat is niet eenduidig. Naast de totale bodemdiergemeenschap hebben soorten ook specifieke voorkeuren in habitat. Van de zes specifieke soorten die wij bekeken hebben, vonden we vijf soorten vooral in de vooroever, maar de gemshorenworm (*Scolelepis (Scolelepis) squamata*) heeft juist een voorkeur voor het intergetijdengebied.

Concluderend heeft de aanleg van de Zandmotor geleidt tot een afname van het areaal vooroever. Dit ecotoop komt algemeen voor langs de Nederlandse kust en is relatief rijk aan bodemdieren (biomassa en diversiteit). Het gebied is door de aanleg van de Zandmotor wel diverser geworden in abiotiek en ecotopen, wat mogelijk ruimte biedt voor specifieke bodemdieren en foeragerende vogels.

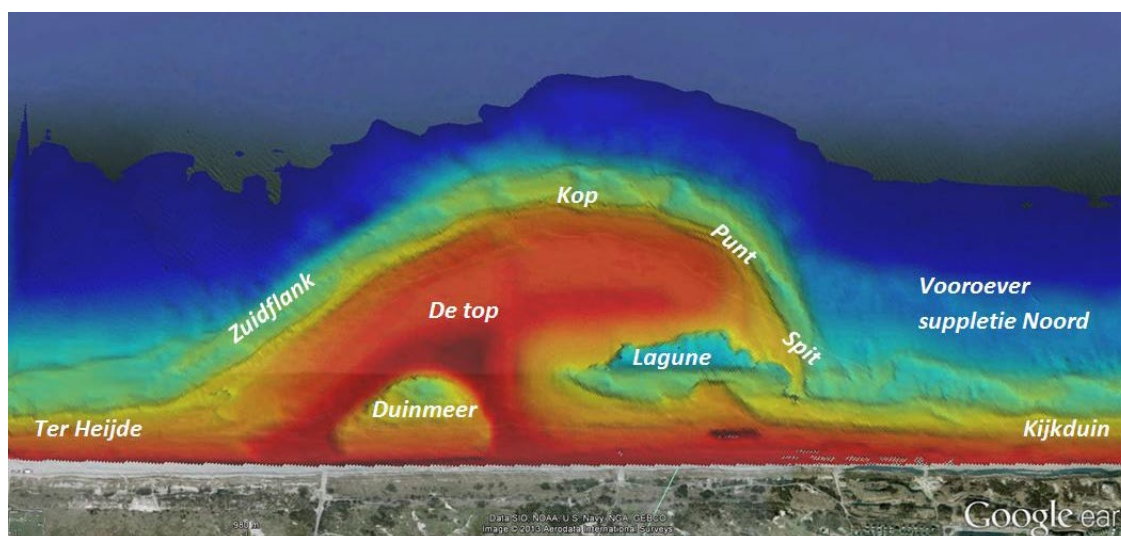
1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tussen maart en oktober 2011 is in opdracht van Rijkswaterstaat en de Provincie Zuid-Holland een grootschalige strandsuppletie aangelegd tussen Ter Heijde en Kijkduin, de Zandmotor (Figuur 1). De Zandmotor is een schiereiland in de vorm van een haak. Bij de aanleg stak de Zandmotor 1,5 km de zee in en was hij aan het strand 2 km breed. Op basis van modellen was voorspeld dat de Zandmotor langzaam erodeert door wind, golven en getijdenbeweging en dat het zand op die manier de kustlijn met name ten noorden van de Zandmotor versterkt (Fiselier 2010; Stive, de Schipper, et al. 2013; Stive, De Schipper, et al. 2013). Voor de aanleg is ongeveer 21,5 miljoen m³ zand gebruikt, waarvan 19 miljoen m³ is gebruikt voor de aanleg van de haak en de rest voor additionele vooroeversuppleties ten noorden en ten zuiden van de zandhaak. De Zandmotor is het eerste experiment met een zogenaamde megasuppletie.

Een megasuppletie als de Zandmotor is een alternatief voor de strand- en vooroeversuppleties die iedere 4-5 jaar herhaald moeten worden. Ook is een megasuppletie per kuub zand goedkoper dan een aantal kleinere vooroever en strand suppleties die in dezelfde tijd zouden moeten gebeuren om de kust in vorm te houden. De verwachting was dat een Zandmotor een levensduur heeft van ongeveer 20 jaar (Stive, de Schipper, et al. 2013; Stive, De Schipper, et al. 2013). Daarnaast wordt bij een megasuppletie een relatief klein oppervlak (1.5 km²) van de bodemdiergemeenschap met een dikke laag zand bedekt, terwijl bij reguliere vooroever- en strandsuppleties de bodemdiergemeenschap elke 4-5 jaar met een laag zand bedekt wordt. Het ruimere gebied rondom de Zandmotor wordt geleidelijk voorzien met zand dat erodeert van de Zandmotor.

Aangenomen wordt dat de meeste soorten bodemdieren die van nature in de dynamische kustzone voorkomen om kunnen gaan met deze geleidelijke bedekking met zand die door ze Zandmotor wordt veroorzaakt. Tenslotte wordt verwacht dat een megasuppletie ook een positief effect kan hebben voor natuurwaarden doordat een grotere variëteit aan habitats worden gecreëerd. De vorm van de Zandmotor leidt namelijk tot een grotere diversiteit in habitats (stroomsnelheid, golfenergie en sedimentsamenstelling) dan normaliter voorkomt in het gebied. Zo is er een relatief beschutte lagune, een eroderende kop en een groter oppervlakte droogvallend zand die mogelijk ruimte bieden voor diverse soorten flora en fauna.



Figuur 1 Benaming deelgebieden op de Zandmotor, overgenomen uit (Shore 2016).

Gezien de experimentele aard van de megasuppletie Zandmotor, is een monitorings- en evaluatieprogramma gestart om ontwikkelingen op en rond Zandmotor te volgen en kennis en ervaring op te bouwen. Hiervoor zijn vier hoofddoelstellingen en een beheerdoelstelling geformuleerd in het MER (Fiselier 2010);

- MER 1: Het stimuleren van natuurlijke duinaangroei in het kustgebied tussen Hoek van Holland en Scheveningen voor veiligheid, natuur en recreatie;
- MER 2: Het ontwikkelen van kennis en innovatie om de vraag te beantwoorden in welke mate kustonderhoud meerwaarde voor recreatie en natuur kan opleveren;
- MER 3: Het toevoegen van aantrekkelijk recreatie- en natuurgebied aan de Delflandse Kust;
- MER 4: Het vergaren van voldoende en adequate informatie om de Zandmotor en omgeving op een goede wijze te kunnen beheren.

Bovenbeschreven doelen zijn vertaald naar hypothesen en evaluatievragen (Ebbens and Fiselier 2010) om tot een monitoringsprogramma te komen. In Tonnon et al. (2011) zijn deze vragen uitgewerkt tot de concrete opzet van het huidige monitorings- en evaluatieprogramma van de Zandmotor voor de periode 2011 tot en met 2021. Dit programma is gericht op het evalueren van de MER-doelen en de beheerdoelstellingen van de Zandmotor en het kunnen voldoen aan de vergunningsvoorwaarden betreffende het aanleveren van monitoringsgegevens. Deze rapportage focust zich met name op het inventariseren van een onderdeel van MER doelstelling 3. De relevante hypothesen bij MER doelstelling 3 op het strand en ondiepe kustzone zijn:

- Hypothese EF3-1b1: Als gevolg van de aanwezigheid van luwe (lagune) en geëxponeerde gebieden (zeezijde) zal de zandhaak zich karakteriseren door een diversiteit in sedimentsamenstelling
- Hypothese EF3-1b2: De aanleg van de Zandmotor zal leiden tot hogere natuurwaarden in het intergetijdengebied en de ondiepe kustzone als gevolg van de creatie van nieuwe habitats en toegenomen variatie in habitats
- Hypothese EF3-1b3: De sterke gradiënten (geëxponeerd strand en luwe lagune) als gevolg van de aanleg van de Zandmotor zullen zich vertalen in een andere en meer diverse bodemdiergemeenschap

Meer specifiek wordt in deze rapportage gekeken naar de ontwikkeling van habitats van strand en vooroever rond de Zandmotor door een consortium van Wageningen Marine Research en Deltares. Hierbij is Deltares verantwoordelijk voor de abiotiek (morfologie, hydrologie), het databeheer en de integratie. Wageningen Marine Research is verantwoordelijk voor de biotiek (bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren). De ontwikkeling van habitats is bekeken met behulp van ecotopenkaarten. Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse met min of meer homogene landschappelijke eenheid (Wijsman et al. 2016). Ecotopenkaarten geven inzicht in veranderingen van habitats over tijd.

In een eerdere rapportage is al een eerste aanzet gedaan voor de ontwikkeling van ecotopenkaarten voor de periode 2010-2015 (Wijsman et al. 2016). In die studie zijn ecotopen geclassificeerd gebaseerd op abiotische parameters droogvalduur, bodemschuifspanning en getijdenstroming. De eerste jaren na de aanleg van de Zandmotor was er een duidelijk effect op de arealen en verspreiding van ecotopen. Zo nam vooral het areaal beschut water en strand toe door de ontstane beschutte lagune (Figuur 1), wat goed leefgebied biedt voor een aantal specifieke soorten bodemdieren. Ten noorden en zuiden van de zandmotor nam het areaal geëxponeerd strand toe. Echter waren de gebruikte ecotopen in deze rapportage niet gevalideerd met bodemdiergegevens en is een mogelijk belangrijke abiotische parameter, sedimentsamenstelling, niet meegenomen in de classificatie. In deze rapportage wordt de verdere ontwikkeling van ecotopen tussen 2010-2019 rond en op de Zandmotor gepresenteerd. Tevens valideren wij de ecotopen waar mogelijk met bodemdiergegevens en onderzoeken we de rol van sedimentsamenstelling voor de classificatie van ecotopen. Hiermee focussen wij ons met name op het testen van hypothese EF3-1b2.

1.2 Doelstelling

Deze rapportage richt zich op het in kaart brengen van veranderingen in natuurwaarden en richt zich voornamelijk op de hypothese EF3-1b2 geformuleerd door Tonnon e.a., 201;

De aanleg van de Zandmotor zal leiden tot hogere natuurwaarden in het intergetijdengebied en de ondiepe kustzone als gevolg van de creatie van nieuwe habitats en toegenomen variatie in habitats.

Veranderingen in habitats zijn onderzocht door de verschillende gebieden op en rond de Zandmotor te classificeren in ecotopen. Een ecotoop is een ruimtelijke gebiedseenheid met (verwachte) bepaalde ecologische eigenschappen (Bouma et al. 2005). In de vorige rapportage over dit onderwerp zijn de verschillende ecotopen voor het gebied geclassificeerd met behulp van de parameters droogvalduur, gemiddelde bodemschuifspanning en gemiddelde stroomsnelheid. In deze rapportage is ook de sedimentsamenstelling (mediane korrelgrootte) meegenomen. Vervolgens is bekeken of de ecotopen types valide waren, door de verschillen in bodemdiersamenstelling te analyseren per ecotooptype. Door de veranderingen in oppervlakte en ligging van deze ecotopen te analyseren, is geprobeerd om de veranderingen in natuurwaarden als gevolg van de Zandmotor in kaart te brengen.

2 Methoden

2.1 Ontwikkeling van een ecotopenclassificatie

Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse met min of meer homogene landschappelijke eenheid (Wolfert 1996). Een ecotopenstelsel is een classificatiesysteem van ecotopen waarin de van belang zijnde ecotopen in een gebied op overzichtelijke wijze gerangschikt zijn. Kenmerkend voor een ecotopenstelsel is dat de indelingskenmerken van het stelsel zijn gekoppeld aan beleids- en beheermaatregelen (Bouma et al. 2005).

Voor de zoute wateren in Nederland is het ZES (Zoute wateren Ecotopen Stelsel) (Bouma et al. 2005; Wijsman and Verhage 2004) een veelgebruikte ecotopenclassificatie. De ZES ecotopenclassificatie is gebaseerd op parameters als zoutgehalte, substraat, diepte, overspoelingsduur, hydrodynamiek en sedimentsamenstelling. Dit zijn parameters die vooral in gebieden als de bekkens in de Zuidwestelijke Delta en in de Waddenzee sterk variëren. Voor het gebied op en rond de Zandmotor is het ZES ecotopenstelsel niet volledig over te nemen. Sommige variabelen van de ZES classificatie, zoals zoutgehalte en substraat, hebben namelijk maar weinig variatie binnen het onderzoeksgebied en kunnen dus niet gebruikt worden om gebieden van elkaar te onderscheiden.

Andere variabelen in abiotiek binnen het onderzoeksgebied zijn wel bruikbaar. In Wijsman et al (2016) is een eerste aanzet gedaan voor deze ecotopenclassificatie, specifiek voor het gebied op en rond de Zandmotor. Hiervoor zijn parameters gebruikt waarvan verwacht werd veel variatie te vinden binnen het onderzoeksgebied en waarvan gebiedsdekkende kaarten beschikbaar waren. Er werd daarom gekozen voor de parameters droogvalduur, gemiddelde bodemschuifspanning en gemiddelde stroomsnelheid. In deze studie is daarnaast ook mediane korrelgrootte meegenomen als potentiële parameter. De berekeningen en gebruik van de parameters worden verder uiteengezet in H2.2.

Ecotopenkaarten zijn gemaakt voor de periode tussen 2010 en 2019. Omdat er niet in alle jaren in dezelfde mate gegevens zijn verzameld, presenteren we kaarten voor de jaren 2010, 2012, 2013, 2015, 2017 en 2019. Daarnaast zijn de keuzes tussen de verschillende ecotopen eerder soms wat arbitrair en praktisch genomen. Daarom hebben we in deze rapportage de verschillende ecotopen ook geverifieerd met de bodemdiergemeenschap.

2.2 Abiotische parameters

Hieronder wordt per gebruikte parameter kort beschreven hoe de data is verkregen en gebruikt. Gezien een groot deel van de analyse op dezelfde manier is uitgevoerd als in Wijsman et al. (2016), verwijzen we regelmatig naar deze rapportage.

In deze rapportage is net als in Wijsman et al. (2016) gebruik gemaakt van een modelsysteem voor de berekening van een aantal abiotische parameters. Details en validatie van dit model staan beschreven in het validatierapport (Deltares 2014). In Wijsman et al. (2016) staat een bondigere versie van het model. In het kort, worden de voorspellingen voor het gebied rondom de Zandmotor gemaakt op basis van de Delft3D software (Lesser et al. 2004). Dit modelsysteem is ontwikkeld voor het modelleren van hydrodynamica, sedimenttransport en morfologie in kusten, rivieren en meren. Voor de Zandmotor modellering zijn twee modules van Delft3D gebruikt zodat de interactie tussen golven, stromingen en waterstanden meegenomen konden worden. De FLOW module berekent het getij en de wind-gedreven waterstanden en stromingen, de WAVE module berekent de wind-gedreven opwekking en propagatie van golven. Deze grootschalige processen zijn eerst gemodelleerd op grote schaal, en vervolgens op kleinere, maar op hogere resolutie bepaald. Het uiteindelijke Zandmotor

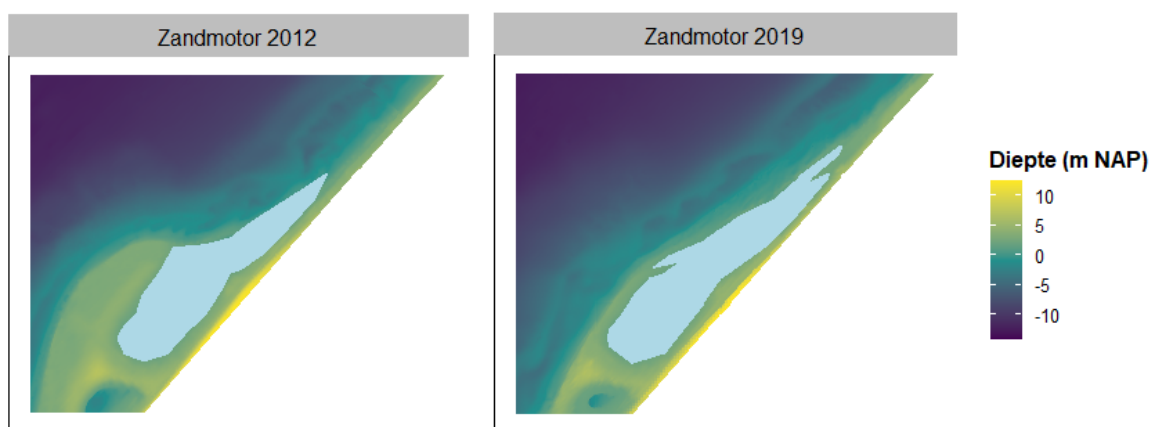
model bestrijkt een gebied van ongeveer 10 km rondom de Zandmotor met een gridresolutie van 50 bij 50 meter. Alle modelberekeningen zijn uitgevoerd met kenmerkende weerscondities in de maand september voor elk jaar apart, omdat ook de bemonstering van de bodemdieren bij de Zandmotor in deze periode plaatsvond (Wijsman et al. 2016).

2.2.1 Droogvalduur

Voor de berekening van droogvalduur zijn dieptekaarten gebruikt en waterstanden. Voor de dieptekaarten zijn verschillende bronnen gebruikt; vaklodingen, Jarkus metingen, NEMO Delflandse Kust en Jetski metingen op de Zandmotor uitgevoerd door Shore. De metingen verschillen in het moment en de afmeting van het gebied. Zie Wijsman et al. (2016) voor meer details over de verschillende methodes. Deze bronnen zijn gecombineerd voor gebiedsdekkende kaarten op het raster van 10 bij 10 meter, hetzelfde raster dat gebruikt is voor de andere abiotiek. Hierbij is per gridcel prioriteit gegeven aan opeenvolgend Shore metingen, vervolgens NEMO en Jarkus en tot slot vaklodings; per gridcel is enkel de data gebruikt van de bron met hoogste prioriteit.

De gemiddelde droogvalduur is sterk afhankelijk van de waterstanden. De waterstanden die door het bovenbeschreven model berekend zijn, verschillen tussen de Noordzee en de lagune (Figuur 13 uit Wijsman et al. 2016). Doordat het water als het ware gevangen wordt in de lagune met opkomend water en langzamer leegloopt met afgaand water, is de waterstand gemiddeld hoger in de lagune dan plekken met dezelfde diepte in de Noordzee. Droogvalduur is daarom apart berekend voor de lagune en de rest van het gebied. De waterstand in de lagune is waarschijnlijk veranderd over de tijd, door de steeds veranderende vorm van de lagune, maar dat is in deze studie niet meegenomen.

Om de lagunes te kunnen onderscheiden van de rest van het gebied zijn voor ieder jaar polygonen gecreëerd van de lagunes met behulp van de dieptekaarten in het programma QGIS. Hier is de lagune en de geul geselecteerd en het gebied eromheen, die lager gelegen is dan het strand en dus onder invloed is van de spit die het water tegenhoudt en de geul die het water afvoert (Figuur 2).



Figuur 2 Dieptekaart van 2012 en 2019 met de shapefile gemaakt van de lagune

In Figuur 14 uit Wijsman et al. (2016) zijn de cumulatieve frequenties van de waterstanden uitgezet voor een locatie in de lagune en op de Noordzee. Uit deze curves zijn de 1, 25, 75 en 99 percentielen berekend. De hoogteliggingen die overeenkomen met een droogvalperiode van respectievelijk 1%, 25%, 75% en 99% van de tijd zijn per locatie samengevat in Tabel 1. De grenzen van 25% en 75% droogval komen overeen met de grenzen die ook zijn gebruikt in het eerder beschreven Zoute wateren Ecotopen Stelsel en zijn bepalend voor de ecotopenclassificatie.

Op basis van de droogvalduren zijn vijf klassen gedefinieerd;

- Vooroever: droogvalduur <1%
- Laag nat strand: droogvalduur 1% - 25%
- Midden nat strand: droogvalduur 25% - 75%
- Hoog nat strand: droogvalduur 75%-99%
- Droog strand: droogvalduur > 99%

Van deze klassen behoren laag, midden en hoog nat strand tot het intergetijdengebied.

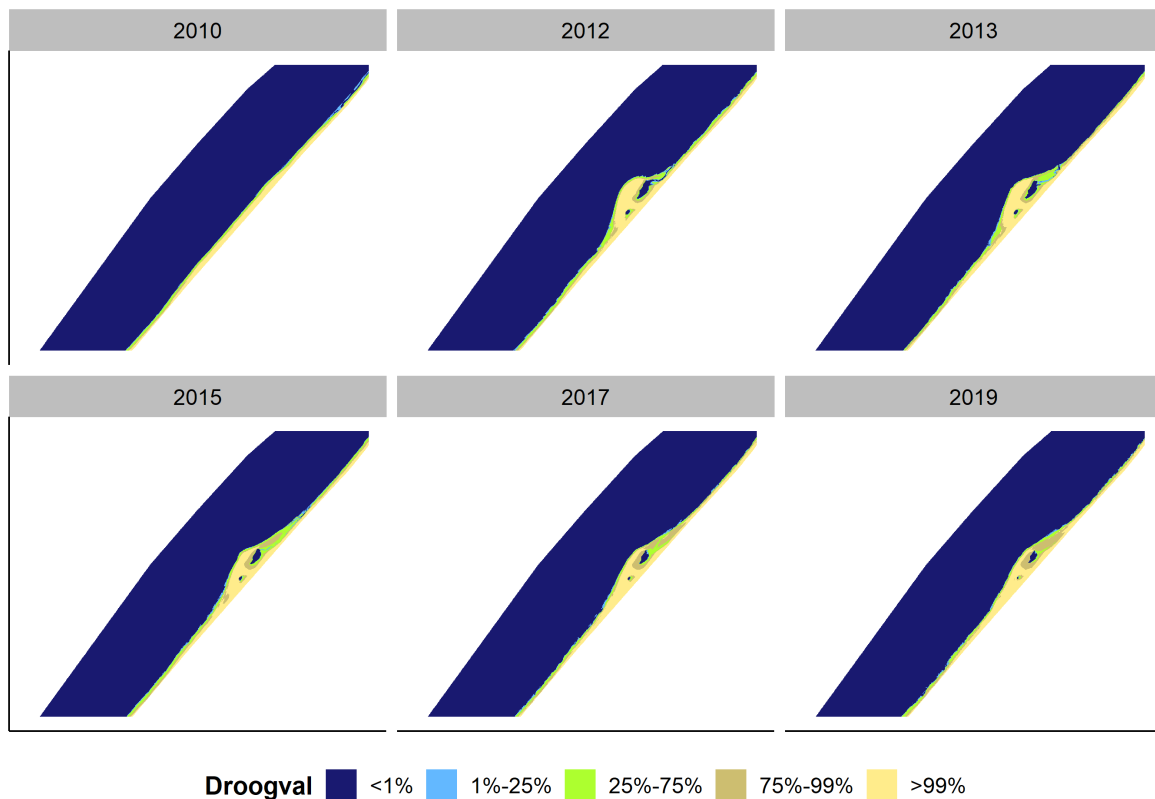
In R statistics zijn vervolgens de gridcellen met behulp van het package raster van de diepte kaarten geselecteerd die binnen de lagune vallen en er buiten, zodat aan iedere gridcel een klasse toebedeeld kon worden afhankelijk van de plek en diepte (Tabel 1) (Hijmans 2020; R Core Team 2018).

Tabel 1 Droogvalklassen voor lagune en Noordzee

Berekende hoogteligging (m NAP) behorende bij de verschillende droogvalklassen voor de locaties in de Noordzee (obs79) en de lagune (obs08) (Wijsman et al. 2016)

Droogval	Klasse	Noordzee (m NAP)	Lagune (m NAP)
<1%	Vooroever	Lager dan -0.65	Lager dan -0.13
1%-25%	Laag nat strand	-0.65 tot -0.28	-0.13 tot 0.30
25%-75%	Midden nat strand	-0.28 tot 0.85	0.30 tot 1.11
75%-99%	Hoog nat strand	0.85 tot 1.78	1.11 tot 2.11
>99%	Droog strand	Hoger dan 1.78	Hoger dan 2.11

In Figuur 3 is te zien dat de aanleg van de Zandmotor heeft geleid tot een toename van het gebied dat geheel of gedeeltelijk droogvalt (zie ook Figuur 11). Dit is vooral goed te zien rond de lagune, maar ook ten noorden en ten zuiden van de Zandmotor is dit gebied iets toegenomen. Het areaal aan droog strand is ook weer geleidelijk afgenomen over de tijd vanaf 2013.

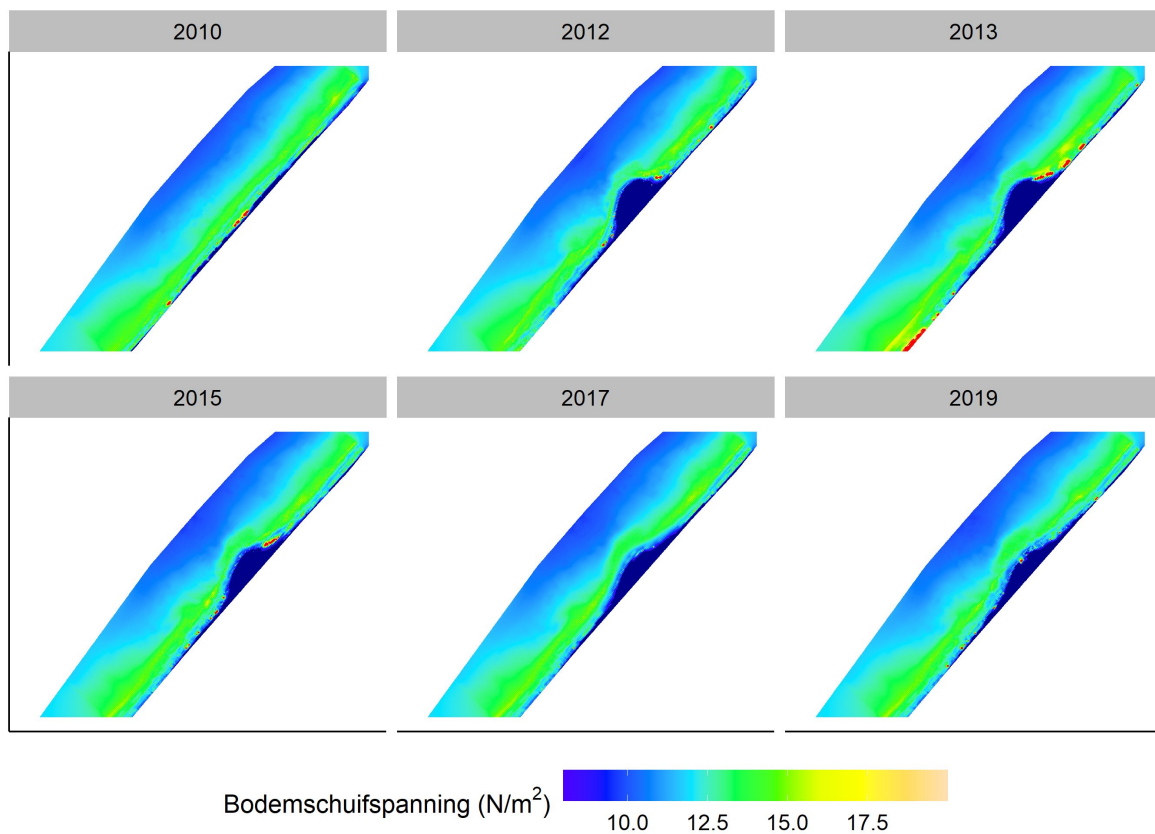


Figuur 3 Percentage droogval op en rond het gebied van de Zandmotor over de tijd.

2.2.2 Gemiddelde bodemschuifspanning en stroomsnelheid

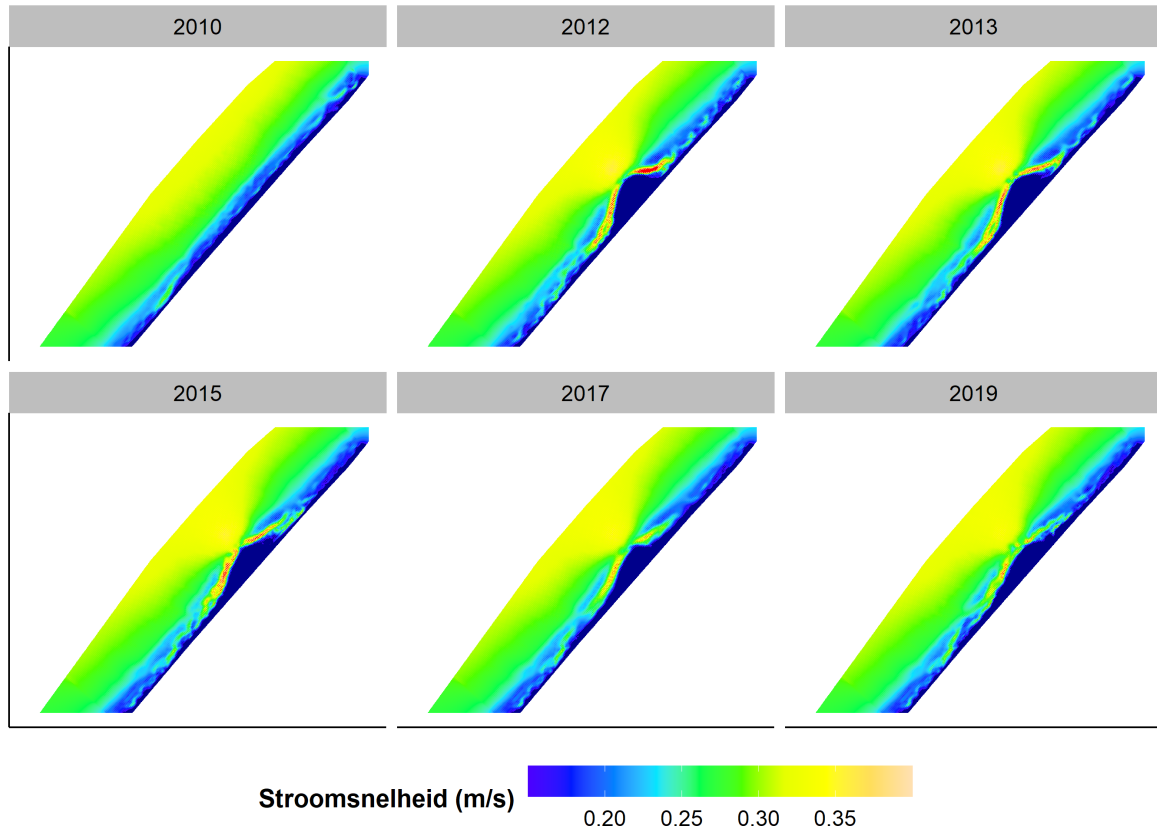
Het hierboven beschreven model (Deltares 2014) heeft voor iedere simulatie per gridcel van 50 bij 50 meter de gemiddelde bodemschuifspanning door golven en stroming (N m^{-2}) en de stroomsnelheid (m s^{-1}) over een periode van 27 augustus tot en met 1 oktober berekend. Beide variabelen zijn vervolgens op een raster van 10 bij 10 meter geïnterpoleerd met behulp van 'Inverse Distance Weighting'. Hetzelfde raster is gebruikt voor de andere abiotische parameters. Voor deze beide parameters zijn de resultaten hiervan in een figuur geplot.

De bodemschuifspanning door golven en stroming neemt over het algemeen af met diepte (Figuur 4). Dit is het duidelijkst te zien in de bodemschuifspanning van 2010. In dieper water hebben de golven minder effect op de bodem. De aanleg van de Zandmotor heeft meer dynamiek gebracht in de bodemschuifspanning; een hoge bodemschuifspanning is te zien rond de kop van de Zandmotor. Deze hogere bodemschuifspanning lijkt in de laatste jaren weer iets afgevlakt te zijn.



Figuur 4 Gemiddelde bodemschuifspanning door golven en stroming op en rond het gebied van de Zandmotor over de tijd. Waardes onder de 8 N/m^2 zijn donkerblauw gekleurd en waardes groter dan 20 N/m^2 zijn rood.

Ook voor de gemiddelde stroomsnelheid is voor iedere gridcel een gemiddelde berekend. In Figuur 5 is te zien dat over het algemeen stroomsnelheid toeneemt met diepte. De Zandmotor heeft ook hier weer gezorgd voor een verandering in stromingspatronen. Met name rond de kop en de zuidrand van de Zandmotor is een hoge stroomsnelheid te zien. De stroomsnelheid in de lagune is laag (<0.15 m/s).



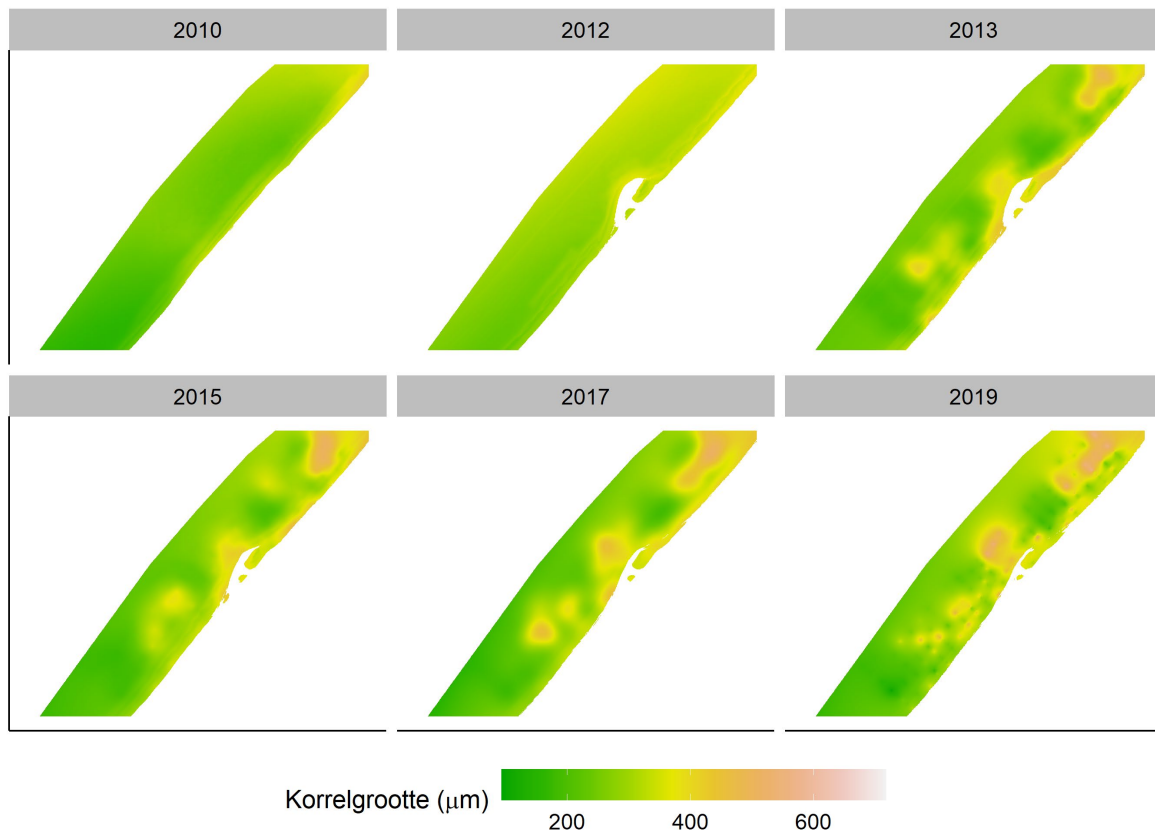
Figuur 5 Stroomsnelheid op en rond het gebied van de Zandmotor over de tijd. De continue schaal loopt van 0.15-0.40 m/s. Waardes onder de 0.15 m/s zijn donkerblauw gekleurd en waardes groter dan 0.40 m/s zijn rood.

2.2.3 Mediane korrelgrootte

In het najaar van 2010, 2012, 2013, 2015, 2017 en 2019 zijn sedimentmonsters genomen voor de analyse van de korrelgrootteverdeling. Per jaar zijn dit respectievelijk 133, 197, 309, 332, 330 en 326 sedimentmonsters in het gebied rond de Zandmotor. De meeste monsters zijn genomen in de ondiepe kustzone (~75%), en een aantal op het strand. Voor de ondiepe kustzone is een monster genomen uit het verzamelde sediment van de Van Veen happer. Deze Van Veen happer is gebruikt voor het bemonsteren van bodemdieren (Wijsman, Ende, and Brummelhuis 2018). Hiervoor is een steekbuis (\varnothing 3 cm) 5 cm in het sediment gestoken. De monsters op het strand zijn verzameld direct naast de plek waar bodemdieren bemonsterd zijn. Korrelgrootteverdeling is geanalyseerd door laserdiffractie met een Malvern Mastersizer (detectie range 0.02 – 2000 μm), op het laboratorium van het NIOZ in Yerseke. Verdere details over de gebruikte methodes zijn te lezen in de rapportage van Wijsman et al. (2017).

Omdat de sedimentbemonstering niet gebiedsdekkend is, hebben we de bemonsterde punten geëxtrapoleerd over het hele gebied van het Zandmotor model. Hiervoor is een krigging interpolatie gebruikt op het raster van 10 bij 10 m dat ook is gebruikt voor de andere abiotiek. Omdat met name in de eerste twee jaar niet veel datapunten beschikbaar waren, zijn diepte en x en y coördinaten gebruikt als co-variabelen. Op deze manier kon de mediane korrelgrootte beter ruimtelijk voorspeld worden.

In Figuur 6 is de verandering van mediane korrelgrootte over de tijd uitgezet. In 2010, het jaar voor de aanleg van de Zandmotor, is al een ruimtelijke variatie te zien van mediane korrelgrootte met relatief fijner sediment in het zuiden en grover sediment in het noorden. De Zandmotor lijkt te zorgen voor de toevoer van grover sediment over de tijd, met name vanaf 2013. Grover sediment verspreidt zich over het gebied, vooral naar het noorden maar ook naar het zuiden. Dit is duidelijk te zien in het kaartje van 2019. In het zuiden blijft het sediment relatief fijner.



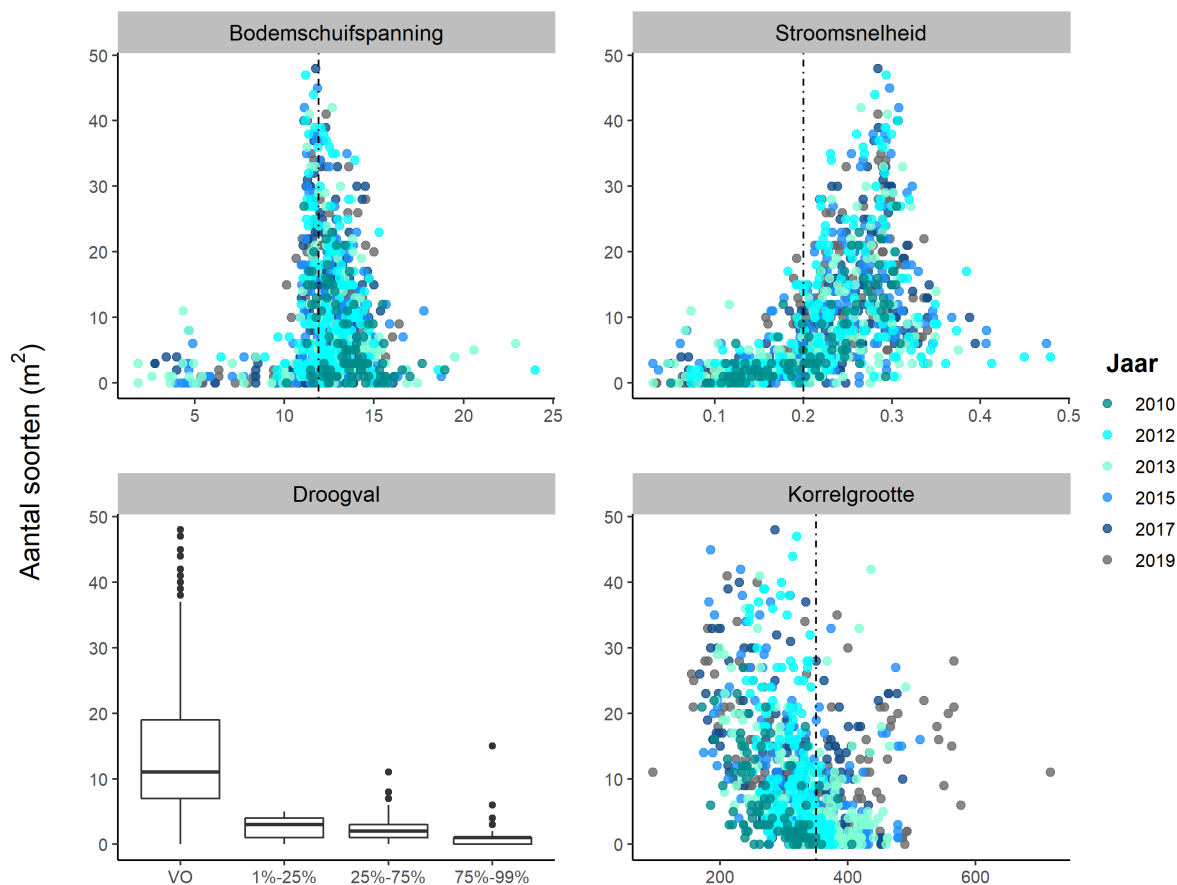
Figuur 6 Mediane korrelgrootte op en rond het gebied van de Zandmotor over de tijd. Het droge strand van de Zandmotor is weggelaten op deze plots, omdat er geen monsters zijn genomen op de Zandmotor zelf.

2.3 Relatie tussen abiotiek en de bodemdiergemeenschap

Voor het maken van ecotopenkaarten, moeten er keuzes gemaakt worden in het bepalen van de grenswaardes in de abiotiek. In deze rapportage zijn gegevens van de bodemdiergemeenschap gebruikt om deze keuzes waar mogelijk te onderbouwen met gegevens van de bodemdiergemeenschap. Deze bodemdiergemeenschap is in de gepresenteerde jaren bemonsterd op zowel strand als zeebodem. De zeebodem is bemonsterd met zowel een Van Veen happer als de Bodemschaaf. Voor deze rapportage hebben we enkel gebruik gemaakt van de data van van Veen happer, omdat met deze methode meer soorten worden bemonsterd. Daarnaast wordt met de Van Veen happer op een precieze locatie bemonsterd, in tegenstelling tot de Bodemschaaf die een traject van enkele tientallen meters bemonsterd. Op deze manier kan de Van Veen happer data beter vergeleken worden met specifieke abiotiek op een plek. Per jaar zijn er ongeveer 120 monsters genomen. In 2017 zijn er geen monsters genomen in de lagune. De Van Veen happer heeft een oppervlak van 0,1 m². De inhoud van de volle Van Veen happer is gezeefd over een 1 mm zeef en gefixeerd op zeewater gebufferde formaldehyde (4%). Benthosmonsters zijn uitgezocht door taxonomen van Wageningen Marine Research (50% van de monsters) en het consortium Eurofins Aquasense/Bureau Waardenburg (overige 50% van de monsters). Voor deze studie gebruiken we de totale biomassa, dichtheid en totaal aantal soorten per bemonsteringslocatie. Verdere details van deze bemonstering zijn te vinden in Wijsman et al. (2018).

Vervolgens zijn de benthos-data tegen de boven beschreven abiotiek uitgezet om te kijken of er patronen te zien zijn. Hiervoor zijn per jaar de gridcellen van het raster met de abiotiek geselecteerd waar de bodemdierbemonstering plaatsvond. Dichtheid en biomassa zijn voor deze data exploratie op een logaritmische schaal geplotted, waarbij nulwaarden vervangen zijn door het getal 0.0001. Voor bodemschuifspanning en mediane korrelgrootte is er geen duidelijke grenswaarde te zien wat betreft biomassa, dichtheid en aantal soorten (Bijlage 1, Figuur 7). Wel is duidelijk te zien dat met toenemende mediane korrelgrootte, biomassa, dichtheid en aantal soorten per m² afnemen. Voor stroomsnelheid lijkt er een overgang te zijn bij 0.2 m/s, dit is het duidelijkst te zien bij aantal soorten per m² (Figuur 7). Bij hogere stroomsnelheden dan 0.2 m/s zijn de aantal soorten per m² een stuk hoger. Zeer hoge stroomsnelheden lijken weer een lagere dichtheid te hebben, maar deze omstandigheden komen niet veel voor en hebben we buiten beschouwing gelaten.

Wat betreft droogval lijken de data te kunnen worden opgedeeld in drie groepen. In de vooroever is de biomassa, dichtheid en aantal soorten het hoogst. In het intergetijdengebied met een droogval van 1%-75% is de biomassa gemiddeld, de dichtheid nog hoog maar het aantal soorten laag. Op het strand met droogval tussen 75-99% wordt de biomassa variabel maar lager net als de dichtheid en wederom een laag aantal soorten.



Figuur 7 Relatie tussen aantal soorten (m^2) in de bodem en abiotiek; bodemschuifspanning in N/m^2 , stroomsnelheid in m/s , droogval in percentage en mediane korrelgrootte in μm . In de figuren is elk punt een bemonsteringslocatie en de kleur van de punten correleert met het bemonsteringsjaar. Voor droogval zijn alle jaren samen genomen. Voor een duidelijkere grafiek, zijn bodemschuifspanningen groter dan $25 N/m^2$ weggelaten. Bij droogval is de categorie $>99\%$ weggelaten, omdat op het droge strand geen benthos monsters zijn genomen. VO is vooroever. De stippellijnen tonen de gebruikte waarden voor de categorisering voor de ecotopenclassificatie (zie Tabel 2).

2.4 Ecotopenclassificatie

Ecotopen zijn gebruikt om de verandering in habitats in kaart te brengen na aanleg van de Zandmotor. Voor de uiteindelijke ecotopen is de abiotiek ingedeeld in verschillende categorieën (Tabel 2). Deze klassen zijn, behalve voor de initiële droogvalduur categorieën, gebaseerd op de biomassa, dichtheid en aantal soorten bodemdieren, wanneer hier een duidelijk patroon te zien was, zoals bij droogvalduur en stroomsnelheid. Droogvalduur is op basis van de bodemdiergegevens ingedeeld in vier categorieën in plaats van vijf; de vooroever, laag intergetijdengebied dat 1%-75% van de tijd droogvalt, hoog intergetijdengebied dat 75%-99% van de tijd droogvalt en droog strand. Stroomsnelheid is ingedeeld in lage en hoge stroomsnelheid waarbij de scheiding van $0.2 m/s$ is gebruikt. Voor bodemschuifspanning en mediane korrelgrootte was geen duidelijke overgang te zien. Voor de bodemschuifspanning is daarom de mediaan gebruikt om twee categorieën te creëren. Voor mediane korrelgrootte hebben we Figuur 6 bestudeerd en een mediane korrelgrootte gekozen waarbij de algemene patronen van gemiddeld grotere en kleinere zandkorrels op de kaart zichtbaar blijven (Bijlage 2, Figuur 17).

Tabel 2 Gebruikte categorieën per abiotiek

De categorieën voor droogvalduur en stroomsnelheid zijn gebaseerd op data van de bodemdiergemeenschap

Abiotiek	Categorie	Waarde
Droogvalduur	Vooroever	<1%
	Laag intergetijdengebied	1%-75%
	Hoog intergetijdengebied	75%-99%
	Strand	>99%
Bodemschuifspanning	Laag	<Mediaan (11.92 N/m ²)
	Hoog	>Mediaan (11.92 N/m ²)
Stroomsnelheid	Laag	<0.2 m/s
	Hoog	>0.2 m/s
Korrelgrootte	Fijn	<350 µm
	Grof	>350 µm

Vervolgens zijn met behulp van de boven beschreven categorieën de verschillende ecotopen uitgewerkt. In Tabel 3 is te zien dat niet alle abiotiek is gebruikt voor de vier verschillende categorieën voor droogvalduur. Mediane korrelgrootte varieert met name in diep water (Figuur 6) en dus is deze variabele enkel gebruikt voor de vooroever. Stroomsnelheid is gebruikt om het beschutte water (vooral de lagune) te onderscheiden van ecotopen in de vooroever. In de andere ecotopen is de variabele stroomsnelheid niet gebruikt, omdat het niet veel meer toevoegde aan het algemene beeld. Hieronder worden per droogvalklasse de verschillende ecotopen besproken.

Voor de categorie vooroever hebben we ecotopen voor lage en hoge bodemschuifspanning en relatief fijne en grove sedimenten gecreëerd. De gemiddelde stroomsnelheid hebben we gebruikt om gebieden in de vooroever met lage bodemschuifspanning in te delen in twee gebieden; diep snel stromend water en beschut water. De lagune is een gebied met beschut langzaam stromend water. De parameter bodemschuifspanning in de vooroever is van belang voor het identificeren van de brekerszone (hoge bodemschuifspanning) en de diepere vooroever (lage bodemschuifspanning). Mediane korrelgrootte is bepalend voor bodemdiergemeenschap; met relatief grovere korrel zijn er minder bodemdieren gevonden (Figuur 7).

Hierna is een verdere indeling gemaakt voor het hoge en lage intergetijdengebied (droogval 1%-75% & 75%-99%) op basis van de gemiddelde bodemschuifspanning (laag en hoog). Voor het intergetijdengebied maakt deze parameter het onderscheid tussen beschut en geëxponeerd intergetijdengebied. De laatste ecotoop is strand. Andere abiotiek is hier buiten beschouwing gelaten. De ecotopen kaarten beslaan een oppervlakte van 4573.32 hectare.

2.5 Diversiteit aan ecotopen in het gebied rond de Zandmotor

Om in kaart te brengen of het gehele gebied rond de Zandmotor meer divers is geworden wat betreft habitat, hebben we per jaar een diversiteit aan ecotopen gekwantificeerd met behulp van een diversiteitsindex. Hierbij is gebruik gemaakt van de relatieve oppervlaktes per ecotoop. We hebben de Shannon index voor diversiteit toegepast (Roughgarden 1972; Shannon and Weaver 1949). Deze index H' wordt berekend met de volgende vergelijking;

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i * \ln p_i)$$

In deze vergelijking is S het aantal ecotopen en p_i de relatieve oppervlakte van elke ecotoop per jaar i . De ondergrens van de index is nul wanneer er bijvoorbeeld maar 1 ecotoop type voorkomt in het gebied. Wanneer er veel ecotopen in het gebied voorkomen met een ongeveer even groot oppervlakte, bereikt H' de maximum waarde met $H_{max} = \ln S$. In geval van deze studie is dat dus $\ln(10) = 2.30$

Tabel 3 Overzicht van de gedefinieerde ecotopen

Ecotopen zijn gebaseerd op droogvalduur, bodemschuifspanning, stroomsnelheid en mediane korrelgrootte en zijn geverifieerd met bodemdiergemeenschap

Ecotoop	Code	Droogvalduur	Bodemschuifspanning	Stroomsnelheid	Korrelgrootte
1: Vooroever laagdynamisch snelle stroming fijner sediment	V_L_S_FS	<1%	Laag	Snel	Fijn
2: Vooroever hoogdynamisch fijner sediment	V_H_FS	<1%	Hoog		Fijn
3: Vooroever laagdynamisch snelle stroming grover sediment	V_L_S_GS	<1%	Laag	Snel	Grof
4: Vooroever hoogdynamisch grover sediment	V_H_GS	<1%	Hoog		Grof
5: Beschut water (lagune)	BW	<1%	Laag	Langzaam	
6: Beschut laag intergetijdengebied	LI_L	1%-75%	Laag		
7: Geëxponeerd laag intergetijdengebied	LI_H	1%-75%	Hoog		
8: Beschut hoog intergetijdengebied	HI_L	75%-99%	Laag		
9: Geëxponeerd hoog intergetijdengebied	HI_H	75%-99%	Hoog		
10: Strand	S	>99%			

Waardes van de verschillende categorieën in abiotiek zijn te vinden in Tabel 2

3 Resultaten

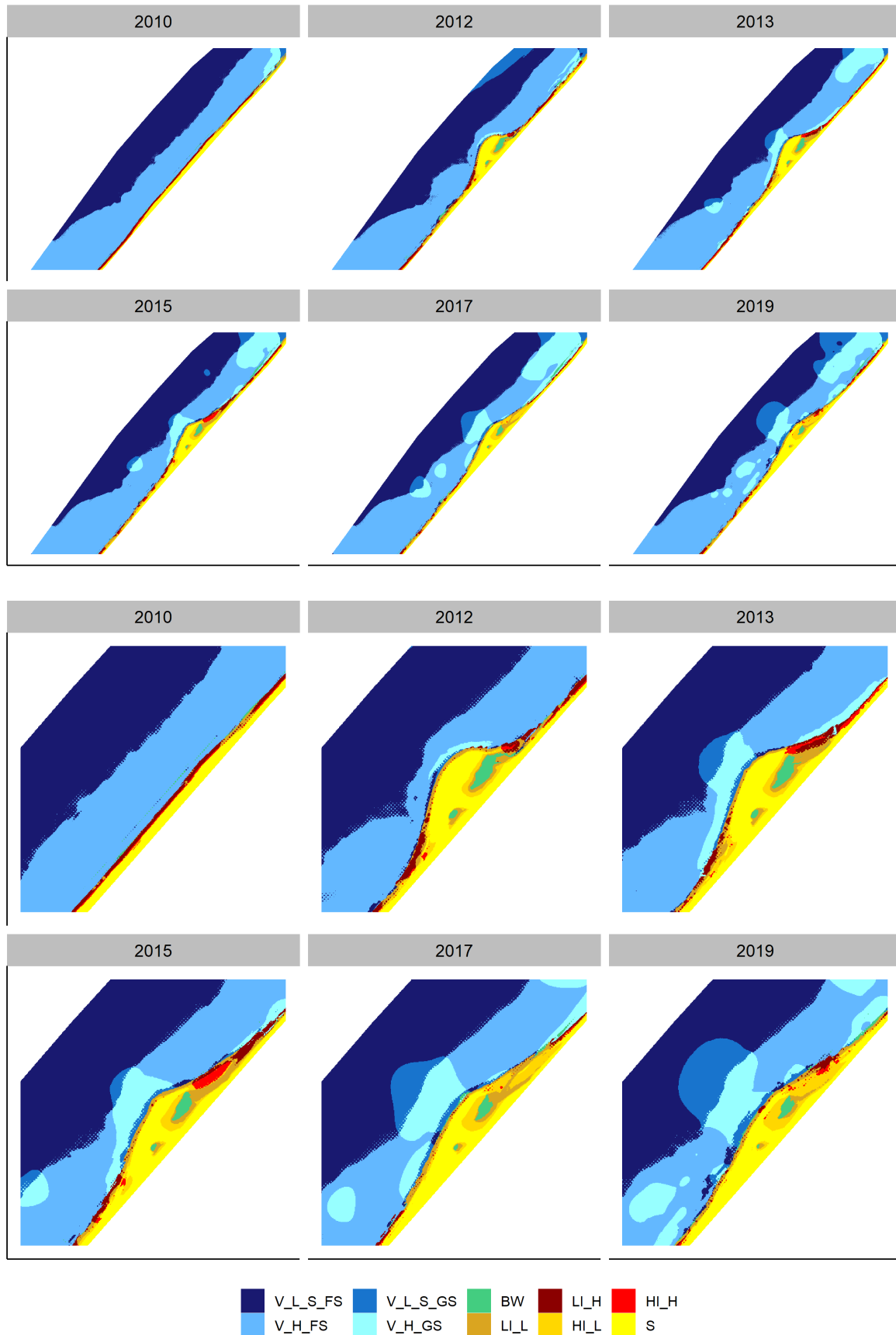
3.1 Veranderingen over de tijd in ecotopen

Het gebied is na de aanleg van de Zandmotor veranderd. De opvallendste veranderingen zijn de toename in beschut intergetijdengebied (HI_L & HI_H) en de toename in beschut water (BW) en strand (S) (Figuur 8, Figuur 9, Tabel 4). Beschut hoog intergetijdengebied (HI_L) was voorheen zo goed als niet aanwezig in het gebied en het areaal werd door de aanleg van de Zandmotor ruim 10 keer groter ten opzichte van 2010 (Tabel 4). De toename van de hiervoor genoemde ecotopen is ten koste gegaan van ecotopen in de vooroever, met name van de hoogdynamische ecotopen en in mindere mate van geëxponeerd intergetijdengebied. Een ander opvallende verandering is de verspreiding van grover sediment in vooral de hoogdynamische vooroever, maar ook steeds meer in de laagdynamische vooroever (Figuur 9). In Figuur 9 is ook te zien dat er meer variatie is gekomen in het gebied wat betreft ecotopen. Dit wordt bevestigd door de berekende diversiteitsindex over de tijd die omhoog gaat van ~ 1.2 naar ~ 1.6 (Figuur 10). Hiermee komt de waarde iets dichterbij de maximale diversiteitsindex van 2.30 (wanneer alle 10 ecotopen een even groot aandeel zouden hebben in het gebied).

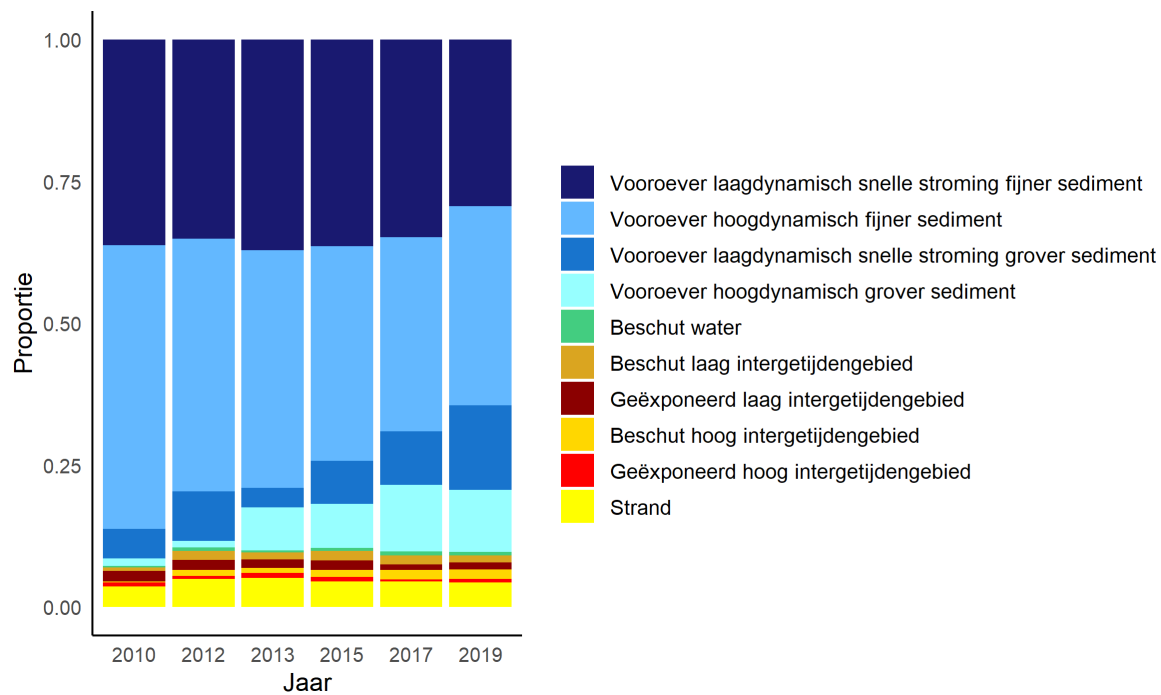
Tabel 4 Totale oppervlakte ecotopen in hectare over tijd
Tussen haakjes staat de procentuele toe of afname ten opzichte van 2010

Ecotoop	Code	2010	2012	2013	2015	2017	2019
1: Vooroever laagdynamisch snelle stroming fijner sediment	V_L_S_FS	1657.78	1606.72 (-3%)	1699.15 (3%)	1666.96 (1%)	1590.74 (-4%)	1342.18 (-19%)
2: Vooroever hoogdynamisch fijner sediment	V_H_FS	2284.91	2036.11 (-11%)	914.25 (-16%)	1727.37 (-24%)	1568.17 (-31%)	1606.21 (-30%)
3: Vooroever laagdynamisch snelle stroming grover sediment	V_L_S_GS	240.69	397.52 (65%)	157.18 (-35%)	349.65 (45%)	428.72 (78%)	679.71 (182%)
4: Vooroever hoogdynamisch grover sediment	V_H_GS	57.63	51.43 (-11%)	345.68 (500%)	352.08 (511%)	539.73 (837%)	500.12 (768%)
5: Beschut water (lagune)	BW	13.08	29.93 (129%)	19.29 (47%)	24.51 (87%)	30.98 (137%)	29.15 (123%)
6: Beschut laag intergetijdengebied	LI_L	28.12	72.97 (159%)	55.34 (97%)	79.39 (182%)	70.17 (150%)	57.85 (106%)
7: Geëxponeerd laag intergetijdengebied	LI_H	86.94	78.52 (-10%)	68.49 (-21%)	73.00 (-16%)	46.23 (-47%)	53.57 (-38%)
8: Beschut hoog intergetijdengebied	HI_L	5.65	48.98 (767%)	39.79 (604%)	60.03 (962%)	75.95 (1244%)	79.24 (1302%)
9: Geëxponeerd hoog intergetijdengebied	HI_H	31.19	26.11 (-16%)	39.41 (26%)	34.10 (9%)	16.39 (-47%)	27.58 (-12%)
10: Strand	S	167.33	225.03 (34%)	234.74 (40%)	206.23 (23%)	206.24 (23%)	197.71 (18%)

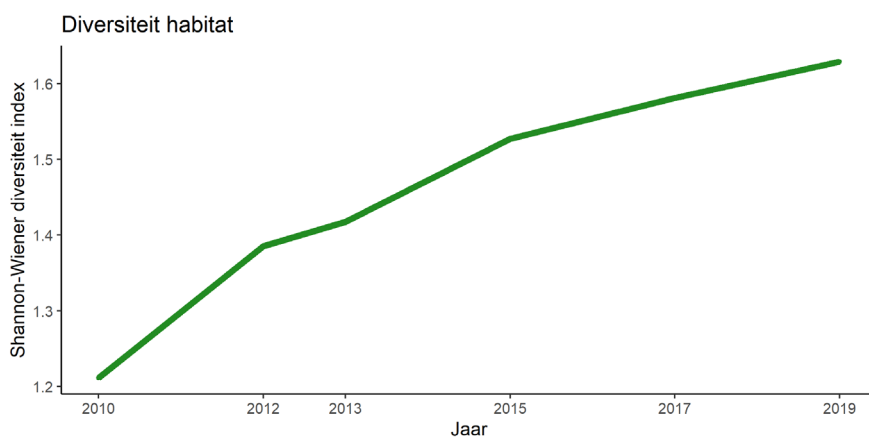
Procentuele toenames >10% in groen en procentuele afnames >10% in rood



Figuur 8 Ecotopen over de tijd, groter gebied (boven) en ingezoomd (beneden) op en rond de Zandmotor. Letters in de codes staan voor: V = vooroever, BW = beschut water, LI= laag intergetijdengebied, HI = hoog intergetijdengebied, S = strand, L = laagdynamisch, H = hoogdynamisch, S = snel stromend water, FS = fijner sediment, GS = grover sediment. Verdere specificaties van de verschillende ecotopen staan in Tabel 3.

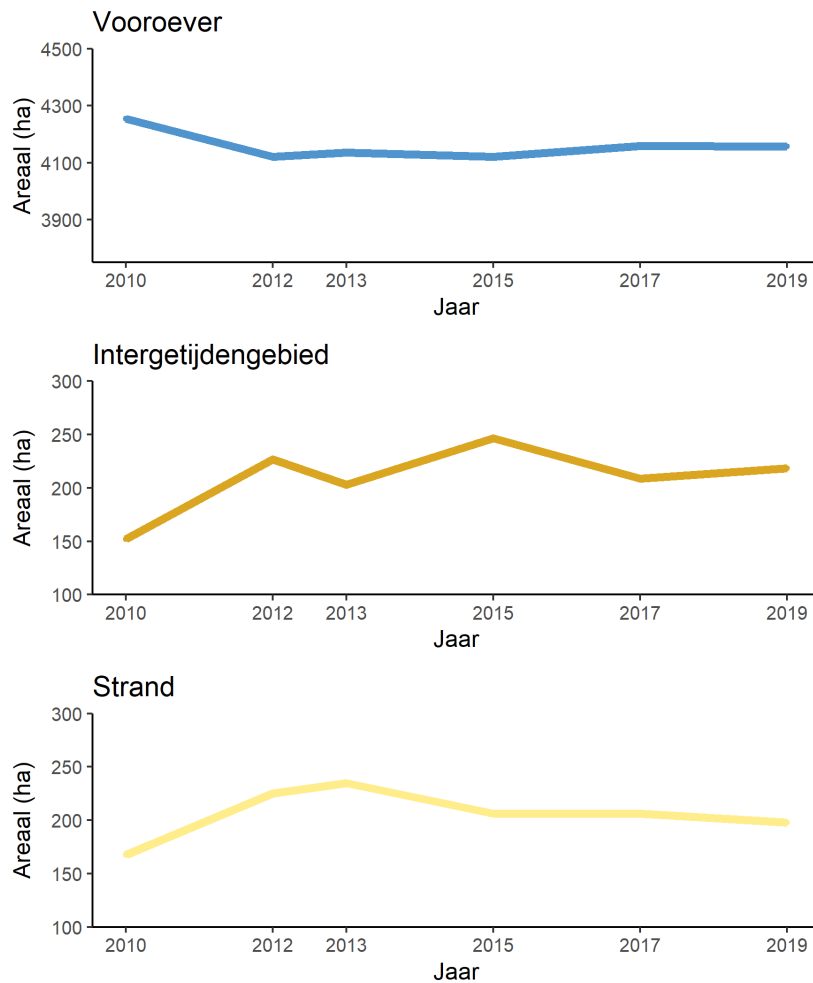


Figuur 9 Proportie ecotopen per jaar



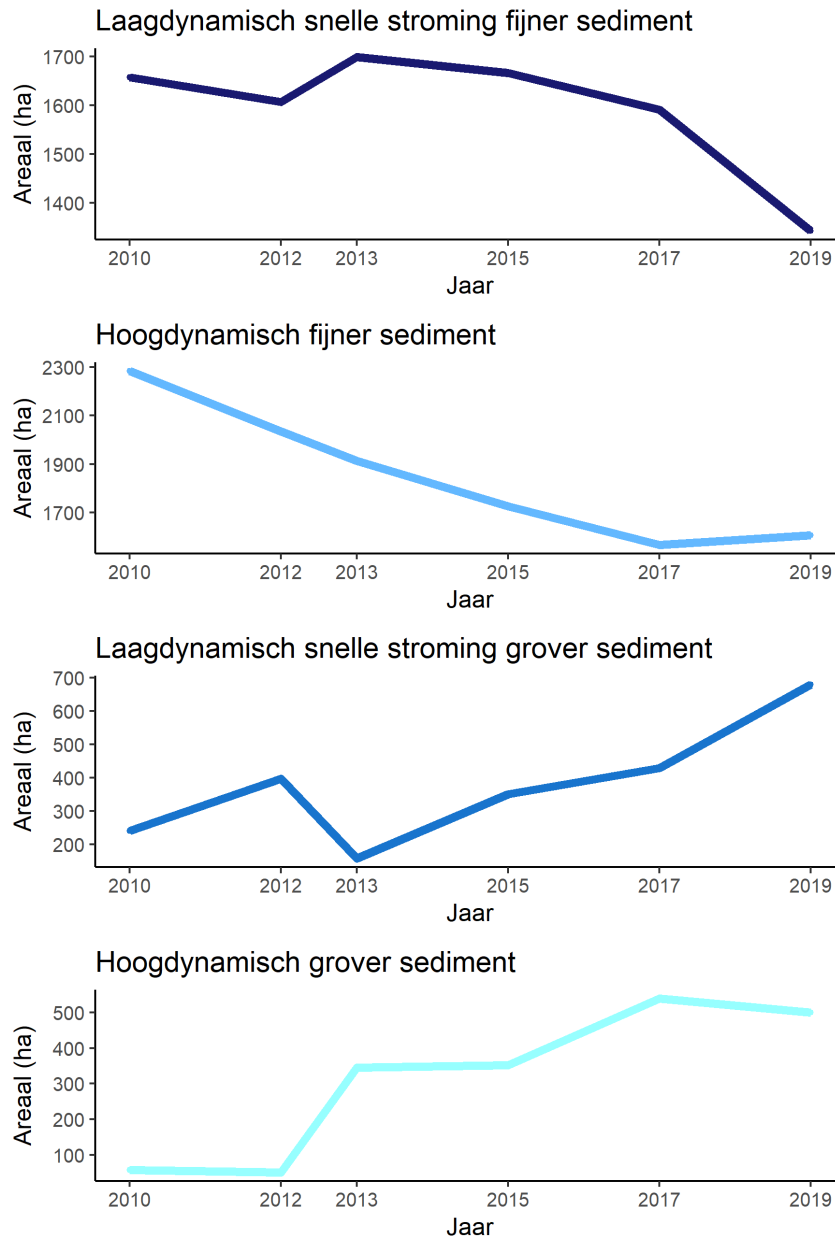
Figuur 10 Verandering van habitat over de tijd uitgedrukt met diversiteitsindex Shannon Wiener.

In Figuur 11 is het verloop van het areaal gegroepeerd in vooroever, het intergetijdengebied (alle ecotopen met droogval tussen 1% en 99%) en het strand. De vooroever is direct na de aanleg van de Zandmotor met ongeveer 130 hectare afgenomen, maar is de afgelopen jaren weer iets toegenomen met 30 hectare, ten koste van het strand. Strand nam eerst met ongeveer 70 hectare toe en vervolgens weer iets af tot een totale toename van ongeveer 30 hectare over de tijd (Tabel 4). Het intergetijdengebied is ook toegenomen ongeveer 60 hectare, maar het totale areaal schommelt wat over de tijd (Figuur 11).



Figuur 11 Areaal aan vooroever (ecotopen vooroever en beschut water), intergetijdengebied en strand over de tijd.

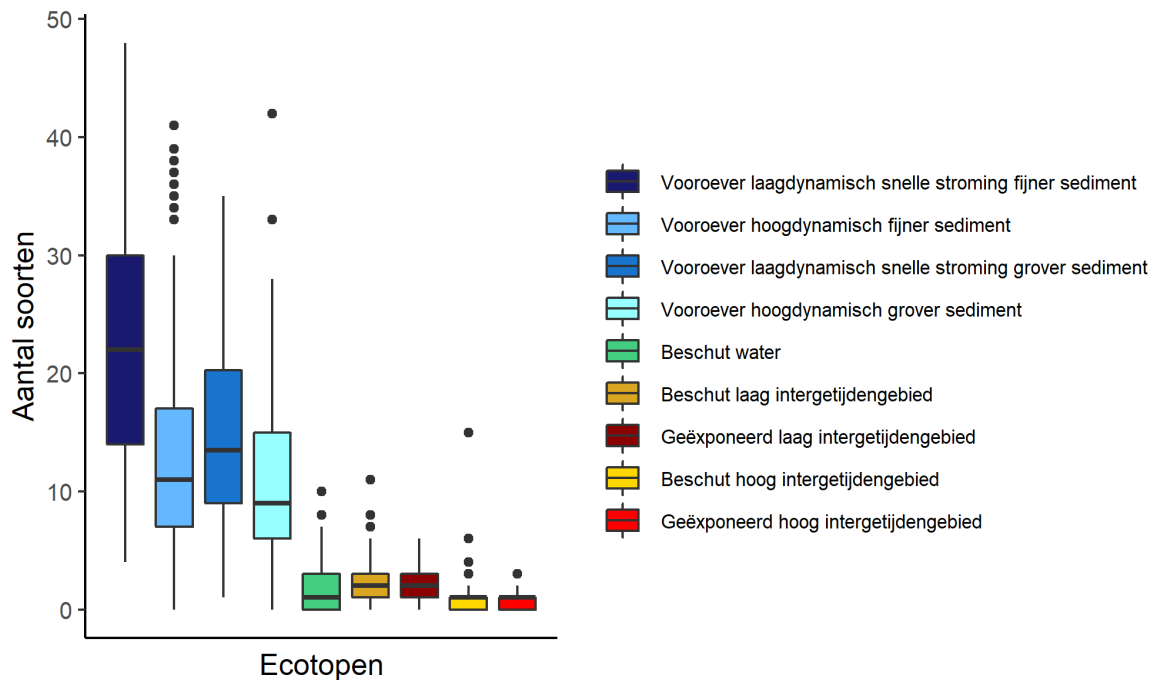
In Figuur 12 is het verloop van de ecotopen in de vooroever (behalve beschut water) uitgezet over de tijd. Hier is nog eens duidelijk te zien dat de ecotopen met grover sediment toenemen over de tijd en de ecotopen met fijner sediment afnemen. Grover sediment verspreid zich eerst in het hoogdynamisch gebied en pas de laatste jaren ook iets in het laagdynamisch, meestal dieper gelegen, gebied.



Figuur 12 Areaal aan vier ecotopen in de vooroever over de tijd

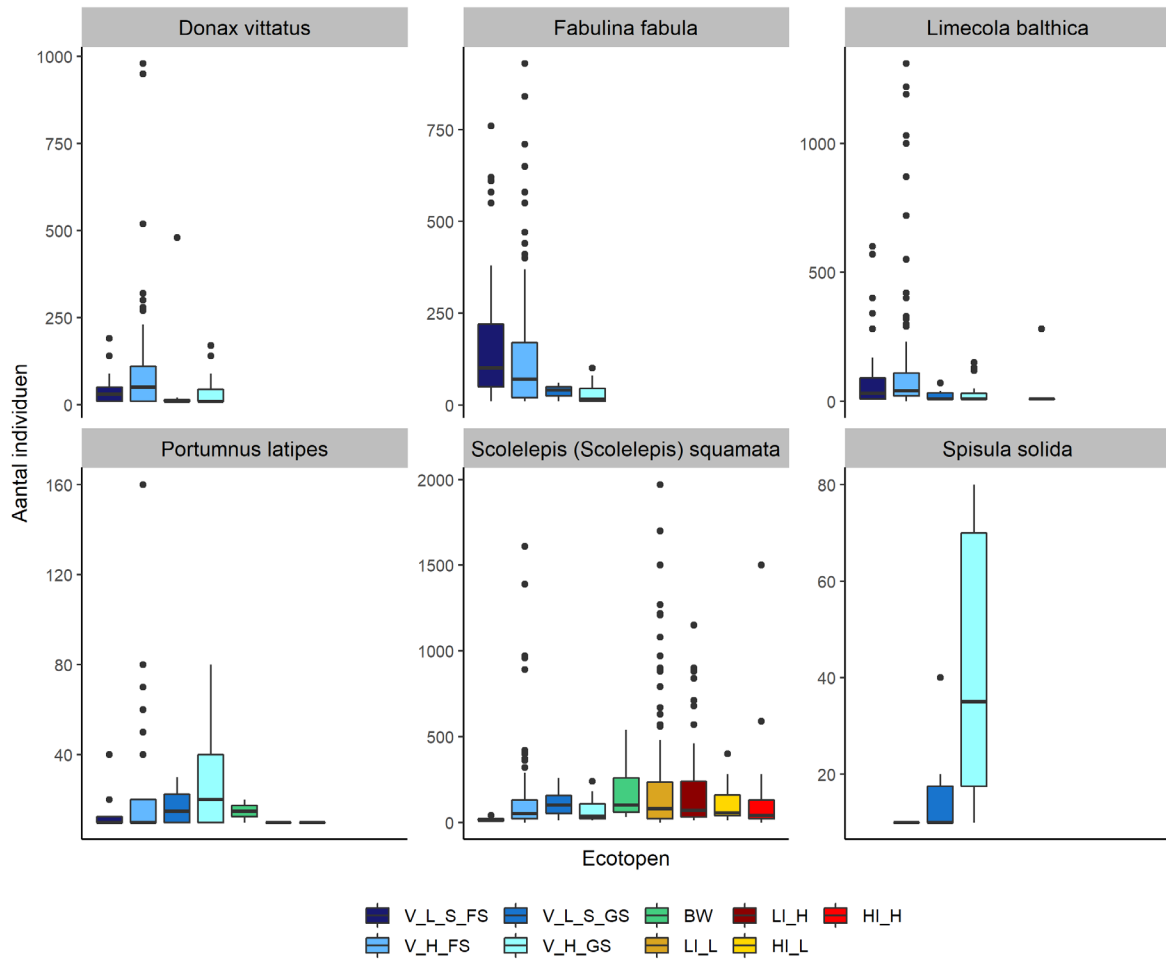
3.2 Ecotopen en de bodemdiergemeenschap

Ecotopen verschillen in voorkomen van hoeveelheid en aantal bodemdieren. In Figuur 13 is te zien dat de grootste aantal soorten te vinden zijn in ecotopen die permanent onder water staan (Vooroever en Beschut water) met uitzondering van het beschutte water. Binnen de vooroever ecotopen lijken er net iets meer soorten voor te komen in ecotopen met fijner sediment. Hetzelfde patroon is te zien voor biomassa per m² en aantal individuen per m² (Bijlage 3). Voor biomassa en aantal individuen is te zien dat het lage intergetijdenstrandgebied over het algemeen een rijkere bodemdiergemeenschap heeft dan het hoge intergetijdengebied. Er is echter veel variatie binnen de ecotopen. Daarnaast is de bemonsteringsfrequentie tussen de verschillende ecotopen groot (beschut water vaak maar 1 bemonsteringspunt per jaar). Dit is ook de reden dat voor deze figuur alle jaren samen genomen zijn.



Figuur 13 Aantal soorten bodemdieren per m² die bemonsterd zijn binnen de verschillende soorten ecotopen.

Ondanks dat de diepere delen van de vooroever betere condities lijken te hebben voor bodemdieren, zouden specifieke soorten wel aangetrokken kunnen zijn tot intergetijdengebied. Daarom zijn hieronder nog eens zes verschillende soorten onder de loep genomen. Deze soorten zijn gekozen omdat ze relatief abundant zijn en ruimtelijk en van elkaar verschillen wat betreft de ruimtelijke verspreiding over de Zandmotor. De geselecteerde soorten hebben over het algemeen hogere aantallen in de diepere delen rond de Zandmotor of komen zelfs helemaal niet voor in ondiepere gedeeltes; zoals bijvoorbeeld het zaagje (*Donax vittatus*), de rechtsgestreepte platschelp (*Fabulina fabula*) en de stevige strandschelp (*Spisula solida*) (Figuur 14). Een uitzondering hierop is de gemshorenworm (*Scolelepis (Scolelepis) squamata*), die het meeste voorkomt op laag intergetijdengebied en beschut water. Voorkeuren voor grover of fijner sediment van soorten zijn niet eenduidig, alhoewel de stevige strandschelp iets vaker voor lijkt te komen in hoogdynamisch habitat met grover sediment; een ecotoop dat is toegenomen na de komst van de Zandmotor (Bijlage 3).



Figuur 14 Aantal bemonsterde individuen per m² voor zes bodemdieren; het zaagje (*Donax vittatus*), de rechtsgestreepte platschelp (*Fabulina fabula*), het nonnetje (*Limecola balthica*), de breedpootkrab (*Portumnus latipes*), de gemshorenworm (*Scolelepis (Scolelepis) squamata*), en de stevige strandschelp (*Spisula solida*). Drie punten met 1000 individuen of meer in ecotoop V_H_FS van *D. vittatus* en één punt met meer dan 2000 individuen in ecotoop LI_L van *S. (S.) squamata* zijn in deze grafiek weggelaten, zodat verschillen tussen ecotopen beter te zien zijn. Letters in de codes staan voor: V = vooroever, BW = beschut water, LI= laag intergetijdengebied, HI = hoog intergetijdengebied, L = laagdynamisch, H = hoogdynamisch, S = snel stromend water, FS = fijner sediment, GS = grover sediment

4 Conclusies

4.1 Conclusie

In deze rapportage zijn ecotopenkaarten gemaakt in het intergetijdengebied en de ondiepe kustzone voor en na de aanleg van megasuppletie de Zandmotor om veranderingen in habitat in kaart te brengen. Deze megasuppletie biedt, naast financiële voordelen, mogelijk ook voordelen voor de natuurlijke omgeving, o.a. door diversificatie aan habitats. Ecotopenkaarten zijn gebaseerd op abiotisch karakteristieken in het gebied. Droogvalduur, gemiddelde bodemschuifspanning, gemiddelde stroomsnelheid en korrelgrootte zijn gebruikt om de verschillende ecotopen te formuleren. De verschillende categorieën zijn opgesteld met behulp van de bodemdiergemeenschap. Hierdoor zijn we gekomen tot 10 verschillende ecotopen waarmee we veranderingen in de habitats hebben kunnen aantonen in het gebied.

Na monitoring van het gebied over tien jaar, kunnen we zeggen dat de komst van de Zandmotor heeft geleid tot een hogere diversiteit in abiotiek en ecotopen. Het areaal aan vooroever is afgenomen terwijl habitat in het intergetijdengebied is toegenomen. De veranderingen in het gebied zorgen echter niet voor verbeterde omstandigheden voor bodemdieren in termen van totaal aantal soorten, biomassa en dichtheid, maar creëren mogelijk wel ruimte voor specifieke organismen zoals de gemshorenworm die een voorkeur hebben voor meer beschut intergetijdengebied, waardoor de diversiteit in het gehele gebied mogelijk toe is genomen. Verder biedt het nieuw gecreëerde habitat ruimte voor foeragerende vogels, maar dit dient nader onderzocht te worden.

4.2 Natuurwaarden Zandmotor in verandering ecotopen

De aanleg van de Zandmotor heeft geleid tot meer diversiteit in abiotiek in het gebied. Door de megasuppletie is het areaal aan droogvallend gebied toegenomen. Verder heeft de Zandmotor meer dynamiek gebracht in bodemschuifspanning en stromingspatronen. Zo is er een (tijdelijke) hoge bodemschuifspanning ontstaan rond de kop van de Zandmotor. Zeer hoge stroomsnelheden (> 4 m/s) zijn ontstaan rond de kop en de zuidrand van de Zandmotor. Voor de aanleg waren er geen stroomsnelheden gemodelleerd boven de 4 m/s. De mediane korrelgrootte in het gebied is ook flink veranderd; grover sediment verspreidt zich langzaam over het gebied.

De samenstelling van ecotopen in het gebied, die gebaseerd zijn op deze abiotische parameters, zijn ook veranderd door de aanleg van de Zandmotor. Ecotopen in de vooroever zijn afgenomen, terwijl het intergetijdengebied en strand zijn toegenomen. Het strand is over de tijd alweer iets afgenomen, door eroderen van de Zandmotor. Hierdoor komt de totale afname van de vooroever tot nu toe op ongeveer 100 hectare en de toename aan strand op ongeveer 30 hectare. Het intergetijdengebied is toegenomen met ongeveer 60 hectare maar schommelt wat over de tijd. Vooral de ecotoop beschut hoog intergetijdengebied is sterk toegenomen. Dit ecotoop met een relatief lage bodemschuifspanning en een droogval van 75-99% kwam voor de aanleg van de Zandmotor bijna niet voor in het gebied. De komst van de beschutte lagune zorgde voor een toename van beschut water in het gebied, een ecotoop dat gekenmerkt wordt door een lage bodemschuifspanning en stroomsnelheid en dat niet droogvalt. Algeheel is de diversiteit in het gebied rond de Zandmotor toegenomen; de diversiteitsindex is toegenomen van ~ 1.2 naar ~ 1.6 (vergeleken met een maximale index van 2.3 wanneer alle ecotopen een even groot areaal zouden bestrijken in het gebied).

Een andere opvallende verandering is de toename van ecotopen in de vooroever met relatief grover sediment. Dit sediment komt mogelijk van het materiaal waarmee de Zandmotor is aangelegd. Dit grovere sediment heeft zich over de jaren door erosie verspreid over het gebied rond de Zandmotor, vooral ten noorden maar ook ten zuiden van de megasuppletie. Hierbij moet wel aangemerkt worden dat de bemonsteringsfrequentie in de jaren 2010 en 2012 lager was dan in de latere jaren. Om uit te

sluiten dat het patroon dat we zien komt doordat de bemonsteringsfrequentie omhoog is gegaan, hebben we de kaarten voor mediane korrelgrootte opnieuw gemaakt, waarbij in de jaren 2013, 2015, 2017 en 2019 alleen de monsterpunten gebruikt zijn die ook in 2012 zijn bemonsterd. In Figuur 18 (Bijlage 2) is het resultaat te zien. Ondanks de lagere bemonsteringsfrequentie, is hetzelfde patroon te zien als in Figuur 6: sediment met een relatief grovere korrel verspreidt zich over de tijd vooral ten noorden maar ook ten zuiden van de Zandmotor.

Uit deze bevindingen kunnen we dus concluderen dat de Zandmotor heeft gezorgd voor meer variatie in habitats in het gebied. Of de komst van deze nieuwe habitats ook consequenties heeft voor de bodemdiergemeenschap zullen we hieronder verder bespreken.

4.3 Ecotopen en ontwikkeling bodemdiergemeenschap

In deze rapportage zijn de abiotische categorieën die gebruikt zijn voor de ecotopen opgesteld op basis van bodemdiergegevens. Hier zagen we dat aantal soorten, biomassa en aantal individuen toenam met hogere stroomsnelheid en afnam met hoger percentage droogval en een relatief grotere mediane korrelgrootte. De uit abiotiek gecreëerde ecotopen zijn vervolgens ook vergeleken met de bodemdiergemeenschap.

Ecotopen verschillen in het voorkomen van bodemdieren. We laten zien dat over het algemeen het aantal soorten, de biomassa en de dichtheid hoger zijn in de diepere delen van het gebied; ecotopen in de vooroever. Dit is ook gevonden in een andere rapportage over de Zandmotor, die focust op de verandering in de bodemdiergemeenschap na aanleg van de Zandmotor (Wijsman, van den Ende, and Brummelhuis 2020). In de vooroever is de stroomsnelheid en daarmee de aanvoer van voedsel hoger. Het intergetijdengebied valt daarnaast tweemaal per etmaal droog, waar niet alle bodemdiersoorten tegen kunnen. Ook zijn er meer temperatuursverschillen en predatie door vogels op droogvallende delen. Ondanks dat het beschutte water relatief diep is, vonden we hier weinig bodemdieren. Dit is te verklaren doordat stroomsnelheid hier laag is, waardoor voedsel naar de bodem zinkt en niet beschikbaar is voor bodemdieren.

Sedimentsamenstelling is een belangrijke variabele voor het voorkomen van bodemdieren (Bouma et al. 2005; Ysebaert and Herman 2002). Dit bepaalt namelijk mede de stabiliteit van gangen, doorgraafbaarheid en permeabiliteit. Dit is niet heel duidelijk terug te zien in de ecotopen. Er lijken iets meer soorten voor te komen in ecotopen in de vooroever met fijner sediment, maar dit is niet eenduidig. Mediane korrelgrootte is echter relatief grof in het gehele gebied, en speelt daarom mogelijk geen grote rol in de verdeling van bodemdieren in het gebied. Omdat het grovere sediment mogelijk van de Zandmotor afkomstig is, zouden gebieden met grover sediment ook een proxy kunnen zijn voor andere abiotiek zoals bodemschuifspanning door golven en stroming en stroomsnelheid.

Naast de totale bodemdiergemeenschap hebben we ook gekeken naar voorkomen van een aantal specifieke soorten in de verschillende ecotopen. De meeste soorten onderstrepen de hierboven beschreven resultaten. De gemshorenworm (*Scolelepis (Scolelepis) squamata*) komt in grote aantallen voor op het droogvallende intergetijdengebied. De gemshorenworm is ook in andere gebieden een soort die veel voorkomt dichtbij het strand (Janssen and Mulder 2005; Speybroeck et al. 2007). De soort is door zijn manier van leven goed aangepast aan het dynamische intergetijdengebied; het leeft in verticale gangen van zand en slijm waar het met kleverige palpen (tasters) voedseldeeltjes uit het water haalt en naar de keelholte brengt (Dauer 1983; Speybroeck et al. 2007).

De ecotopen waar bodemdieren het goed doen in termen van aantal soorten, biomassa en aantal individuen per vierkante meter zijn dus afgenomen door de aanleg van de Zandmotor; het areaal vooroever neemt af en relatief grover sediment verspreidt zich over het gebied. De aanleg van de Zandmotor lijkt niet voordelig te zijn voor de bodemdiergemeenschap. Echter is het gebied wel diverser geworden in de types habitat. Bovendien is het type ecotoop vooroever niet uniek voor de Nederlandse kust. Er is nu meer ruimte in het gebied voor specifieke soorten met een voorkeur voor (beschut) intergetijdengebied of grover sediment.

De ontwikkeling van de Zandmotor is zeer uitgebreid gevolgd, maar het gebruik van vogels en vissen van het gebied is niet tijdens de gehele periode gemonitord. Zo kan het toegenomen intergetijdengebied mogelijk belangrijk foerageergebied bieden voor bepaalde vogelsoorten, die de diepere delen van de vooroever niet kunnen bereiken. Data analyse van beschikbare gegevens zouden inzichten kunnen bieden in de (veranderde) rol van het gebied rond de Zandmotor als foerageergebied voor vogels en vissen.

5 Kwaliteitsborging

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

Het chemisch laboratorium te IJmuiden beschikt over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2021 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het chemisch laboratorium heeft hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl).

Op grond van deze accreditatie is het kwaliteitskenmerk Q toegekend aan de resultaten van die componenten die op de scope staan vermeld, mits aan alle kwaliteitseisen is voldaan. Het kwaliteitskenmerk Q staat vermeld in de tabellen met de onderzoeksresultaten. Indien het kwaliteitskenmerk Q niet staat vermeld is de reden hiervan vermeld.

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken waaronder die georganiseerd door QUASIMEME. Indien geen ringonderzoek voorhanden is, wordt een tweede lijnscontrole uitgevoerd. Tevens wordt bij iedere meetserie een eerstelijnscontrole uitgevoerd.

Naast de lijnscontroles wordende volgende algemene kwaliteitscontroles uitgevoerd:

- Blanco onderzoek.
- Terugvinding (recovery).
- Interne standaard voor borging opwerkmethode.
- Injectie standaard.
- Gevoeligheid.

Bovenstaande controles staan beschreven in Wageningen Marine Research werkvoorschrift *ISW 2.10.2.105*.

Indien gewenst kunnen gegevens met betrekking tot de prestatiekenmerken van de analysemethoden bij het chemisch laboratorium worden opgevraagd.

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

Literatuur

- Bouma, H., DJ de Jong, F. Twisk, and K. Wolfstein. 2005. *Zoute Wateren EcotopenStelsel (ZES. 1); Voor Het in Kaart Brengen van Het Potentiële Voorkomen van Levensgemeenschappen in Zoute En Brakke Rijkswateren*.
- Dauer, D. M. 1983. "Functional Morphology and Feeding Behavior of *Scolelepis Squamata* (Polychaeta: Spionidae)." *Marine Biology* 77:279–85.
- Deltares. 2014. *Evaluatie Pilot Zwemveiligheid Zandmotor*.
- Ebbens, E. and J. Fiselier. 2010. *Monitorings- En Evaluatieplan Zandmotor. DHV, Rapport*.
- Fiselier, J. 2010. *Projectnota/MER. Aanleg En Zandwinning Zandmotor Delflandse Kust. DHV, Rapport Nummer: C6158-01.001*.
- Hijmans, Robert J. 2020. "Raster: Geographic Data Analysis and Modeling." *R Package Version 3.3-13*. <https://CRAN.R-Project.Org/Package=raster>.
- Janssen, Gerard and Saskia Mulder. 2005. "Zonation of Macrofauna across Sandy Beaches and Surf Zones along the Dutch Coast." *Oceanologia* 47(2):265–82.
- Lesser, G. R., J. A. Roelvink, J. A. T. M. Van Kester, and G. S. Stelling. 2004. "Development and Validation of a Three Dimensional Morphological Model." *Journal of Coastal Engineering* 51:883–915.
- R Core Team. 2018. "R: A Language and Environment for Statistical Computing." *R Foundation for Statistical Computing, Vienna*. <https://www.R-project.org>.
- Roughgarden, J. 1972. "Evolution of Niche Width." *The American Naturalist* 106(952):683–718.
- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication, 1st Edn. University of Illinois Press, Urbana, IL*.
- Shore. 2016. "Morfologische Ontwikkeling van de Zandmotor Pilot in de Periode 2 Tot 4,5 Jaar Na Aanleg, Rapport." 151.
- Speybroeck, Jeroen, Lotte Alsteens, Magda Vincx, and Steven Degraer. 2007. "Understanding the Life of a Sandy Beach Polychaete of Functional Importance - *Scolelepis Squamata* (Polychaeta: Spionidae) on Belgian Sandy Beaches (Northeastern Atlantic, North Sea)." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74(1–2):109–18.
- Stive, Marcel, Matthieu A. De Schipper, Arjen P. Luijendijk, Stefan G. J. Aarninkhof, Carola Van Gelder-Maas, Jaap S. M. Van Thiel De Vries, Sierd De Vries, Martijn Henriquez, Sarah Marx, and Roshanka Ranasinghe. 2013. "A New Alternative to Saving Our Beaches from Sea-Level Rise: The Sand Engine." *Journal of Coastal Research* 29(5):1001–8.
- Stive, Marcel, Matthieu de Schipper, Arjen Luijendijk, Roshanka Ranasinghe, Jaap van Thiel de Vries, Stefan Aarninkhof, Carola van Gelder-Maas, Sierd de Vries, Martijn Henriquez, and Sarah Marx. 2013. "The Sand Engine: A Solution for Vulnerable Deltas in the 21st Century?" *Coastal Dynamics* 1537–46.
- Tonnon, P. K., L. Van der Valk, H. Holzhauer, M. J. Baptist, J. W. M. Wijsman, C. T. M. Vertegaal, and S. M. Arens. 2011. *Uitvoeringsprogramma Monitoring En Evaluatie Pilot Zandmotor. Deltares/Wageningen IMARES, Rapport*.
- Wijsman, Jeroen, Douwe van den Ende, and Emiel Brummelhuis. 2018. *Bodemdiergemeenschap in de Vooroever En Op Het Natte Strand van de Zandmotor in Het Najaar 2017*.
- Wijsman, Jeroen, Douwe van den Ende, and Emiel Brummelhuis. 2020. *Bodemdiergemeenschap van de Vooroever En Het Natte Strand van de Zandmotor in Het Najaar van 2019*.
- Wijsman, Jeroen and Lou Verhage. 2004. *Toepassing van Het Zoute Wateren EcotopenStelsel (ZES) Voor de Waddensee Met Behulp van HABITAT*.
- Wijsman, JWM, M. Tangelder, P. Visser, and R. Hoekstra. 2016. *Monitoring En Evaluatie Pilot Zandmotor Fase 2 - Ecotopenkaarten Vooroever En Getijdenstrand 2010-2015*.
- Wolfert, H. P. 1996. *Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels. Uitgangspunten En Plan van Aanpak*.
- Ysebaert, Tom and Peter M. J. Herman. 2002. "Spatial and Temporal Variation in Benthic Macrofauna and Relationships with Environmental Variables in an Estuarine, Intertidal Soft-Sediment Environment." *Marine Ecology Progress Series* 244(Levin 1992):105–24.

Verantwoording

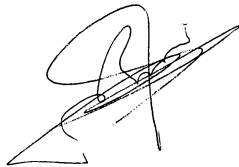
Rapport C100/20

Projectnummer: 4313100110

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. J.A.M. Craeymeersch
Collega-onderzoeker

Handtekening:



Datum: 17 november 2020

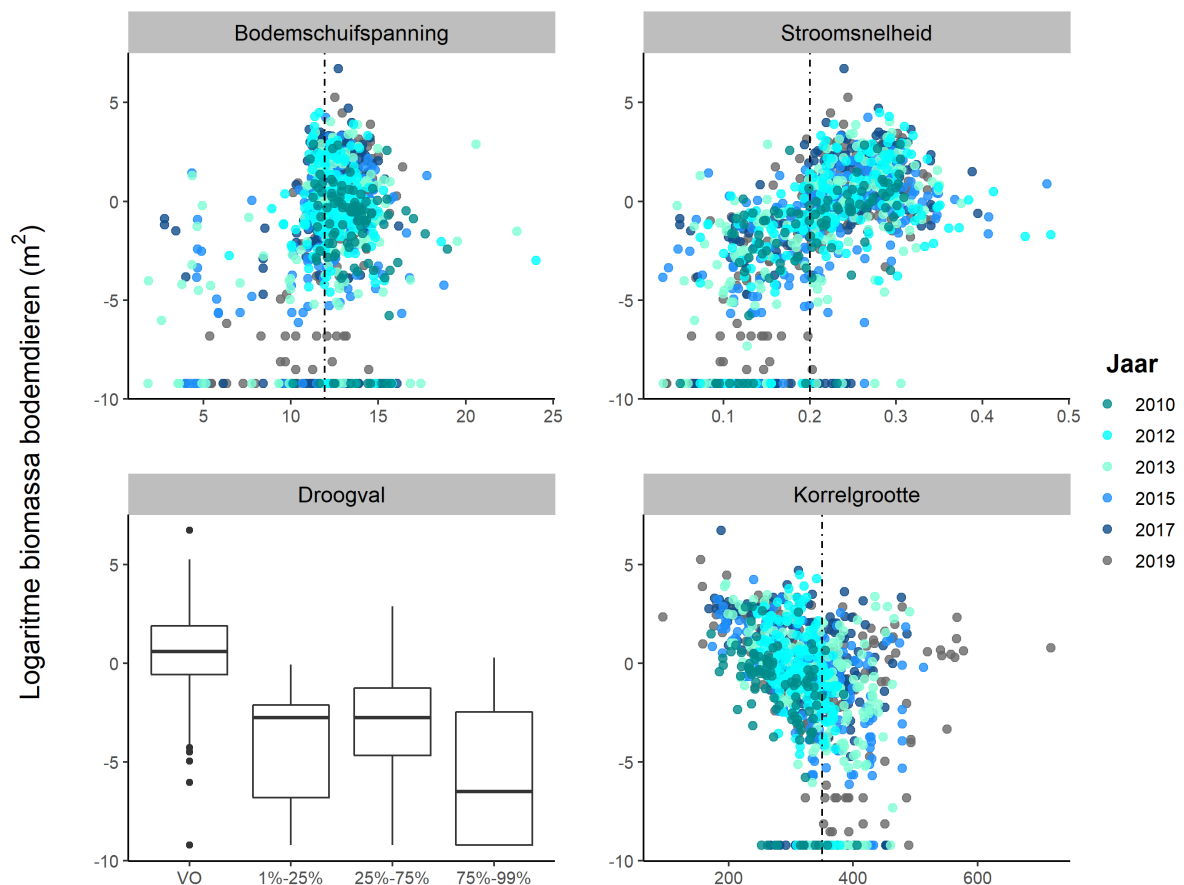
Akkoord: Drs. J. Asjes
Manager Integratie

Handtekening:

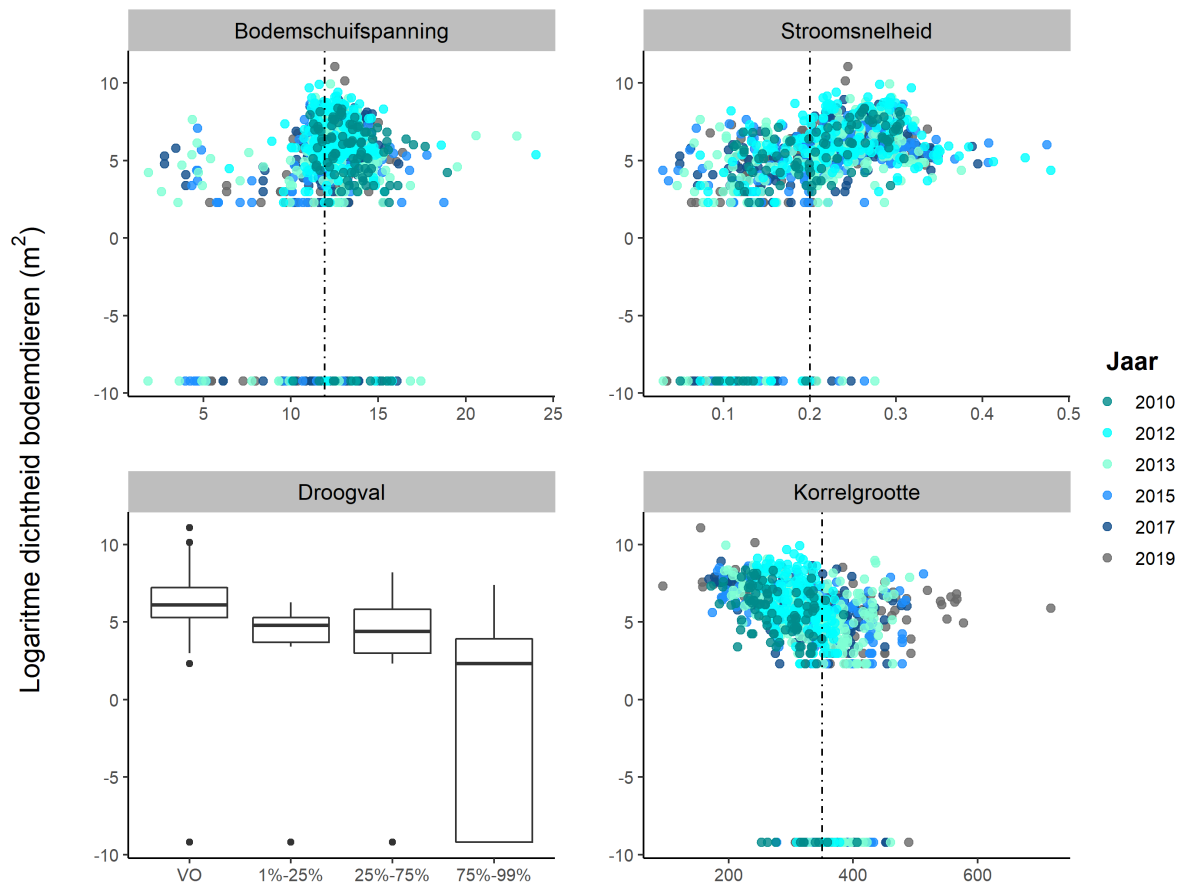


Datum: 17 november 2020

Bijlage 1 Benthos en abiotiek



Figuur 15 Relatie tussen de biomassa bodemdieren (logaritme van biomassa bodemdieren per m²) en abiotiek; bodemschuifspanning in N/m², stroomsnelheid in m/s, droogval in percentage en mediane korrelgrootte in µm. In de figuren is elk punt een bemonsteringslocatie en de kleur van de punten correleert met het bemonsteringsjaar. Voor droogval zijn alle jaren samen genomen. Voor een duidelijkere grafiek, zijn bodemschuifspanningen groter dan 25 N/m² weggelaten. Bij droogval is de categorie >99% weggelaten, omdat op het droge strand geen benthos monsters zijn genomen. VO is vooroever. De stippellijnen tonen de gebruikte waarden voor de categorisering voor de ecotopenclassificatie.

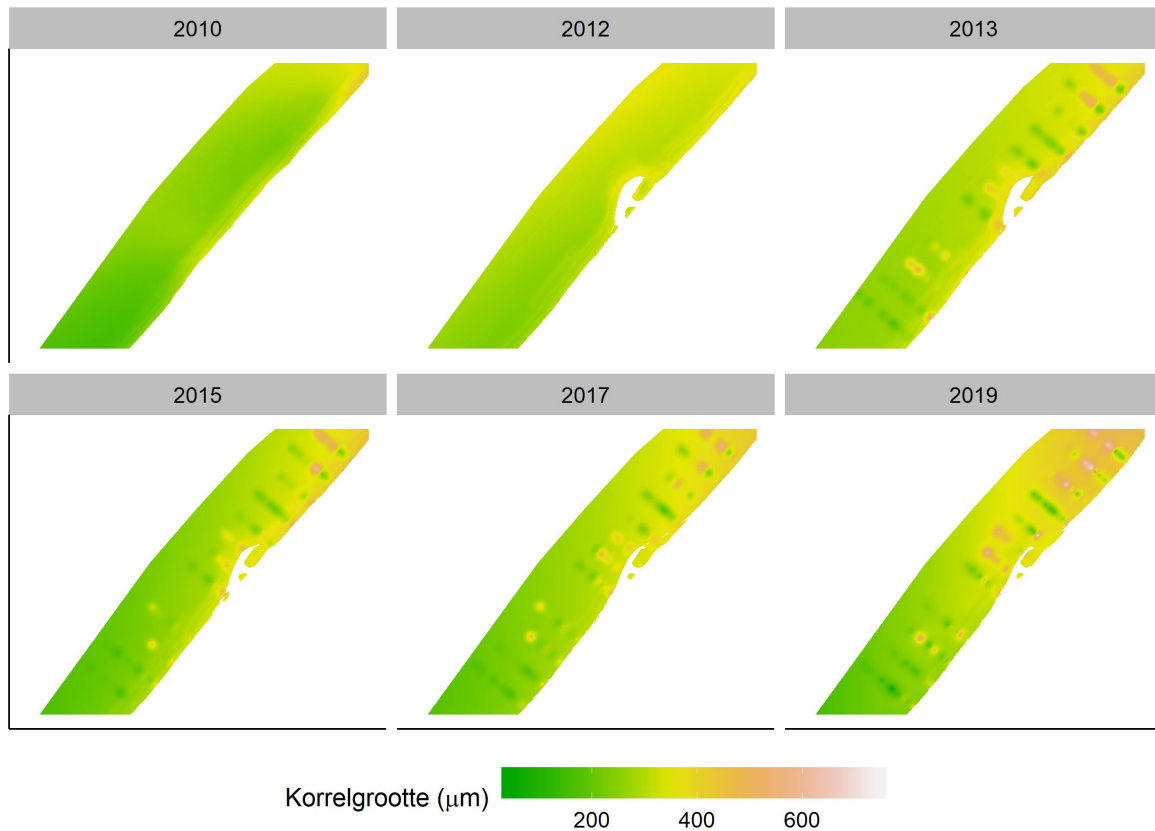


Figuur 16 Relatie tussen aantal de dichtheid aan bodemdieren (logaritme van dichtheid bodemdieren per m^2) in de bodem en abiotiek; bodemschuifspanning in N/m^2 , stroomsnelheid in m/s , droogval in percentage en mediane korrelgrootte in μm . In de figuren is elk punt een bemonsteringslocatie en de kleur van de punten correleert met het bemonsteringsjaar. Voor droogval zijn alle jaren samen genomen. Voor een duidelijkere grafiek, zijn bodemschuifspanningen groter dan $25 N/m^2$ weggelaten. Bij droogval is de categorie $>99\%$ weggelaten, omdat op het droge strand geen benthos monsters zijn genomen. VO is vooroever. De stippellijnen tonen de gebruikte waarden voor de categorisering voor de ecotopenclassificatie.

Bijlage 2 Mediane korrelgrootte

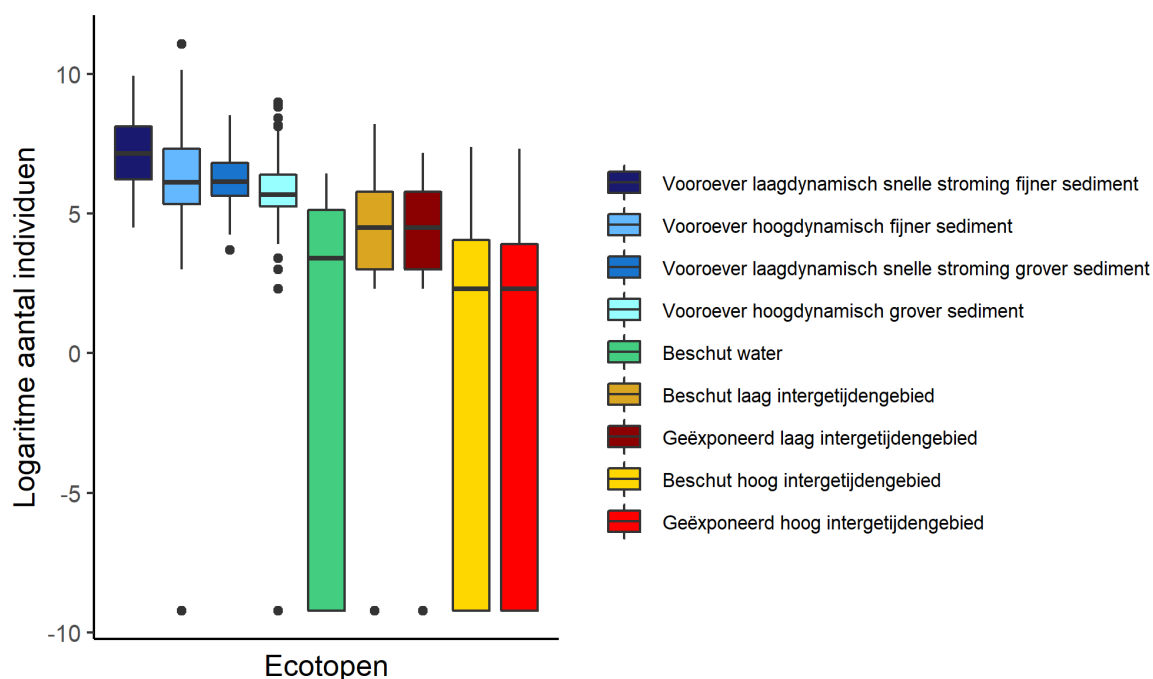


Figuur 17 Mediane korrelgrootte rond de Zandmotor over de tijd per categorie. Relatief fijne korrels hebben een mediane korrelgrootte kleiner dan 350 μm en relatief grove korrels hebben een mediane korrelgrootte groter dan 350 μm . Met deze categorieën blijven de algemene patronen die in Figuur 6 te zien zijn zichtbaar in de kaarten. Het strand van de Zandmotor is weggelaten op deze plots, omdat er voor de interpolatie geen monsters zijn meegenomen op de Zandmotor zelf.

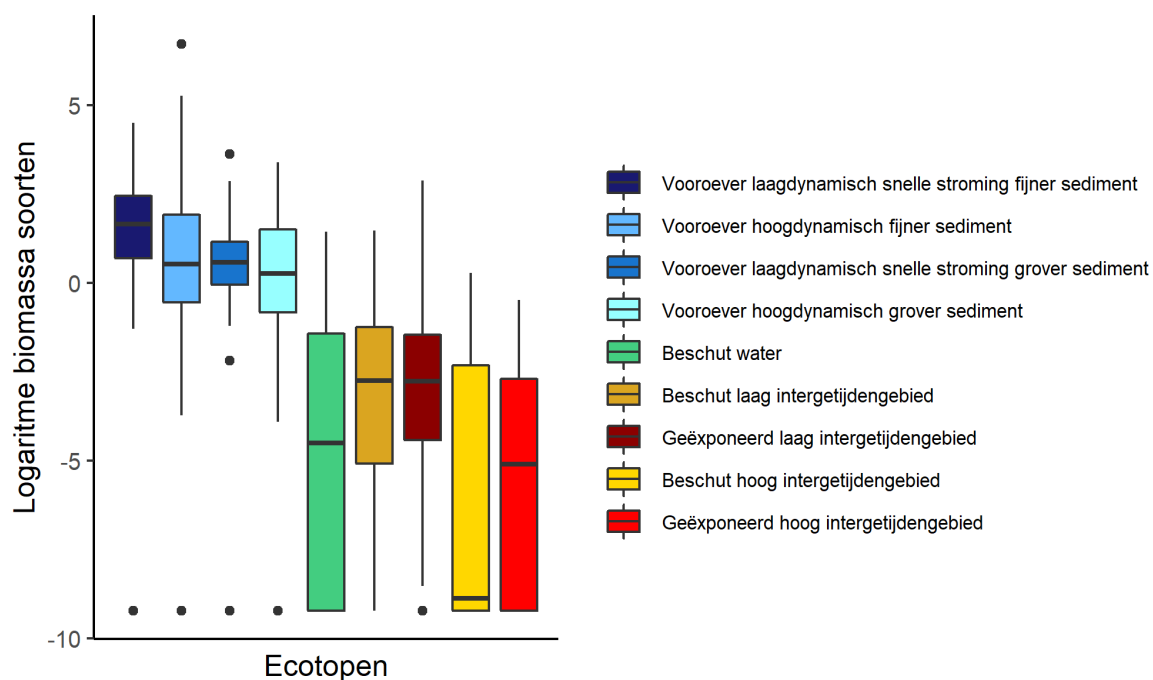


Figuur 18 Mediane korrelgrootte rond de Zandmotor over de tijd, waarbij voor de interpolatie enkel de bemonsteringspunten genomen zijn die ook in 2012 bemonsterd zijn. De aantal bemonsteringspunten voor de interpolatie hierboven zijn voor 2010-2019 respectievelijk; 133, 197, 174, 197, 197 en 194. De patronen die zichtbaar zijn in Figuur 6 blijven ook bestaan wanneer minder bemonsteringspunten per jaar worden gebruikt voor de interpolatie.

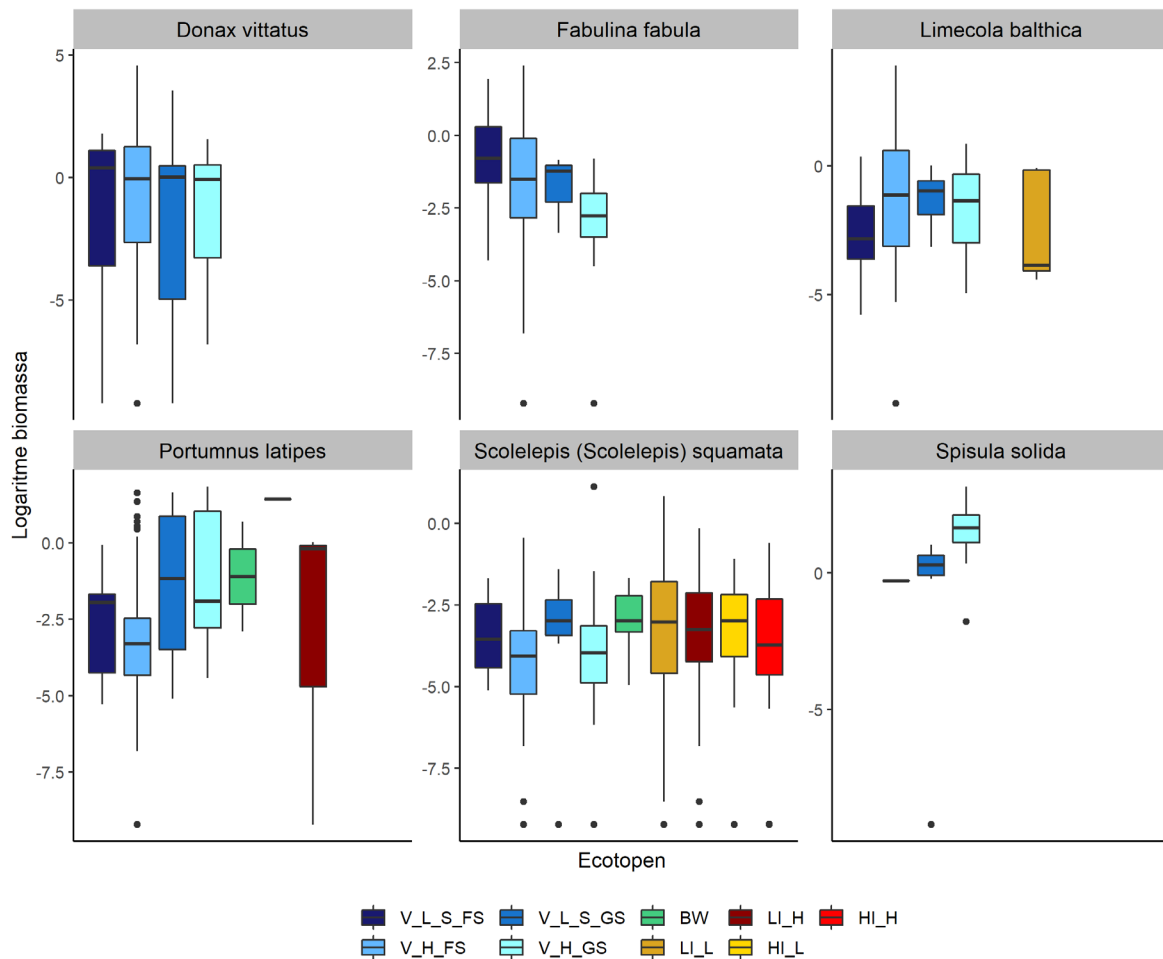
Bijlage 3 Benthos en ecotopen



Figuur 19 Aantal individuele bodemdieren per m² (logaritmische schaal) die bemonsterd zijn binnen de verschillende typen ecotopen.



Figuur 20 Biomassa bodemdieren per m² (logaritmische schaal) bemonsterd binnen de verschillende typen ecotopen



Figuur 21 Biomassa van zes bodemdieren per m² (logaritmische schaal); het zaagje (*Donax vittatus*), de rechtsgestreepte platschelp (*Fabulina fabula*), het nonnetje (*Limecola balthica*), de breedpootkrab (*Portumnus latipes*), de borstelworm *Scolelepis (Scolelepis) squamata*, en de stevige strandschelp (*Spisula solida*). Letters in de codes staan voor: V = Vooroever, BW = beschut water, LI= Laag intergetijdengebied, HI = hoog intergetijdengebied, L = laagdynamisch, H = hoogdynamisch, S = snel stromend water, FS = fijner sediment, GS = grover sediment

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'