



---

# Effect van diepe vooroeversuppletie bij Callantsoog op de bodemdieren

Eindrapport

Auteur(s): Wijsman, J.W.M. en Schotanus, J.

Wageningen University &  
Research rapport C036/22

---

# Effect van diepe vooroeversuppletie bij Callantsoog op de bodemdieren

Eindrapport

Auteur(s): Wijsman, J.W.M. en Schotanus, J.

Wageningen Marine Research  
Yerseke, juli 2022

---

VERTROUWELIJK    Nee

Wageningen Marine Research rapport C036/22

---

Keywords: Bodemschaaf, Box-corer, suppletie, clusteranalyse, nMDS

Opdrachtgever: RWS Zee & Delta en RWS WVL  
T.a.v.: Suzan van Lieshout  
Postbus 17  
8200 AA Lelystad

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/572790>  
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  
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur  
bedrijfsvoering

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 V32 (2021)

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Achtergrond	7
1.2 Probleemstelling	7
1.3 Doelstelling	8
1.4 Dankwoord	8
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>9</b>
2.1 Suppleties Callantsoog	9
2.2 Bemonsteringsopzet en locaties	11
2.2.1 Opzet	11
2.2.2 Ligging van de locaties	11
2.3 Bemonstering bodemschaaf	12
2.3.1 Monsternamen	12
2.3.2 Verwerking	15
2.4 Bemonstering box-corer	15
2.5 Sedimentanalyses	17
2.6 Statistiek	17
2.7 Gemeenschapsanalyses	17
2.7.1 Clusteranalyse	17
2.7.2 nMDS	18
<b>3 Resultaten</b>	<b>19</b>
3.1 Sediment	19
3.2 Schaaf	21
3.2.1 Voorkomen van soorten	21
3.2.2 Dichtheid, biomassa en aantal taxa per locatie	22
3.2.3 Verspreiding van soorten over de deelgebieden	24
3.2.4 Gemeenschapsanalyse 2021	26
3.2.5 Gemeenschapsanalyse schaaftdata alle jaren	28
3.2.6 <i>Spisula</i> banken	32
3.3 Box-corer	32
3.3.1 Voorkomen van soorten	32
3.3.2 Dichtheid, biomassa en aantal soorten per locatie	33
3.3.3 Verspreiding van de soorten over de deelgebieden	35
3.3.4 Gemeenschapsanalyse 2021	36
3.3.5 Gemeenschapsanalyse data box-corer alle jaren	38
<b>4 Conclusies en discussie</b>	<b>42</b>
<b>5 Kwaliteitsborging</b>	<b>45</b>
<b>6 Literatuur</b>	<b>46</b>
<b>Verantwoording</b>	<b>48</b>
<b>Bijlage 1 Verspreidingskaarten van een aantal bodemdieren in de schaaft</b>	<b>49</b>
<b>Bijlage 2 Verspreidingskaarten van een aantal bodemdieren (data box-corer)</b>	<b>53</b>

---

<b>Bijlage 3</b>	<b>Clusterdiagrammen schaaftdata 2015 en 2016</b>	<b>60</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>nMDS plots schaaftdata 2015 en 2016</b>	<b>62</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Clusterdiagrammen data box-corer 2015 en 2016</b>	<b>64</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>nMDS plots data box-corer 2015 en 2016</b>	<b>66</b>

---

# Samenvatting

Bij Callantsoog is er in 2017 een experimentele diepe vooroeversuppletie uitgevoerd van 1.0 miljoen m<sup>3</sup>. Deze suppletie is aangebracht buiten de actieve brekerbankzone op een diepte van -10 tot -10.5 m NAP. De verwachting was dan ook dat deze suppletie minder actief zal zijn dan reguliere vooroeversuppleties die op een diepte van -3 tot -8 meter NAP worden aangelegd. Vanwege het experimentele karakter van deze suppletie is er een uitgebreid monitoringsprogramma uitgevoerd om (1) te onderzoeken of er meerjarige *Spisula* banken in het gebied aanwezig zijn die van betekenis kunnen zijn voor zee-eenden en (2) het herstel van het bodemleven na de suppletie in kaart te brengen. Dit rapport beschrijft de resultaten van de T<sub>1</sub> monitoring die is uitgevoerd in het najaar van 2021, vier jaar na de aanleg van de suppletie. De resultaten zijn vergeleken met de T<sub>0</sub> monitoring die in twee jaar is uitgevoerd in augustus en september 2015 en 2016 en waarvan de resultaten reeds in eerdere rapportages zijn gepresenteerd. In alle jaren zijn er bodemdierbemonsteringen uitgevoerd op iedere locatie met zowel de bodemschaaf als de box-corer.

Van de 61 stations die zijn bemonsterd in de jaren 2015, 2016 en 2021 waren er 21 stations gelegen in het suppletiegebied (Suppletie). Om eventuele effecten van de suppletiewerkzaamheden te kunnen onderscheiden van de jaarlijkse fluctuaties is de bemonstering ook uitgevoerd in twee referentiegebieden, één ten noorden (Noord) en één ten zuiden (Zuid) van het suppletiegebied. Beide referentiegebieden liggen op eenzelfde diepte als het suppletiegebied. In ieder van de referentiegebieden zijn per jaar 20 monsters genomen. In 2015 zijn er ook bodemdierbemonsteringen uitgevoerd in de ondiepe vooroever (68 locaties). Er is echter besloten om deze bemonstering in de jaren 2016 en 2021 niet voort te zetten, waardoor een vergelijk met de ondiepere vooroever niet kon worden gedaan. De resultaten van de bemonstering in de ondiepe uit 2015 zijn in een eerdere rapportage gepresenteerd en zijn in de huidige rapportage buiten beschouwing gehouden.

Tijdens de bemonstering in 2021 was het sediment op de suppletielocatie duidelijk grover van samenstelling dan op de referentielocaties Zuid en Noord. De bemonsterde stations op de suppletielocatie hadden een gemiddelde mediane korrelgrootte van 330 (±59) µm. In deelgebied Zuid was de gemiddelde mediane korrelgrootte in 2021 223 ±34 µm en in deelgebied Noord was de gemiddelde mediane korrelgrootte 260 ±35 µm. Het relatief grove sediment op de suppletielocatie is waarschijnlijk een direct of indirect gevolg van de suppletie. In de jaren voor de aanleg van de suppletie (2015 en 2016) was de mediane korrelgrootte in het suppletiegebied vergelijkbaar met de mediane korrelgrootte in deelgebied Zuid. Het sediment in deelgebied Noord was in alle jaren (2015, 2016 en 2021) significant grover dan het sediment in deelgebied Zuid. In 2015 was de mediane korrelgrootte in de deelgebieden; Zuid, Suppletie en Noord 232 µm. In 2016 was de gemiddelde mediane korrelgrootte in dezelfde deelgebieden 212 µm. In 2021, na de suppletie uitgevoerd in 2017, lag de gemiddelde mediane korrelgrootte significant hoger namelijk rond de 272 µm. In 2015 en 2016 werden de meest grove sedimenten (mediane korrelgrootte ≈ 300 µm) aangetroffen in het deelgebied Noord.

Ook de bodemdiergemeenschap op de suppletielocatie is veranderd als gevolg van de suppletie. De resultaten van de bemonstering met de bodemschaaf in 2021 laten zien dat de dichtheid van bodemdieren in het suppletiegebied ( $2 \pm 1$  ind. m<sup>-2</sup>) significant lager was dan in de deelgebieden Zuid ( $62 \pm 25$  ind. m<sup>-2</sup>) en Noord ( $24 \pm 32$  ind. m<sup>-2</sup>). Ook de biomassa (zonder *Ensis* spp, otterschelp, strandgaper, zeeklit en heremietkreeften) was lager in het Suppletiegebied ( $2.3 \pm 1.5$  g versgewicht m<sup>-2</sup>) dan in deelgebied Zuid ( $27.4 \pm 11.1$  g versgewicht m<sup>-2</sup>), maar niet lager dan de biomassa in deelgebied Noord ( $5.4 \pm 8.8$  g versgewicht m<sup>-2</sup>). In de jaren voor de suppletie (2015 en 2016) kwamen zowel de biomassa als de dichtheid en de gemiddelde biomassa in deelgebied Suppletie juist overeen met deelgebied Zuid, en hadden een hogere dichtheid en biomassa aan bodemdieren dan deelgebied Noord. Hetzelfde patroon is ook te zien in de bemonstering met de box-corer. In 2021 is de laagste gemiddelde dichtheid aan bodemdieren aangetroffen in het suppletiegebied ( $317 \pm 243$  ind. m<sup>-2</sup>). In de deelgebieden Noord ( $680 \pm 1035$  ind. m<sup>-2</sup>) en Zuid ( $3135 \pm 1820$  ind. m<sup>-2</sup>) was de dichtheid aan

---

bodemdieren significant groter. De biomassa in 2021 was in deelgebied Suppletie  $5.3 \pm 14.0$  gAFDW  $m^{-2}$ . In de deelgebieden Noord ( $32.2 \pm 74.7$  gAFDW  $m^{-2}$ ) en Zuid ( $137.2 \pm 107.6$  gAFDW  $m^{-2}$ ) was de biomassa van de bodemdieren in de box-corer hoger. In voorgaande jaren (2015 en 2016) kwam de bodemdiergemeenschap in deelgebied Suppletie voor zowel dichtheid als biomassa meer overeen met deelgebied Zuid en was over het algemeen rijker dan deelgebied Noord. Gemiddeld over alle deelgebieden was de hoeveelheid (dichtheid en biomassa) bodemdieren in 2016 toegenomen ten opzichte van 2015 en afgenomen in 2021. Deze sterke toename in 2016 ten opzichte van 2015 is het gevolg van een goede broedval van *Ensis* spp. en *Lanice* spp. die heeft plaatsgevonden in 2016.

*Ensis* spp. was in alle monsterjaren de meest dominante soort in de schaaftmonsters. *Ensis* spp. kwam in 2015 en 2016 veelvuldig voor in de deelgebieden Suppletie en Zuid. In 2021 werd er in het suppletiegebied met de bodemschaaf nauwelijks 1 *Ensis* spp. gevonden per vierkante meter, terwijl dit er in 2015 gemiddeld meer dan 65 ind.  $m^{-2}$  waren en in 2016 bijna 4600 ind.  $m^{-2}$ . Ook in deelgebied Zuid was de dichtheid van *Ensis* spp. 4 keer hoger in 2015 en 85 keer hoger in 2016 dan in 2021. In 2021 werden veel soorten die dominant waren in 2015 en 2016, zoals *Abra alba* (witte dunschaal) en *Limecola balthica* (nonnetje), niet of nauwelijks meer teruggevonden in deelgebied Suppletie en lijken ook de dichtheden in deelgebied Zuid lager te zijn dan in 2016 en soms ook dan in 2015.

Om de ontwikkeling van de bodemdiersamenstelling over de tijd en ruimte te analyseren zijn er ook multivariate analyses (clusteranalyse en nMDS) op de data van de bodemschaaf en de box-corer. De resultaten van de analyses van de bodemschaaf en de box-corer zijn vergelijkbaar. De cluster analyses op de data van 2021 laten een duidelijk verschil zien tussen de deelgebieden Noord en Suppletie en het deelgebied Zuid. Ook de nMDS analyses, vooral die van de box-corer, laten zien dat de bodemdiergemeenschap in de deelgebieden Suppletie en Noord sterke overeenkomsten vertonen met elkaar en dat de bodemdiergemeenschap duidelijk anders is dan in deelgebied Zuid. Voor de aanleg van de suppletie, in 2015 en 2016, kwam de bodemdiergemeenschap in het suppletiegebied juist veel meer overeen met de bodemdiergemeenschap het deelgebied Zuid. In het deelgebied Noord was de bodemdiergemeenschap in 2015 en 2016 duidelijk anders dan in de deelgebieden Zuid en Suppletie. Na de aanleg van de suppletie is de bodemdiergemeenschap in het suppletiegebied meer gaan lijken op de bodemdiergemeenschap in het deelgebied Noord.

Vanuit de NB-wet vergunning is het van belang om de suppletielocatie voorafgaand aan de werkzaamheden te onderzoeken op het voorkomen van meerjarige schelpdierbanken van de soort *Spisula subtruncata* (halfgeknotte strandschelp). Uit de monitoring met de schaaft blijkt dat er in 2015 *Spisula subtruncata* is aangetroffen, voornamelijk in het gebied waar later de suppletie is uitgevoerd. Echter waren de dichtheden beperkt. De maximale dichtheid aan meerjarige *Spisula*'s in de schaaftmonsters was 0.62 individuen  $m^{-2}$ . De meeste *Spisula*'s waren 0-jarig. Tijdens de bemonstering in 2016 zijn er op slechts 2 van de 61 bemonsterde locaties *Spisula*'s aangetroffen. In alle gevallen betrof dit meerjarige *Spisula*'s. De hoogste dichtheid ( $3.27$  ind.  $m^{-2}$ ) is aangetroffen op een locatie binnen het voorziene suppletiegebied, en ook in het deelgebied Noord zijn op één locatie *Spisula*'s aangetroffen (dichtheid  $0,26$   $m^{-2}$ ). In 2021, na uitvoering van de suppletie, zijn er voornamelijk *Spisula*'s in hogere dichtheden aangetroffen in het deelgebied Zuid. De gemiddelde dichtheid was ongeveer 3.5 individuen per  $m^2$ . In het deelgebied Suppletie, evenals het deelgebied Noord zijn wel *Spisula*'s aangetroffen, maar de dichtheden waren nog veel lager dan in deelgebied Zuid. Naast *Spisula subtruncata* is er op in 2015 op twee locaties en in 2016 op één locatie een andere *Spisula* soort, *Spisula solida*, aangetroffen in de bodemschaaf.

De monitoring die is uitgevoerd in de jaren 2015, 2016 en 2021 laat zien dat de bodemdiergemeenschap van de suppletielocatie 4 jaar na aanleg nog niet is hersteld. Het sediment op de suppletielocatie is grover geworden en de bodemdiergemeenschap heeft zich hierop aangepast. Dit is terug te zien in een verminderde dichtheid en biomassa en ook in de samenstelling van de bodemdiergemeenschap.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Het huidige beleid voor de Nederlandse kust is erop gericht om de kustlijn "dynamisch" te handhaven en de kusterosie tegen te gaan met natuurlijke materialen zoals zand. Om de zandvoorraad in de kustlijn te handhaven, wordt er zand vanuit de diepere delen van de Noordzee (buiten de doorgetrokken -20 m dieptelijn en binnen de 12-mijlsgrens) in de kustzone gesuppleerd. Op korte termijn is het beleid erop gericht om de basiskustlijn (BKL) te handhaven. Een basiskustlijnsuppletie wordt in principe gepland als er sprake is van een verwachte overschrijding van de BKL in de komende jaren. De ligging van de basiskustlijn wordt regelmatig geëvalueerd en herzien. De laatste herziening vond plaats in 2018 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018). Op lange termijn is het kustbeleid gericht op het compenseren van het zandtekort in het kustfundament (zone tussen binnenduinrand en de doorgaande -20m NAP lijn), mede als gevolg van de zeespiegelstijging (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Baptist, 2011). Om hieraan te kunnen voldoen brengt Rijkswaterstaat jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m<sup>3</sup> zand aan binnen het kustfundament. Deze suppleties ten behoeve van het kustfundament worden gepland als er, aanvullend aan de geplande BKL-suppleties, suppleties nodig zijn om te voldoen aan de afgesproken volumes.

Suppleties kunnen zowel boven als onder water worden uitgevoerd, en kunnen worden onderscheiden in drie typen: geulwandsuppleties, strandsuppleties en vooroeversuppleties. Het zand wordt op een specifieke locatie gestort en wordt door waterbeweging en wind verder verspreid langs de kust en naar de achtergelegen duinen. Doorgaans worden de vooroeversuppleties aangelegd tegen de zeezijde van de buitenste brekerbank op een diepte tussen de -3 en -8 meter NAP. Op deze manier ligt het materiaal in de actieve zone van de vooroever en kan via de natuurlijke processen verspreid worden over het bedreigde kustvak (Van der Spek et al., 2007).

Suppleties kunnen het onderwaterleven op verschillende manieren beïnvloeden. Op basis van gerichte monitoring is er veel kennis beschikbaar over de effecten van ondiepe (-3 tot -8 m NAP) vooroeversuppleties en strandsuppleties op het bodemleven. Directe effecten zijn het bedekken van de bodemdieren en vertroebeling van het water. Uit de periodieke monitoring na de suppleties blijkt dat de effecten van korte duur zijn en dat het bodemleven zich doorgaans snel herstelt (Van Dalen en Essink, 1997, Herman et al., 2016, Vergouwen en Meijer-Holzhauer, 2016, Holzhauer et al., 2020). Hierbij dient te worden aangemerkt dat er een verschil kan zitten in herstel van bodemdiergemeenschap in de zin van biomassa, dichtheid of soortensamenstelling (Newell et al., 2004, Birklund en Wijsman, 2005). Het aanbrengen van een suppletie kan het onderwaterleven ook indirect beïnvloeden middels veranderingen in sedimentsamenstelling, morfologie en waterbeweging. Bij Ameland zijn de ecologische effecten van een strand (2.3 miljoen m<sup>3</sup>) en ondiepe vooroeversuppletie (5.4 miljoen m<sup>3</sup>) die zijn uitgevoerd in de periode tussen mei 2010 en juli 2011 in detail onderzocht (Holzhauer et al., 2014). In 2011 is er een megasuppletie (21.5 miljoen m<sup>3</sup>) bij de Delflandse kust uitgevoerd, de Zandmotor. De morfologische en ecologische ontwikkelingen van deze suppletie worden nauwkeurig middels monitoring gevolgd (Taal et al., 2016, Wijsman et al., 2020, Herman et al., 2021, Huisman et al., 2021).

## 1.2 Probleemstelling

In 2017 is er in het kader van de handhaving van het kustfundament een pilot uitgevoerd met een diepe (ca -10 meter NAP) vooroeversuppletie (1.0 miljoen m<sup>3</sup>) bij Callantsoog. Het aanbrengen van een suppletie op deze diepte is goedkoper dan een reguliere suppletie. Echter, deze zone is doorgaans rijker aan bodemleven (Holzhauer et al., 2014, Holzhauer et al., 2020, Wijsman et al., 2020) en tevens was het niet duidelijk hoe de aangebrachte suppletie zich morfologisch gaat gedragen en wat de effecten zijn op het bodemleven.



---

Voor de innovatieve diepe vooroeversuppletie bij Callantsoog is een Natuurbeschermingswet (NB-wet) vergunning aangevraagd en verkregen (Dijksma, 2015). Aan deze NB-wet vergunning zijn voorwaarden gekoppeld. Rijkswaterstaat dient, voorafgaand aan de suppletie, onderzoek te laten verrichten naar de aanwezigheid van meerjarige *Spisula* (banken) in het suppletiegebied. Indien er sprake is van een meerjarige *Spisula subtruncata* bank die van belang is voor foeragerende zee-eenden, en als suppleren op betreffende locatie onvermijdelijk is, dan worden de uit te voeren suppleties niet gestart in de periode van 1 juni tot 1 maart (Rijkswaterstaat, 2014). Ook het herstel van bodemfauna na de suppletie dient te worden onderzocht. Het gaat daarbij om zowel de hoeveelheid (abundantie en biomassa) als om de kwaliteit (o.a. soortensamenstelling, evenwichtige leeftijdsopbouw binnen de populaties van soorten).

De voorwaarden volgen uit het feit dat onderwatersuppleties een (tijdelijk) effect kunnen hebben op het habitatype 1110B "permanent overstromde zandbanken". Onderwatersuppleties kunnen ook het voedselvoorkomen van schelpdier etende vogelsoorten beïnvloeden waarvoor instandhoudingsdoelstellingen zijn opgesteld in het kader van Natura-2000 (Rijkswaterstaat, 2014).

## 1.3 Doelstelling

Het doel van het oorspronkelijke project was te onderzoeken wat de effecten zijn van een diepe vooroeversuppletie op de bodemfauna. Dit behelst de effecten op de suppletie locatie, maar ook de uitstralingseffecten naar de ondiepe vooroever, waar de randvoorwaarden (sedimentsamenstelling, hydrodynamiek en morfologie) mogelijk gaan veranderen als gevolg van de ligging van de suppletie. Het project kon daarmee worden opgesplitst in drie sub-doelen:

1. Onderzoek naar aan- of afwezigheid van "*Spisula* banken" voorafgaand aan de suppletie;
2. Vaststellen mate van rekolonisatie, herstel van habitatype 1110b;
3. Effecten op bodemfauna in de ondiepe vooroever aan de "luwe" zijde (kustwaarts) van de suppletie.

Het derde subdoel was onderdeel van het programma Ecologisch Gericht Suppleren (EGS). Hiertoe is er in 2015 eerste  $T_0$  meting uitgevoerd in de ondiepe vooroever (Wijsman en Craeymeersch, 2016). Helaas is er besloten om dit niet voort te zetten en is er na de uitvoering van de suppletie geen bodemfauna meer bemonsterd in de ondiepe vooroever van Callantsoog.. Daarmee is subdoel 3 voor het huidige project te komen vervallen en is de ondiepe vooroever niet verder meegenomen in deze rapportage.

In het huidige rapport worden de resultaten van de  $T_1$  bemonstering gepresenteerd en vergeleken met de  $T_0$  metingen die zijn uitgevoerd in 2015 (Wijsman en Craeymeersch, 2016) en 2016 (Wijsman et al., 2017). De  $T_0$  metingen geven een overzicht van de situatie vóór de suppletiewerkzaamheden en de  $T_1$  meting van de situatie na de suppletiewerkzaamheden die zijn uitgevoerd in 2017. Deze resultaten worden gebruikt om de aanwezigheid van *Spisula*-banken te identificeren (subdoel 1) en het herstel te kwantificeren op de suppletielocatie (subdoel 2).

## 1.4 Dankwoord

De bemonstering van 2021 is uitgevoerd met een schip van de Rijksrederij (MS Terschelling). In eerdere jaren is de bemonstering uitgevoerd met de MS Zirfaea en MS Nieuw Diep (2015) en de MS Arca (2016). Wij willen de bemanning van de MS Terschelling, MS Zirfaea, MS Nieuw Diep en MS Arca danken voor hun flexibele inzet Jack Perdon, Douwe van den Ende, Joel Cuperus en Jetze van Zwol (Wageningen Marine Research) hebben de veldbemonstering uitgevoerd. Emiel Brummelhuis, Babeth van der Weide, Cor Sonneveld, Erika Koelemij en Jennifer Chin (Wageningen Marine Research) hebben bodemdieren van de box-corer uitgezocht en gedetermineerd. Suzan van Lieshout en Simeon Moons (Rijkswaterstaat Zee en Delta) hebben bruikbare commentaren en suggesties voor verbeteringen gegeven op een eerdere versie van dit rapport. Johan Craeymeersch (Wageningen Marine Research) heeft het rapport gereviewd.

## 2 Materiaal en methoden

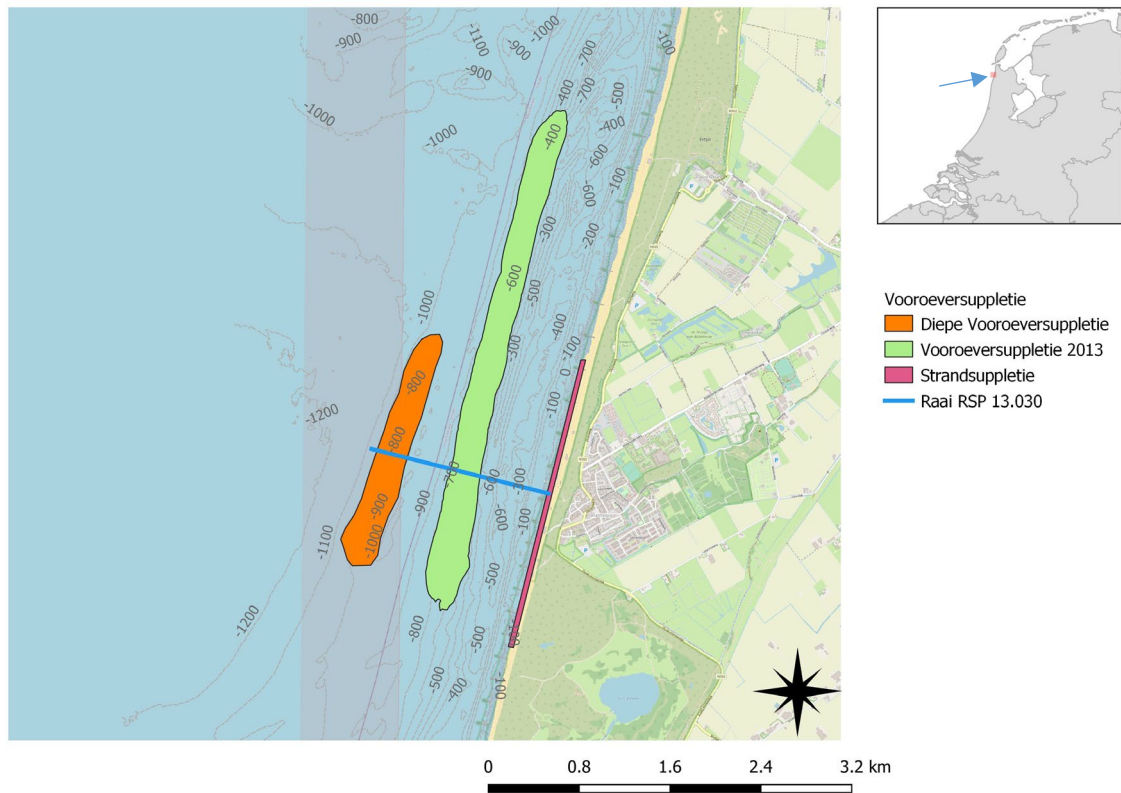
### 2.1 Suppleties Callantsoog

Bij Callantsoog treedt al jaren structurele erosie op. Tussen Rijksstrandpalen 11.15 en 12.80 is sprake van een relatief smalle duinenrij. Om de kust van voldoende zand te voorzien zijn er al diverse vooroever- en strandsuppleties uitgevoerd (Tabel 1). De huidige studie richt zich op de diepe vooroeversuppletie uit 2017. Deze diepe vooroeversuppletie van ca 1 000 000 m<sup>3</sup> is aangelegd in het kader van het op orde houden van het kustfundament op een diepte van ca 10 m NAP, wat dieper is dan gebruikelijk voor een vooroeversuppletie. De verwachting is dan ook dat deze minder mobiel en dynamisch zal zijn dan een reguliere vooroeversuppletie. Rijkswaterstaat wil hiermee leren hoe effectief een dieper aangebrachte suppletie is ten opzichte van de gebruikelijke suppletie op de ondiepe vooroever. Om er zeker van te zijn dat de kustligging voldoet aan de vastgestelde norm (BKL) - en daarmee dat dit kustvak veilig blijft - zijn er tevens ondersteunende strandsuppleties uitgevoerd (Tabel 1, Figuur 1).

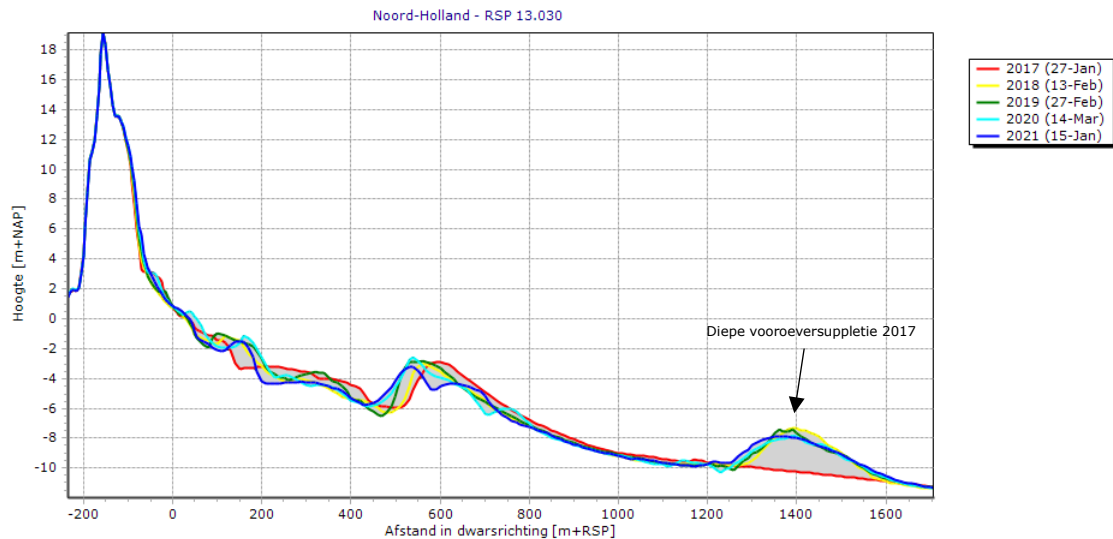
Tabel 1: Overzicht suppletiegeschiedenis Callantsoog vanaf 1999

Jaar	Type	Locatie (raai)	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )
1999	Strandsuppletie	13.2-14	144 000
2001	Onderwatersuppletie	11.08-14.01	1 500 000
2003	Strandsuppletie	11.1-13.75	494 736
2003	Onderwatersuppletie	10-16	2 580 000
2004	Strandsuppletie	11.1-13.75	258 750
2006	Onderwatersuppletie	10-15.2	1 600 000
2013	Onderwatersuppletie	10-14.2	2 000 000
2017	Strandsuppletie	11.82-14.42	400 000
2017	Diepe vooroever	12.13-14.01	1 000 000
2019	Strandsuppletie	12.13-14.01	400 000

De diepe vooroeversuppletie van 2017 is duidelijk terug te zien in de diepteprofielen van raai RSP 13.810 (Figuur 2). Ter plekke is de bodem door de suppletie ongeveer 2.5 meter ondieper komen te liggen van ca -10 m NAP tot ca -7.5 m NAP. In de periode tussen 13 februari 2018 en 15 januari 2021 is er ongeveer 1 meter zand van de suppletie geërodeerd. In de figuur is op ca 600 meter in de dwarsrichting ook nog een bank te zien op de locatie waar in 2013 de ondiepe vooroeversuppletie van ca 2 000 000 m<sup>3</sup> is uitgevoerd (Figuur 1). Deze suppletie is destijds aangelegd op een diepte tussen -5 tot -8 m NAP, ten oosten van de diepe vooroeversuppletie uit 2017. De contouren van de ondiepe vooroeversuppletie van 2013 waren duidelijk terug te zien in de grotere mediane korrelgroottes tijdens de sedimentbemonstering die is uitgevoerd in 2015 in dit gebied (Wijsman en Craeymeersch, 2016). Uit de figuur is niet duidelijk of de suppletie van 2013 inmiddels is opgenomen in de voorste brekerbank zone, maar deze zone lijkt dynamischer te zijn dan de locatie waar de diepe vooroeversuppletie uit 2017 is uitgevoerd (Figuur 2). Dit is mogelijk het gevolg van de grotere invloed van de golven op de bodem in de ondiepere zone.



**Figuur 1:** *Overzicht recente oppleties Callantsoog. De diepe vooroeveroppletie die is uitgevoerd in 2017 is aangegeven in het oranje. De contouren van de ondiepe vooroeveroppletie uit 2013 is aangegeven in groen. De strandoppletie uit 2017 tussen de raaien 11.82 en 14.42 is ook aangegeven. De blauwe lijn is de Jarkusraai RSP 13.030. De blauwe pijl geeft de locatie van het onderzoeksgebied langs de Noord-Hollandse kust.*



**Figuur 2:** *Profielen van Jarkus raai 13.030 over de jaren 2017 tot en met 2021. Aangegeven is de diepe vooroeveroppletie van 2017.*

---

## 2.2 Bemonsteringsopzet en locaties

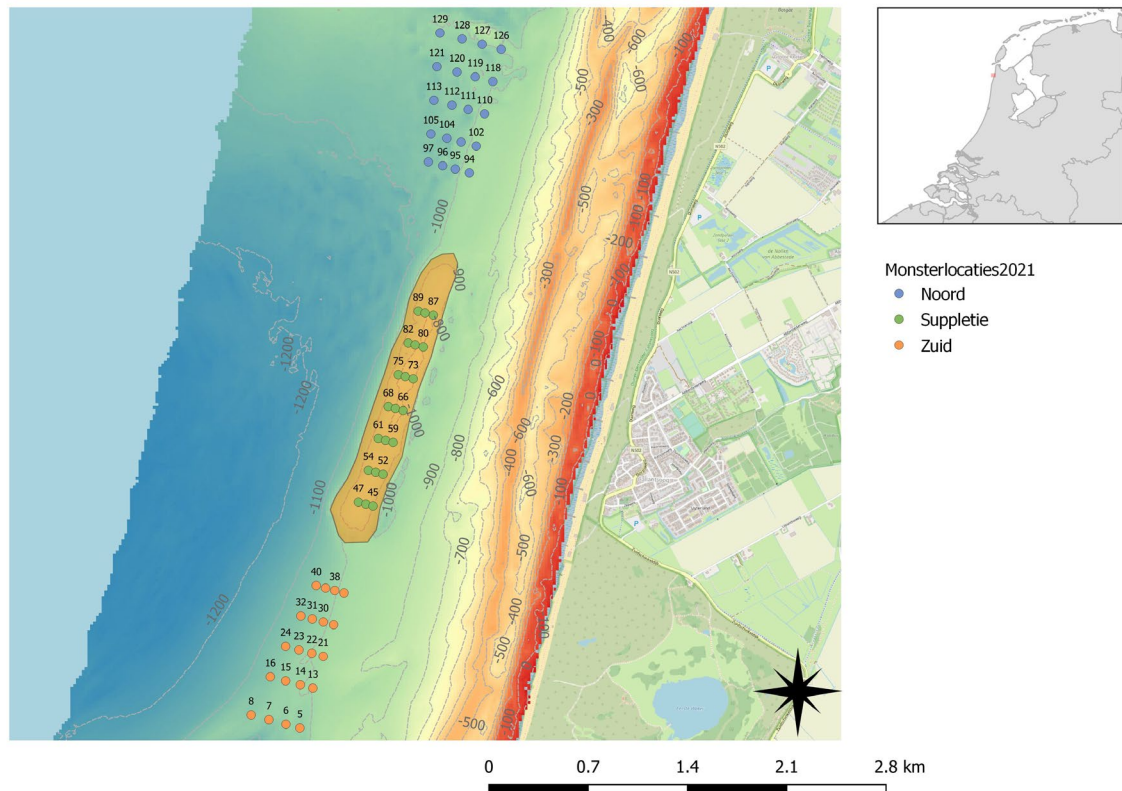
### 2.2.1 Opzet

Voor dit onderzoek is gekozen voor een BACI (Before, After, Control, Impact) aanpak (Underwood, 1992). Het idee van deze aanpak is dat de monitoring wordt uitgevoerd in het gebied waar effecten worden verwacht van de ingreep (Impact), alsmede in een gelijkend referentiegebied (Control) dat niet wordt beïnvloed door de activiteit. In beide gebieden wordt de situatie in kaart gebracht voor de ingreep ( $T_0$ -meting, Before) en na de ingreep (After). Over het algemeen kan een impactgebied worden gezien als hersteld als de situatie gelijk is aan het referentiegebied. Het is niet altijd eenvoudig om een goed referentiegebied (Control) te vinden. Een referentiegebied dient bij aanvang zoveel mogelijk identiek te zijn aan het impactgebied. In deze studie is ervoor gekozen om twee referentiegebieden te kiezen, één ten noorden en één ten zuiden van de suppletie (Figuur 3). Beide gebieden liggen op eenzelfde diepte (-10 tot -10.5 meter NAP) als de suppletielocatie.

Het doel van de  $T_0$  meting in een BACI design is een beeld te krijgen van de bodemdiergemeenschap in het impact gebied en het referentiegebied voor de ingreep. In dit geval is er een  $T_0$  (Before) uitgevoerd over meerdere jaren (2015 en 2016) en een  $T_1$  (After), in 2021, 4 jaar na de uitvoering van de suppletie. Voordeel van een meerjarige  $T_0$  is dat er meer inzicht wordt verkregen in de variatie tussen de jaren.

### 2.2.2 Ligging van de locaties

Het monitoringsprogramma van de  $T_1$  meting in 2021 was identiek aan het monitoringsprogramma van de  $T_0$  metingen uit 2015 en 2016 waarbij telkens dezelfde 61 locaties (Figuur 3) zijn bemonsterd in het najaar (augustus/september). De nummering van de stations in 2021 is identiek aan de nummering in 2015 en 2016. De locaties zijn verdeeld over 17 raaien en vallen binnen 3 verschillende gebieden (Noord, Suppletie en Zuid, Figuur 3). Op de locatie waar in 2017 de suppletie is aangelegd liggen 21 meetlocaties. Het gebied was voor de aanleg van de suppletie qua diepte redelijk homogeen (tussen de -10 en -10.5 m NAP). In de gebieden Noord en Zuid, die aanvankelijk zijn beschouwd als referentiegebieden, liggen elk 20 locaties. Ook deze locaties liggen op een vergelijkbare diepte. Tijdens de  $T_0$  bemonstering in 2015 zijn er ook 68 locaties bemonsterd in de ondiepe vooroever, op de 6, 7, 8 en 9 meter dieptelijn (zie figuur 2 in Wijsman en Craeymeersch, 2016). De bodemdieren zijn op iedere locatie bemonsterd met zowel een bodemschaaf als met een box-corer.



*Figuur 3: Overzicht monsterlocaties bij Callantsoog in 2021. De 61 stations liggen in 3 verschillende gebieden (Noord, Suppletie en Zuid, aangegeven d.m.v. de kleur van de stip). De oranje polygoon geeft de contouren van de diepe vooroeversuppletie uit 2017.*

## 2.3 Bemonstering bodemschaaf

### 2.3.1 Monstername

De bodemschaaf wordt gebruikt voor een kwantitatieve bemonstering van de grotere en relatief zeldzame epifauna en infauna soorten. De bodemschaaf is een kooi (maaswijdte 0.5 cm) die aan de onderzijde is voorzien van een mes van 10 cm breed (Figuur 4). Het mes is ontworpen om een strip sediment over een bepaalde afstand tot een diepte van 10 cm weg te halen en in de kooi te brengen. Omdat het voorste deel iets boven de bodem hangt, worden ook wel epibenthische dieren gevangen. Ook bepaalde vissen worden gevangen met de bodemschaaf (b.v. zandspiering), maar voor een kwantitatieve bemonstering van de vispopulaties zijn andere methodieken (bijvoorbeeld sleepnetten) nodig. De kooi van de schaar fungeert tijdens het vissen als zeef. De bodemschaaf wordt achter het schip over de zeebodem getrokken. De beviste afstand wordt bepaald via een aan de zijkant van de bodemschaaf gemonteerd wiel (omtrek 1.5 meter) voorzien van een elektronische teller die het aantal omwentelingen van het wiel registreert.

Om te zorgen voor een goed bodemcontact is er een gewicht (280 kg) geplaatst in het voorste deel van de bodemschaaf waar het mes zich bevindt. Het scharnier tussen dit voorste deel en de kooi is vastgezet. Om te voorkomen dat het wiel ronddraait terwijl de bodemschaaf geen bodemcontact heeft, is een verstelbare blokkeerinrichting aangebracht. De valdiepte waarbij het wiel (inclusief schoepen) nog juist vrij kan draaien is op 90 mm ten opzichte van de onderkant van de bodemschaaf gezet.

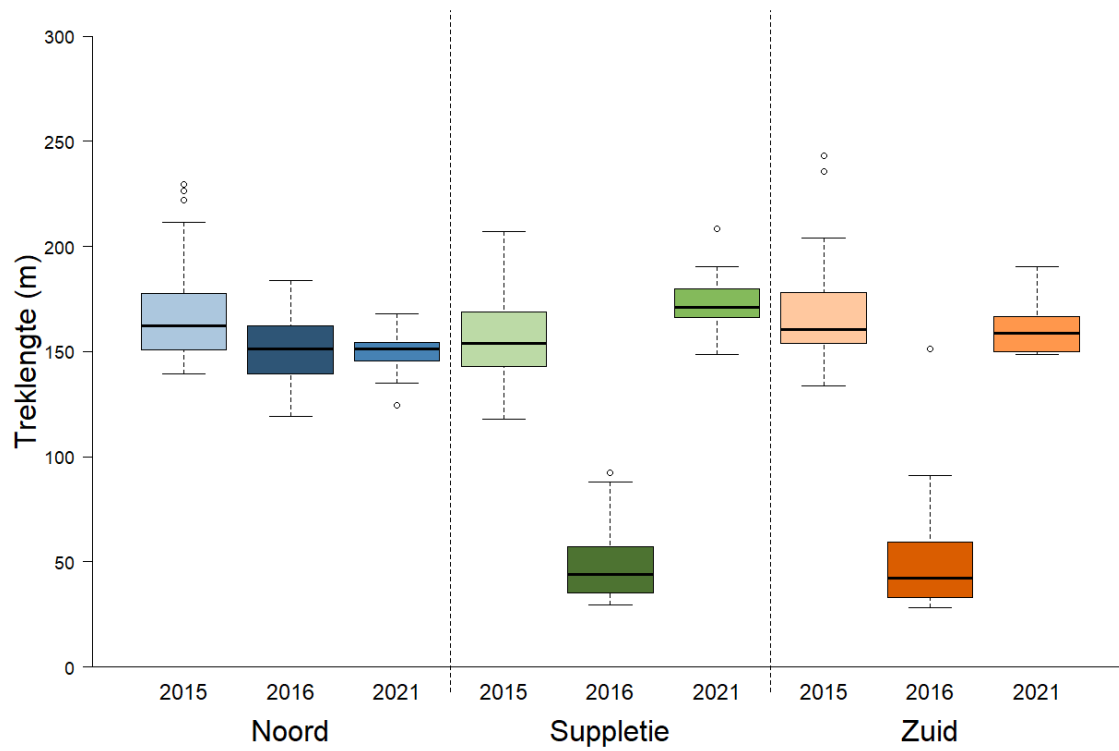


*Figuur 4: Bemonstering met de bodemschaaf. Te zien is de kooi met gaas met een maaswijdte van 5 mm die tijdens het vissen fungeert als zeef. Het telwiel aan de zijkant meet de trek lengte (foto Jack Perdon).*

De beoogde trek lengte bedroeg 150 meter, resulterend in een bemonsterd oppervlakte van ongeveer 15 m<sup>2</sup>. In 2021 was de gemiddelde trek lengte 161 m (stdev = 15 m)(Figuur 5). In het deelgebied Noord was de gemiddelde trek lengte (150 m, stdev = 10 m) het kortst en in deelgebied Suppletie was de gemiddelde trek lengte het langst (173 m, stdev = 13 m). In 2016 was er in de gebieden Suppletie en Zuid zo veel leven (voornamelijk schelpkokerwormen *Lanice* spp., Figuur 6) in de bodem dat de trekafstand is ingekort naar ca 50 meter om te voorkomen dat de schaar te vol kwam te zitten. Een kortere trek lengte kan mogelijk leiden tot het missen van de relatief zeldzame soorten (Wijsman et al., Submitted).

Bij iedere trek is tevens het tijdstip van het begin en einde van vieren en halen genoteerd, evenals de diepte en de kabellengte. De DGPS-positie van het schip is vastgelegd via twee onafhankelijke DGPS-ontvangers: Fugro Seastar DGPS met externe correctie vanaf de ARFSAT satelliet (20Hz) en, als reserve, een JRC DGPS (1 Hz).

Alle slepen zijn genomen evenwijdig aan de kust. Dit om verschillen in heterogeniteit als gevolg van een verandering in bathymetrie te beperken. Er is zoveel mogelijk gestreefd om over het vooraf bepaalde punt heen te slepen met de bodemschaaf. Dit kon achteraf worden bevestigd doordat de tracks zijn gelogd. Ieder monster genomen met de bodemschaaf is in een bak, aan de onderzijde voorzien van gaas met een maaswijdte van 5 mm, overgebracht. Indien noodzakelijk, is het monster gespoeld om het overtollige sediment te verwijderen. De vangst is nadien overgebracht in kisten van 48 liter en/of emmers van 10 liter.



Figuur 5: Boxplots van de trek lengtes met de schaar over de verschillende jaren.



Figuur 6: Vangst van een trek met de schaar uit 2016 met voornamelijk *Ensis* spp. en schelpkokerwormen (*Lanice conchilega*).

---

### 2.3.2 Verwerking

Het totale volume van de vangst (liter) is genoteerd. In 2021 was het gemiddelde volume van het monster 2.7 liter. Het maximale volume was 30 liter op locatie 94 in deelgebied Noord. In 2016 was het gemiddelde volume van het monster 40 liter, waarbij de gemiddelde vangst in de gebieden Zuid en Suppletie, ondanks de aangepaste trek lengte, twee keer zo groot was als in het gebied Noord. Indien de vangst meer dan 6 liter was is er een subsample genomen van 6 liter welke aan dek verder is gesorteerd en waar mogelijk tot op soort gedetermineerd.

Vervolgens is per soort het aantal individuen en het versgewicht (met uitzondering van de heremietkreeften, *Diogenes pugilator* en *Pagurus bernhardus*, de zeeklit, *Echinocardium cordatum* en de bivalven *Lutraria lutraria*, *Ensis* spp. en *Mya arenaria*) bepaald. Het versgewicht is bepaald door weging op een zeeveegschaal van Marel M2000 series (weegvermogen: 0-300 gr (nauwkeurigheid 0,1 gr); 300-600 gr (0,2 gr); 600-1500 gr (0,5 gr)). Van de otterschelpen (*Lutraria lutraria*), mesheften (*Ensis* spp. en strandgapers (*Mya arenaria*) worden door de schaaf alleen de boven het sediment uitstekende siphonen bemonsterd. Van deze soorten kon daarom versgewicht niet worden gemeten of berekend uit de breedte van de schelp.

Kapotte exemplaren van schelpdieren zijn meegeteld bij de bepaling van het aantal individuen indien a) het slot en vleesresten of b) enkel de sifons (bijv. mesheften, otterschelpen) aanwezig waren. Alle hele exemplaren van schelpdieren zijn per soort samen gewogen. Aantallen van krabben, slangsterren en zeesterren zijn bepaald aan de hand van respectievelijk het aantal carapaxen, het aantal schijven en het aantal armen (1 arm = 0,2 individuen). De kapotte exemplaren en delen zijn ook gewogen. Vissen zijn niet meegenomen in de analyse.

Alle gegevens m.b.t. de aantallen en de versgewichten per soort zijn direct aan boord ingevoerd in een database. De gegevens m.b.t. tellerstand en vangst volumes zijn eerst aan dek genoteerd, en op een later tijdstip in de invoerdatabase overgenomen.

## 2.4 Bemonstering box-corer

De box-corer bemonstering is uitgevoerd met een Reineck box-corer met een cilinderdiameter van 31.52 cm (Figuur 7). Incomplete of verdachte monsternames zijn opnieuw gemaakt tot een ongestoorde cilinder met voldoende sediment was verkregen. Na monsternamen zijn er drie steekbuizen met een buitendiameter van 8 cm in de cilinder gestoken (totaaloppervlak 139.7 cm<sup>2</sup>). Pokken (*Balanus crenatus*), garnalen (*Crangon crangon*), aasgarnalen (*Gastrosaccus spinifer*) zeekomma's (*Cumacea*), mosdiertjes (Bryozoa), hydropoliepen (Hydrozoa, *Obelia* spp.), vissen en neteldieren (Tubulariidae, Campanulariidae) zijn niet meegenomen in de analyses. Ook is er een sedimentmonster van de toplaag (5 cm) genomen uit de cilinder voor sedimentanalyses.





*Figuur 7: Reineck box-corer (foto Jack Perdon).*

De inhoud van de steekbuizen is gezeefd over een gesponde spoelzeef met een maaswijdte van 1 mm en dezelfde dag gefixeerd op 6%, gebufferde formaldehyde. Alle dichtheden en biomassa's zijn berekend als respectievelijk aantal individuen en gram per m<sup>2</sup>. De biomassa is uitgedrukt als asvrij drooggewicht (AFDW) per m<sup>2</sup>, en aan de hand van bestaande conversiefactoren berekend uit het gemeten natgewicht (bij kapotte dieren dus enkel van de delen in het monster).



*Figuur 8: Inhoud van drie steekbuizen uit de box-corer op de zeef tafel (foto Jack Perdon).*

---

## 2.5 Sedimentanalyses

Tijdens de bemonsteringen van 2015, 2016 en 2021 zijn er ieder jaar 61 sedimentmonsters genomen met een steekbuis (5 cm diep) vanuit de box-corer voor de analyse van de korrelgrootteverdeling. Gedurende de bemonstering zijn de sedimentmonsters koel bewaard en vervolgens op het laboratorium ingevroren bij -32 °C.

Alle monsters zijn gevriesdroogd en vervolgens is een subsample geanalyseerd op de korrelgrootteverdeling middels laser diffractie met een Malvern Mastersizer (detectie range 0.02 – 2000 µm), op het laboratorium van het NIOZ in Yerseke. Het sediment is hierbij niet voorbehandeld. Van het sediment zijn onder andere de korrelgrootteverdeling (onderverdeeld in 5 verschillende fracties, Tabel 2) en is de mediane korrelgrootte (µm) bepaald. Daarnaast is binnen de silt-fractie ook nog onderscheid gemaakt tussen 7 klassen van silt (grenzen: 2, 4, 8, 16, 32, 50 en 63 µm).

---

Tabel 2: Klassegrenzen korrelgrootteverdeling

Fractie	Range
Silt	< 63 µm
Zeer fijn zand	63 – 125 µm
Fijn zand	125 – 250 µm
Medium zand	250 – 500 µm
Grof zand	500 – 1000 µm

## 2.6 Statistiek

Univariate data zijn uitgedrukt in de vorm van boxplots. De zwarte horizontale lijn in de boxplots geeft de mediaan weer. De box van de boxplot geeft de interkwartiel range (25-percentiel tot 75-percentiel). 50% van de waarnemingen bevinden zich dus binnen deze range. De gestippelde lijnen strekken zich uit van de box tot maximaal 1.5 keer de interkwartiel range. De punten tenslotte geven de uitschieters.

De verschillen tussen de jaren en/of gebieden voor de univariate data zijn statistisch getoetst door middel van anova (functie `aov()` in R) gevolgd door Tukey *post hoc* comparison (functie `TukeyHSD()` in R). De dichtheden en biomassa's zijn hiervoor getransformeerd (vierdemachtswortel).

Soorten respons curves zijn gemaakt met behulp van de functie `speccum()` in het pakket `Vegan` (Oksanen et al., 2020). Totaal aantal soorten per deelgebied is berekend uit de eerste-orde Jackknife schatter middels de `specpool()` functie.

## 2.7 Gemeenschapsanalyses

Gemeenschapsanalyse zijn uitgevoerd op de data van de box-corer en de schaaft middels een clusteranalyse en een niet-metrische Non-Dimensional Scaling (nMDS) met behulp van het pakket `vegan` (Oksanen et al., 2020) in R (R Core Team, 2020). Beide analyses zijn uitgevoerd op de dichtheden (aantal m<sup>-2</sup>), om ook de soorten waarvoor geen biomassa is bepaald mee te kunnen nemen in de analyse. Om ervoor te zorgen dat er een goede balans is tussen de dominante soorten en de minder abundante soorten in de analyse zijn de data vierdemachtswortel getransformeerd (Clarke et al., 2014).

### 2.7.1 Clusteranalyse

De analyses zijn uitgevoerd op de Bray-Curtis similariteits matrix. De Bray-Curtis similariteit ( $S_{jk}$ ) tussen twee locaties ( $j$  en  $k$ ) is daarbij berekend als:

$$S_{jk} = \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p |y_{ij} + y_{ik}|} \right\}$$

---

Hierbij is  $y_{ik}$  de dichtheid (in dit geval vierdemachtswortel-getransformeerd) van soort  $i$  op locatie  $k$ . Hoe hoger de waarde van de Bray-Curtis similariteit tussen twee locaties  $j$  en  $k$ , hoe meer overeenkomsten tussen bodemdiergemeenschap die is gevonden op beide stations. De Bray-Curtis similariteit ligt tussen 0 (bodemdiersamenstelling is compleet anders) en 1 (zelfde soorten in dezelfde verhoudingen). De soorten die minder dan 5 keer zijn aangetroffen in de schaaft dan wel box-corer zijn niet meegenomen in de betreffende analyse.

Een clusteranalyse groepeerde de bemonsterde stations in groepen (clusters) op basis van de overeenkomsten in de bodemdiersamenstelling (Bray-Curtis similariteit). Stations binnen een cluster hebben dus een overeenkomstige bodemdiergemeenschap. De significante clusters zijn berekend met behulp van de functie *simprof* (Withaker en Christman, 2014) in R ( $\alpha=0.05$ ). Met behulp van deze permutatietest is het mogelijk om te toetsen of de verschillen in bodemdiersamenstelling tussen twee verschillende clusters significant zijn of vallen binnen de 'normale' variatie in de data. In deze studie zijn de clusteranalyses uitgevoerd op de vierdemachtswortel-getransformeerde dichtheidsdata. De resultaten zijn gepresenteerd in clusterdiagrammen waarbij de verschillende clusters zijn gevisualiseerd door middel van verschillende kleuren. De indicatorsoorten voor de verschillende clusters zijn bepaald met behulp van de functie *inidicators* gevolgd door de functie *pruneindicators* (De Cáceres en Legendre, 2009). Ten slotte zijn er ook ruimtelijke figuren gemaakt waarmee de verspreiding van de significante clusters in de ruimte (en tijd) is waar te nemen. De clusteranalyses zijn uitgevoerd voor de verschillende jaren (2015, 2016 en 2021) alsook voor alle jaren gezamenlijk.

### 2.7.2 nMDS

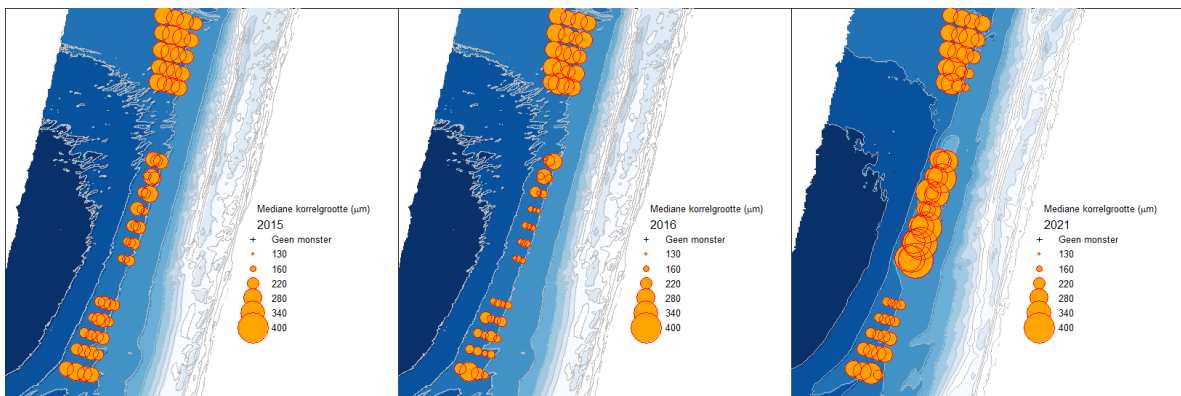
Een andere manier om de verschillen in bodemdiergemeenschap tussen de stations te visualiseren is via multidimensional scaling (nMDS). Bij een nMDS worden de dissimilariteiten ( $1 - S_{jk}$ ) gevisualiseerd in een twee-dimensionale figuur, waarbij de afstand tussen twee locaties op de figuur overeenkomt met de dissimilariteit in bodemdiersamenstelling tussen betreffende stations. Hoe dichter de stations dus bij elkaar liggen in een MDS plot, hoe meer overeenkomsten er zijn in bodemdiersamenstelling. Een nMDS is een niet-metrische MDS waarbij de afstand is gebaseerd op de rangorde van de dissimilariteiten.

De nMDS is uitgevoerd in R met de functie *metaMDS* uit het *vegan* pakket (Oksanen et al., 2020) op de Bray-Curtis dissimilariteit matrix van de vierdemachtswortel-getransformeerde dichtheidsdata. Bij de analyse is opgegeven om de nMDS uit te voeren in 3 dimensies. De analyse resultaten zijn gevisualiseerd in 2-D nMDS plots. Voor de verschillende gebieden/jaren zijn ook de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden geplott.

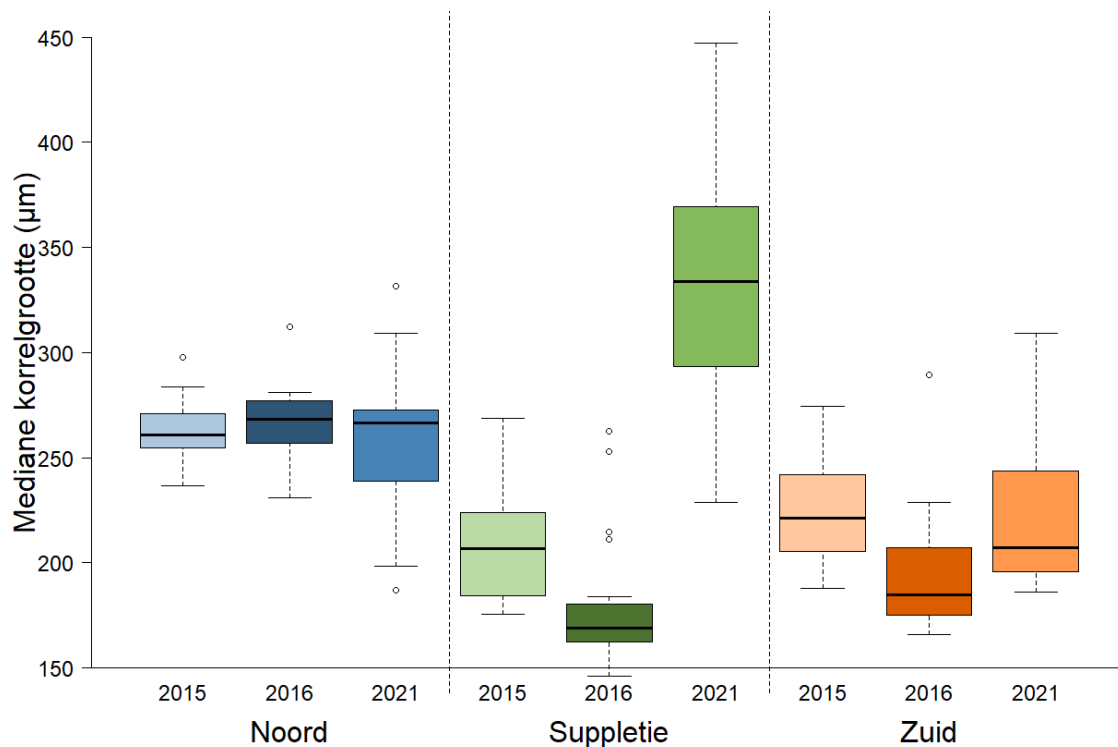
# 3 Resultaten

## 3.1 Sediment

In Figuur 9 en Figuur 10 is de gemiddelde mediane korrelgrootte van het sediment in deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord voor de jaren voor de suppletie 2015 en 2016, en na de suppletie in 2021 weergegeven. De gemiddelde mediane korrelgrootte over de jaren was respectievelijk 232  $\mu\text{m}$  (stdev. = 31  $\mu\text{m}$ ), 212  $\mu\text{m}$  (stdev. = 47  $\mu\text{m}$ ) en 272  $\mu\text{m}$  (stdev. = 63  $\mu\text{m}$ ). In 2015 en 2016 werden de meest grove sedimenten (mediane korrelgrootte  $\approx 300 \mu\text{m}$ ) aangetroffen in het deelgebied Noord. De mediane korrelgrootte in deelgebied Noord was in 2015 en 2016 significant hoger ( $p < 0.05$ ) dan in de deelgebieden Zuid en Suppletie. In 2021, na de suppletie, is de gemiddelde mediane korrelgrootte in het deelgebied Suppletie ( $330 \pm 59 \mu\text{m}$ ) sterk toegenomen en significant hoger ( $p < 0.05$ ) dan in deelgebied Zuid ( $223 \pm 34 \mu\text{m}$ ) en zelfs significant hoger ( $p < 0.05$ ) dan in deelgebied Noord ( $260 \pm 35 \mu\text{m}$ ). Dit is waarschijnlijk een direct of indirect gevolg van de suppletie. Van alle bemonsterde stations ( $n = 21$ ) in het suppletiegebied in 2021 hadden 12 stations een grotere mediane korrelgrootte dan  $300 \mu\text{m}$ . De mediane korrelgrootte in deelgebied Noord is in 2021, net als in de jaren 2015 en 2016, ook significant ( $p < 0.05$ ) hoger dan in deelgebied Zuid. In deelgebied Noord is er geen significant verschil in mediane korrelgrootte tussen de jaren 2015 ( $263 \pm 15 \mu\text{m}$ ), 2016 ( $266 \pm 28 \mu\text{m}$ ) en 2021 ( $260 \pm 55 \mu\text{m}$ ). Ook in deelgebied Zuid is er geen significant verschil ( $p > 0.05$ ) in mediane korrelgrootte tussen de jaren 2015 ( $223 \pm 23 \mu\text{m}$ ), 2016 ( $193 \pm 29 \mu\text{m}$ ) en 2021 ( $223 \pm 35 \mu\text{m}$ ).

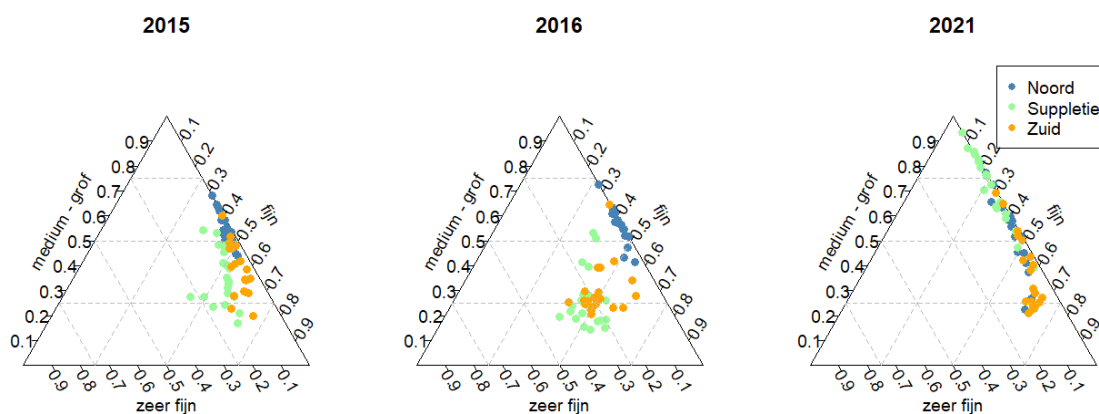


*Figuur 9: Verdeling van de mediane korrelgroottes over het gebied in 2015 (links), in 2016 (midden) en in 2021 na de suppletie (rechts). De dieptekaart in de figuren van 2015 en 2016 is uit het voorjaar van 2016. De dieptekaart in de figuur van 2021 is uit het voorjaar van 2021.*



Figuur 10: Boxplots van de verdeling van de mediane korrelgrootte over de verschillende deelgebieden.

In Figuur 11 is de korrelgrootteverdeling weergegeven voor de deelgebieden Noord, Suppletie en Zuid voor 2015, 2016 en 2021. Deze grafieken bestaan uit drie assen: fractie zeer fijn, fractie fijn en de fractie medium grof. In deze figuren is de fractie zeer fijn gedefinieerd als de gewichtsfractie van het sediment met een korrelgrootte kleiner dan 125 µm. De fractie fijn heeft een korrelgrootte tussen 125 en 250 µm en de fractie medium tot grof is de fractie groter dan 250 µm. In deze figuren is een lichte verfijning te zien van de sedimenten in de gebieden Suppletie en Zuid (respectievelijk de groene en oranje bolletjes) in de periode tussen 2015 en 2016. In 2021, na de suppletie is duidelijk een vergroving te zien van de sedimenten in het suppletiegebied (groene bolletjes).

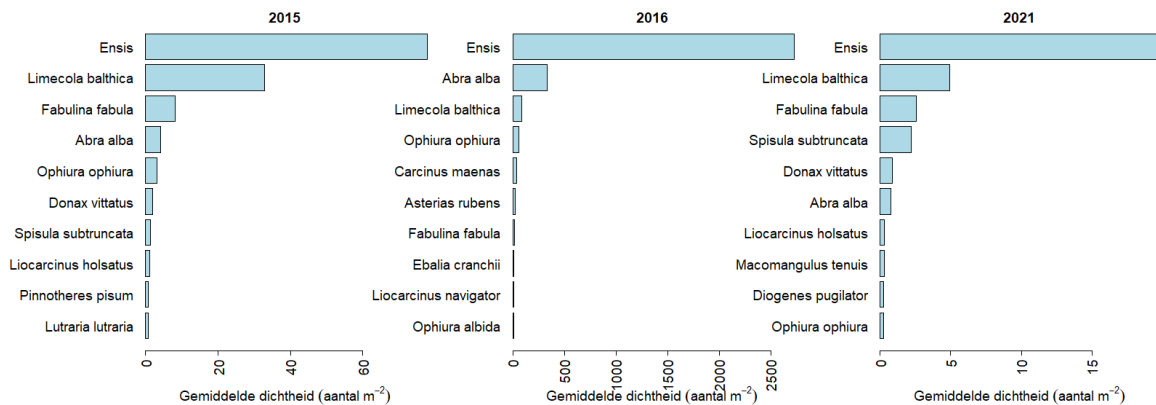


Figuur 11: Weergave van de korrelgrootte verdeling over drie verschillende grootteklassen (zeer fijn: < 125 µm, fijn: 125 – 250 µm en medium tot grof: > 250 µm). De kleuren van de markers geven de verschillende gebieden weer. De oriëntatie van de labels langs de assen komen overeen met de richting van de bijbehorende stippellijnen van gelijke waarden.

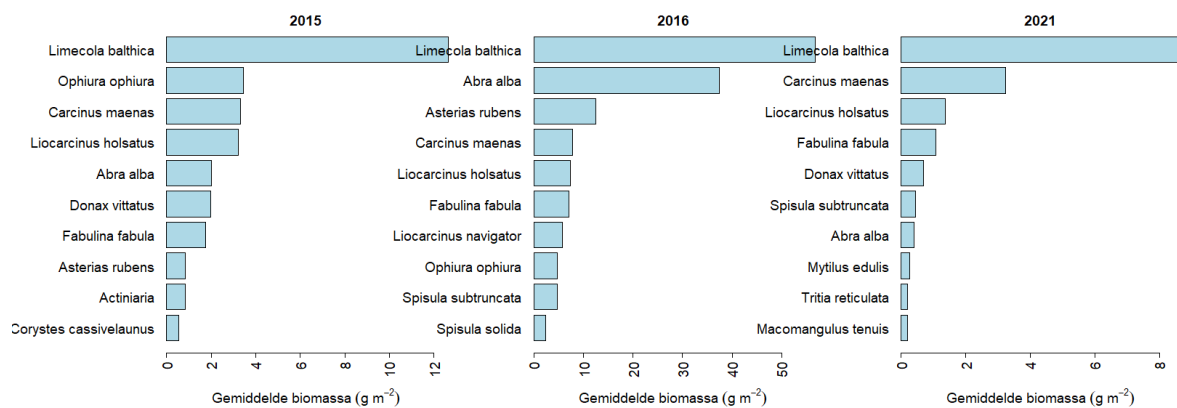
## 3.2 Schaaf

### 3.2.1 Voorkomen van soorten

In 2015, 2016 en in 2021 zijn op dezelfde 61 locaties monsters genomen met de schaaf. In 2015 werden er in totaal 22 verschillende soorten gevonden in de schaaf, in 2016 en in 2021 waren dat er 21. Het gemiddeld aantal soorten per station verschilde niet significant ( $p=0.46$ ) tussen de jaren 2015, 2016 en 2021 en was respectievelijk 8.4, 7.4 en 8.3. In alle jaren was *Ensis* spp. (mesheft) verreweg de meest dominante soort (Figuur 12). Andere veel voorkomende soorten waren *Limecola balthica* (nonnetje), *Abra alba* (witte dunschaaf), *Fabulina fabula* (rechtsgestreepte plaatschelp), *Ophiura ophiura* (gewone slangster) en *Carcinus maenas* (strandkrab). Van een aantal soorten is er geen biomassa bepaald. Voor de heremietkreeften *Diogenes pugilator* (kleine heremietkreeftje) en *Pagurus bernhardus* (gewone heremietkreeft) is geen biomassa bepaald omdat een groot deel van de biomassa (versgewicht) wordt bepaald door de schelp die afkomstig is van een andere soort. Voor de bivalven *Ensis* spp. (mesheft), *Lutraria lutraria* (Gewone otterschelp) en *Mya arenaria* (Strandgaper) is geen biomassa bepaald omdat van deze soorten vaak alleen de siphonen zijn bemonsterd. Van *Echinocardium cordatum* (zeeklit) zijn ook geen biomassa's bepaald omdat deze soort vrijwel altijd beschadigd is bij de bemonstering. Omdat *Ensis* spp. verreweg de meest voorkomende soort was op basis van de dichtheid, is het zeer waarschijnlijk dat deze soort ook in biomassa de meest dominante soort was. Als we kijken naar de soorten waar de biomassa wel voor is bepaald was *Limecola balthica* het hoogst in biomassa over alle jaren (Figuur 13). In 2015 was de totale biomassa 23 g versgewicht  $m^{-2}$  (stdev. = 18). In 2016 was de totale biomassa 108 g versgewicht  $m^{-2}$  (stdev. = 89) en aanzienlijk hoger dan in 2015. In 2021, na de suppletie, was de gemiddelde biomassa weer een stuk lager, namelijk 12 g versgewicht  $m^{-2}$  (stdev. = 14).



Figuur 12: Gemiddelde dichtheid (aantal  $m^{-2}$ ) van de 10 meest dominantste soorten in de schaaf in 2015, 2016 en 2021.

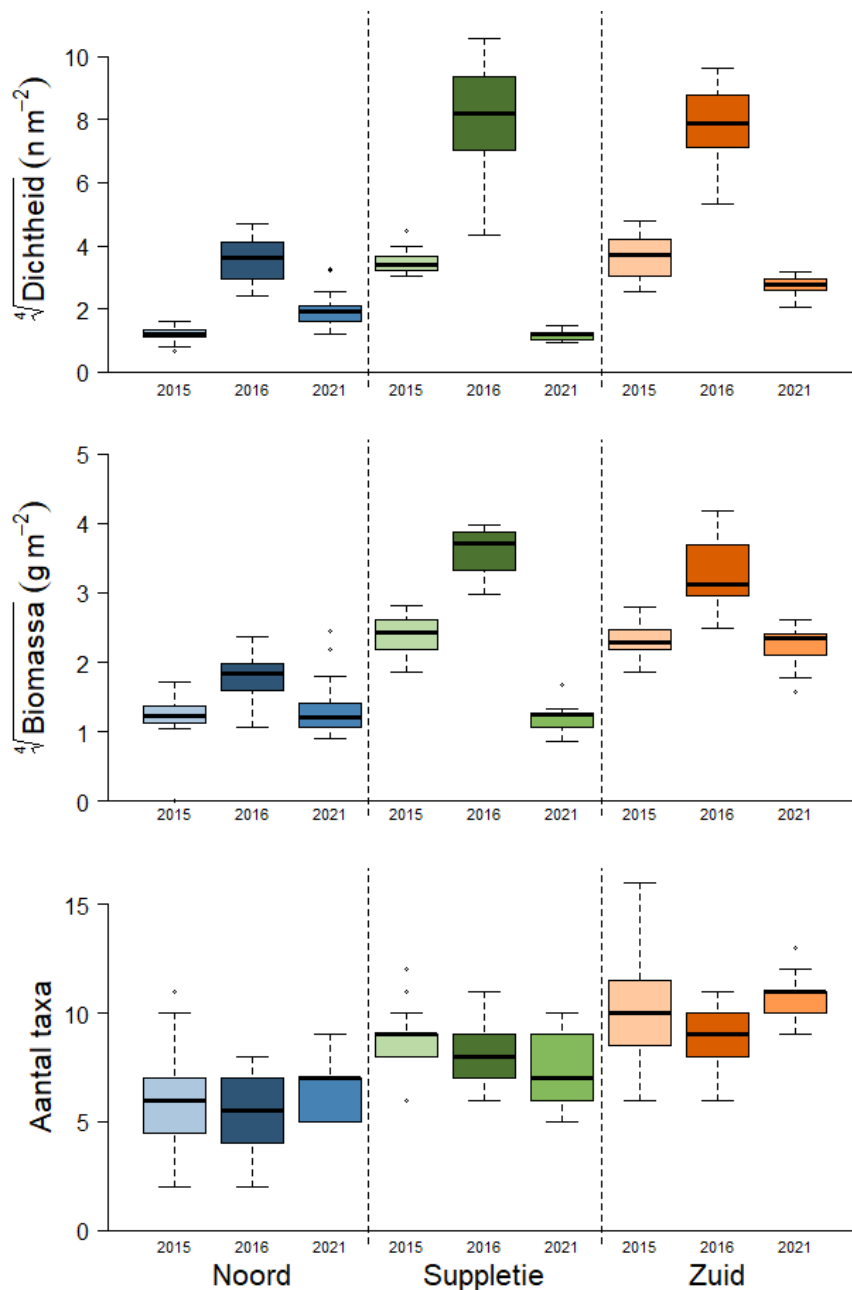


Figuur 13: Gemiddelde biomassa (g versgewicht m<sup>-2</sup>) van de 10 meest dominantste soorten in de schaafl in 2015, 2016 en 2021. Voor de biomassa zijn de soorten *Diogenes pugilator*, *Pagurus bernhardus*, *Ensis spp.*, *Echinocadium cordatum*, *Lutraria lutraria* en *Mya arenaria* niet meegenomen (zie tekst).

### 3.2.2 Dichtheid, biomassa en aantal taxa per locatie

Voor de uitvoering van de suppletie, werd de grootste dichtheid en biomassa aan bodemdieren, in zowel 2015 als 2016 aangetroffen in de gebieden Zuid ( $p < 0.01$ ) en Suppletie ( $p < 0.01$ ) (Figuur 14). Er werd toen geen significant verschil in biomassa en dichtheid tussen de deelgebieden Zuid en Suppletie gevonden. Opvallend is dat de totale dichtheid en biomassa in 2016 (respectievelijk 3142 ind. m<sup>-2</sup> en 108 g versgewicht m<sup>-2</sup>) significant ( $p < 0.01$ ) hoger was dan in 2015 (respectievelijk 124 ind. m<sup>-2</sup> en 23 g versgewicht m<sup>-2</sup>). In deelgebied Noord was de gemiddelde dichtheid in 2016 199 ind. m<sup>-2</sup> en de biomassa 12 g versgewicht m<sup>-2</sup>. Dit is respectievelijk 80 en 3 keer zo hoog dan in 2015. In deelgebied Suppletie was de gemiddelde dichtheid in 2016 (5062 ind. m<sup>-2</sup>) ruim 30 keer zo groot als in 2015 en de gemiddelde biomassa (177 g versgewicht m<sup>-2</sup>) was 5 keer zo groot dan in 2015 en in deelgebied Zuid was de gemiddelde dichtheid (4069 ind. m<sup>-2</sup>) bijna 20 keer zo groot en de gemiddelde biomassa (133 g versgewicht m<sup>-2</sup>) ruim 4 keer zo groot dan in 2015. Omdat *Ensis spp.* de meest dominante soort was zijn deze verschillen waarschijnlijk het gevolg van een goede broedval van *Ensis spp.* in 2016. Hierdoor zijn er veel kleine exemplaren van deze soort aangetroffen tijdens het bemonsteren. Naast *Ensis spp.* werden echter ook de tweede en derde meest voorkomende soorten, *Limecola balthica* en *Abra alba*, vaker aangetroffen in 2016 dan in 2015, zowel in gebied Suppletie als in gebied Zuid. Het aantal soorten dat is aangetroffen per locatie is gelijkmatiger verspreid over de gebieden en tussen de jaren dan de dichtheden en het biomassa. In deelgebied Noord werd daarbij gemiddeld het minst aantal taxa gevonden per meetstation (gemiddeld 5.4 taxa) in vergelijking met zowel 2015 in gebied Zuid ( $p < 0.01$ ) en Suppletie ( $p < 0.01$ ) als in 2016 in gebied Zuid ( $p < 0.01$ ) en Suppletie ( $p < 0.01$ ).

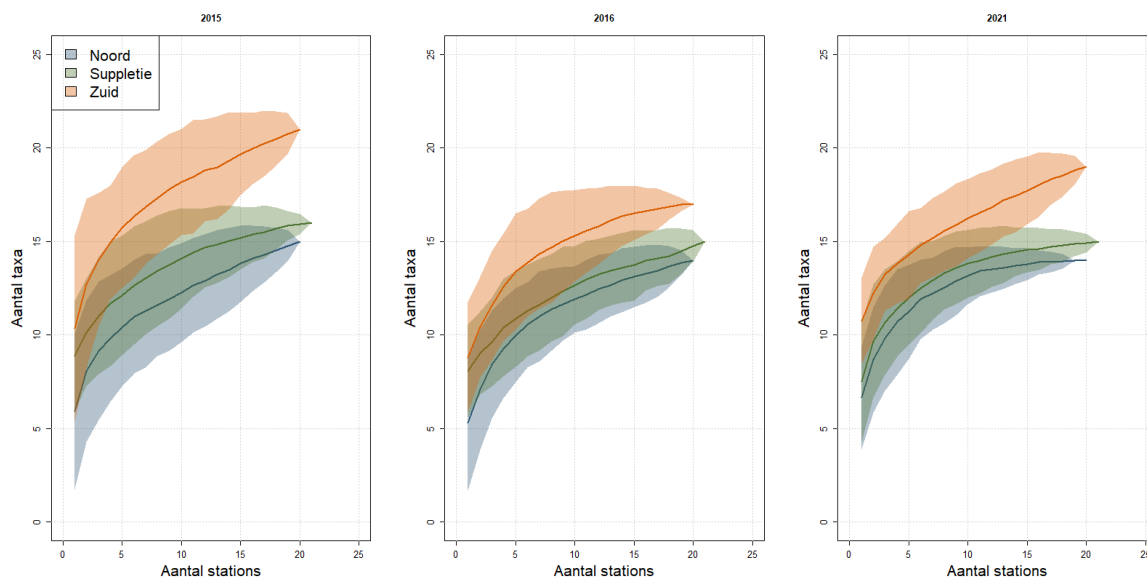
Ook in 2021, na de suppletie, zijn er significante verschillen in totale gemiddelde dichtheid tussen de deelgebieden gevonden. Anders dan in 2015 en 2016 was de gemiddelde totale dichtheid in deelgebied Suppletie in 2021 met 2 ind. m<sup>-2</sup>, significant lager dan in deelgebied Noord (24.4 ind. m<sup>-2</sup>,  $p < 0.01$ ) en Zuid (62 ind. m<sup>-2</sup>,  $p < 0.01$ ). Deelgebied Noord had daarbij wel een significant lagere dichtheid dan deelgebied Zuid ( $p < 0.01$ ). De gemiddelde dichtheid in deelgebied Suppletie ( $p < 0.01$ ) en deelgebied Zuid waren significant lager dan in 2016 terwijl er geen significante verschillen werden gevonden in gemiddelde dichtheid voor deze gebieden tussen 2015 en 2021. Ook de gemiddelde totale biomassa was significant lager in deelgebied Suppletie in 2021 (2.3 g versgewicht m<sup>-2</sup>) dan in 2016 (177 g versgewicht m<sup>-2</sup>,  $p < 0.01$ ) en in 2015 (35 g versgewicht m<sup>-2</sup>,  $p < 0.01$ ). Het gemiddeld aantal taxa per locatie gevonden in deelgebied Suppletie in 2021 (7.5) was niet significant lager dan in 2015 (8.8) of in 2016 (8.1). De minste taxa per locatie zijn over alle jaren aangetroffen in deelgebied Noord (gemiddeld 6 taxa per locatie).



*Figuur 14: Boxplots van de vierdemachtswortel-getransformeerde dichtheid en biomassa en het aantal taxa in de schaaft per locatie verdeeld over de verschillende deelgebieden in de jaren 2015, 2016 en 2021 (na suppletie).*

De cumulatieve plots van het totaal aantal taxa in de schaaft (Figuur 15) laten zien dat het totaal aantal taxa in alle jaren het grootst is in deelgebied Zuid. De eerste-orde Jackknife schatter van het totaal aantal taxa in deelgebied Zuid is respectievelijk 25.7, 18.0 en 23.8 taxa in respectievelijk de jaren 2015, 2016 en 2021. In de deelgebieden Suppletie en Noord is het totaal aantal geschatte taxa (respectievelijk 16.0 en 14.0) het laagst.

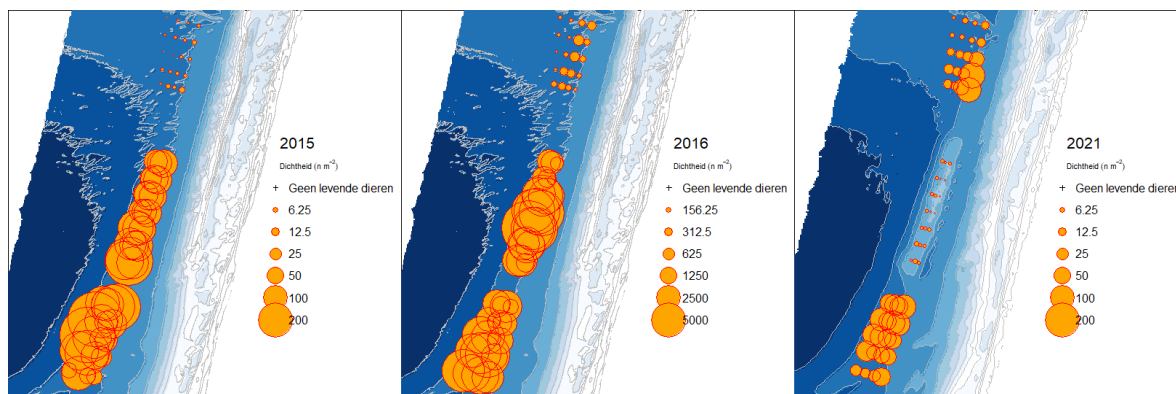




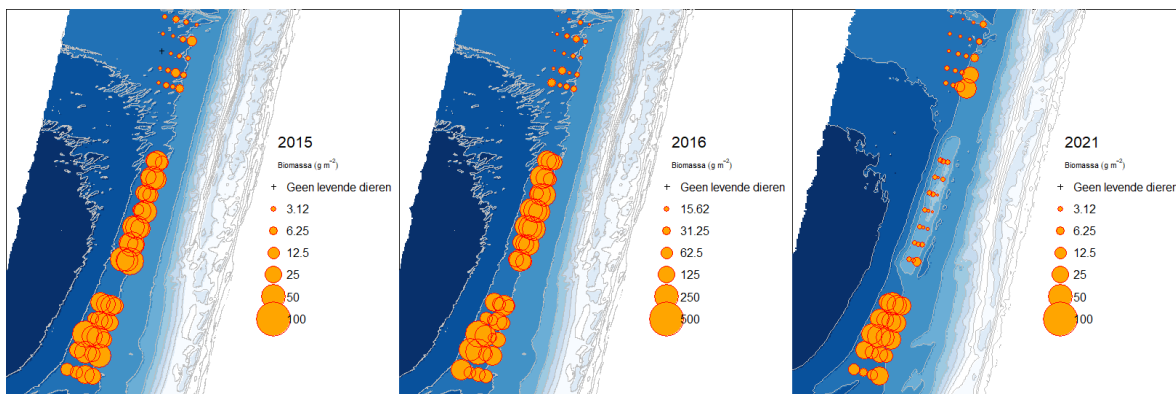
Figuur 15: .Cumulatief aantal taxa in de schaafl als functie van het aantal bemonsterde stations voor de verschillende deelgebieden over de verschillende jaren. De getrokken lijnen geven het gemiddelde aantal soorten en de polygonen geven de contouren van de standaarddeviatie.

### 3.2.3 Verspreiding van soorten over de deelgebieden

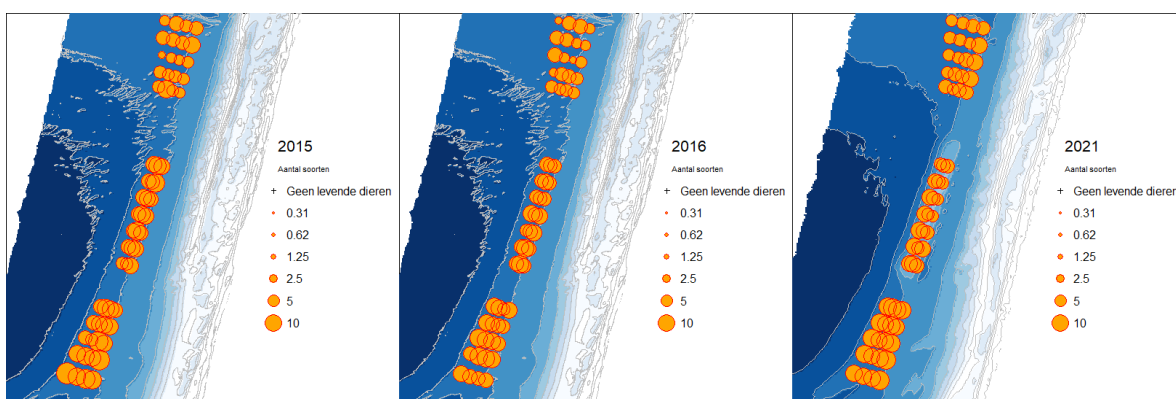
In Figuur 16 tot en met Figuur 18 is de ruimtelijke verspreiding van respectievelijk de dichtheid, biomassa en aantal taxa van de bodemdieren in 2015, 2016 en 2021 weergegeven. In het jaar 2021 is duidelijk te zien dat de dichtheden en biomassa's, en in mindere mate het aantal taxa, in deelgebied Suppletie zeer laag is, en zelfs lager dan in deelgebied Noord. De figuren laten ook weer duidelijk zien dat de dichtheden en biomassa's in deelgebied Noord in de jaren 2015 en 2016 lager zijn dan in de deelgebieden Zuid en Suppletie. In 2021 zijn er in het zuidoostelijk deel van deelgebied Noord wel een aantal stations met relatief hoge dichtheden. Het aantal taxa gevonden per deelgebied verschilt nauwelijks (Figuur 18). Dit wil nog niet per se zeggen dat er geen verschuivingen zijn opgetreden binnen de soortgroepen (Hillebrand et al., 2018). Omdat mesheften (*Ensis* spp.) verreweg de meest dominante soort is in de schaafl data (Figuur 47) wordt de verspreidingspatroon van de dichtheid van bodemdieren (Figuur 16) grotendeels bepaald door deze soort. Om een duidelijker beeld te krijgen van de overige soorten is in Figuur 19 de verspreiding van de bodemdieren weergegeven waarbij *Ensis* spp. is weggelaten. In grote lijnen komt deze figuur toch overeen met de figuur inclusief *Ensis* spp.



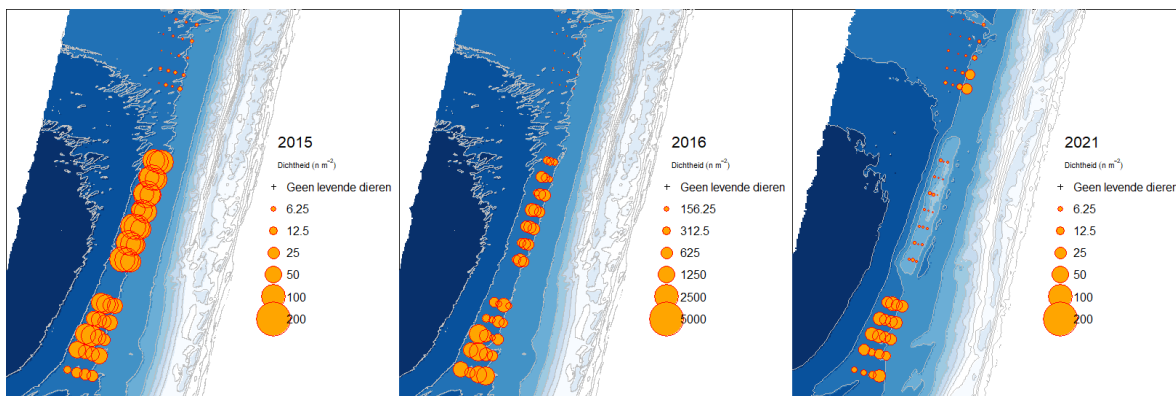
Figuur 16: Verspreiding dichtheid (aantal  $m^{-2}$ ) van bodemdieren gevonden in de schaafl in 2015 en 2016 en in 2021 na de suppletie. Let op dat er in 2016 een andere schaaflverdeling is gebruikt.



Figuur 17: Verspreiding biomassa ( $g$  versgewicht  $m^{-2}$ ) van bodemdieren in de schaal in 2015 en 2016 en in 2021 na de suppletie. Bij de biomassa zijn de soorten *Diogenes pugilator*, *Pagurus bernhardus*, *Ensis* spp., *Echinocadium cordatum*, *Lutraria lutraria* en *Mya arenaria* niet meegenomen. Let op dat er in 2016 een andere schaalverdeling is gebruikt.



Figuur 18: Verspreiding aantal taxa per monster in de schaal in 2015 en 2016 en in 2021.



Figuur 19: Verspreiding dichtheid (aantal  $m^{-2}$ ) van bodemdieren, met weglating van *Ensis* spp., gevonden in de schaal in 2015 en 2016 en in 2021 na de suppletie.

In Bijlage 1 is de verspreiding (dichtheid) van een aantal taxa weergegeven die allemaal meer dan 50 keer zijn aangetroffen tijdens de bemonsteringen van 2015, 2016 en 2021. *Ensis* spp. kwam in 2015 en 2016 veelvuldig voor in de deelgebieden Suppletie en Zuid (Figuur 47). In 2021 was de dichtheid van *Ensis* spp. in het suppletiegebied zeer laag ( $< 1 m^{-2}$ ), terwijl dit er 2015 gemiddeld meer dan 65  $m^{-2}$  waren en in 2016 bijna 4600  $m^{-2}$ . Ook in deelgebied Zuid was de gemiddelde dichtheid van *Ensis* spp. in 2015 en 2016 respectievelijk 4 en 85 keer hoger dan in 2021. In deelgebied Noord is er in 2021 een duidelijke toename te zien van de dichtheden van *Ensis* ten opzichte van de jaren 2015 en 2016. Veel dominante soorten, zoals *Abra alba* (witte dunschaal), *Limecola balthica* (nonnetje), *Ophiura ophiura* (gewone slangster) en *Fabulina fabula* (rechtsgestreepte platschelp) laten een

---

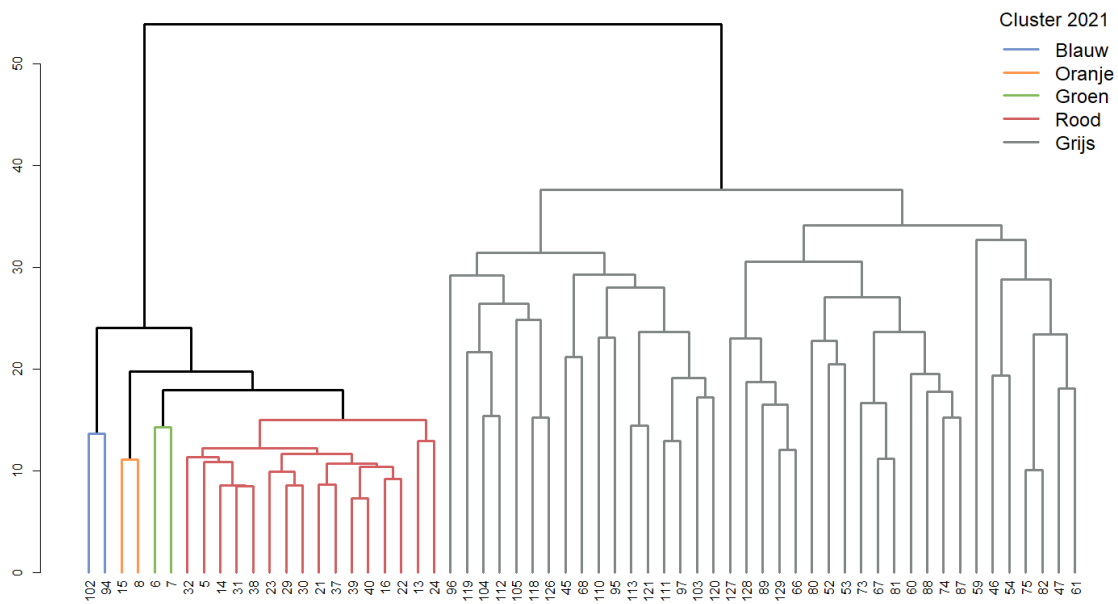
vergelijkbaar ruimtelijk patroon zien als *Ensis* spp. In 2015 en 2016 hadden deze soorten een relatief hoge abundantie in de deelgebieden Suppletie en Zuid en relatief lage abundantie of afwezigheid in het deelgebied Noord. Na de suppletie verandert dit en worden deze soorten in 2021 niet of nauwelijks meer teruggevonden in deelgebied Suppletie en lijken ook de dichtheden in deelgebied Zuid lager te zijn dan in 2016 en soms ook dan in 2015. De soorten *Limecola balthica* (nonnetje) en in mindere mate *Fabulina fabula* (rechtsgestreepte platschelp) laten ook in deelgebied Noord een duidelijke toename zien ten opzichte van 2015 en 2016.

Minder dominante soorten laten een ander ruimtelijk patroon zien dan bijvoorbeeld *Ensis* Spp. of *Abra alba*. Zo komt *Portumnus latipes* (breedpootkrab) in 2015 en 2016 vrijwel alleen voor in deelgebied Noord maar wordt deze soort in 2021 niet alleen gevonden in deelgebied Noord maar ook in het suppletiegebied. *Liocarcinus holsatus* (gewone zwemkrab) werd in 2015 en 2016 in alle drie de gebieden aangetroffen en ook 2021 komt deze soort weliswaar in alle 3 de gebieden voor, maar is de dichtheid in het deelgebied Suppletie een stuk lager. *Donax vittatus* werd in 2021 in 13 van de 21 stations in het suppletiegebied gevonden terwijl deze soort in 2015 maar op 4 stations werd gevonden en 2016 helemaal niet. Ook *Macomangulus tenuis* (tere platschelp) werd in 2015 en 2016 op minder dan 10 procent van alle stations gevonden maar werd in 2021 op 39 van de 61 stations gevonden, waarvan er 18 in het suppletiegebied lagen.

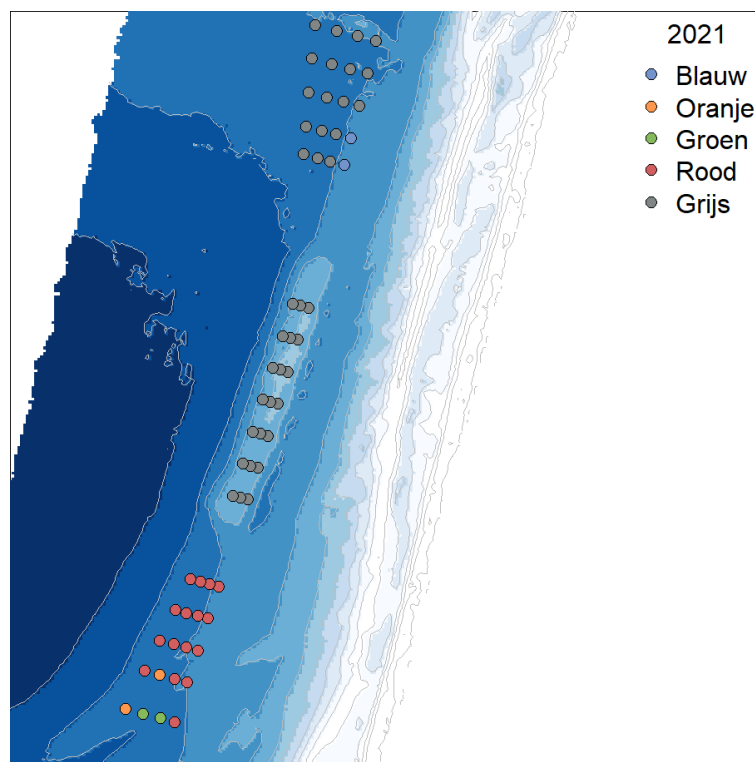
### 3.2.4 Gemeenschapsanalyse 2021

Allereerst is er een clusteranalyse uitgevoerd op de schaaftbemonstering uit 2021 (Figuur 20). De significante clusters ( $p < 0.05$ ) zijn aangegeven door middel van de gekleurde lijnen in het dendrogram. Locaties met dezelfde kleur in het dendrogram zijn niet significant verschillend ( $p > 0.05$ ). Dit wil zeggen dat de verschillen in bodemdiergemeenschap die is aangetroffen tussen deze clusters waarschijnlijk vallen binnen de normale variatie. De labels onder aan de figuur geven het station aan. De clusters hebben allemaal een naam gekregen die overeenkomt met de kleur van de lijnen uit het clusterdiagram.

De clusteranalyse van de schaaftdata in 2021 deelt de stations op in 5 significante ( $p < 0.05$ ) clusters (Figuur 20). Het cluster "grijs" is het grootste cluster en bevat alle stations van het suppletiegebied en de meeste stations uit het deelgebied Noord (Figuur 21). De twee overige stations in het deelgebied Noord vormen een apart cluster (cluster "blauw"). De clusteranalyse duidt dus op een sterke overeenkomst in de bodemdiergemeenschap tussen de deelgebieden Suppletie en Noord. De bodemdiergemeenschap binnen deze twee clusters kenmerken zich door de afwezigheid van soorten als *Abra alba* (witte dunschaal) en *Fabulina fabula* (rechtsgestreepte platschelp) en aanwezigheid van *Macomangulus tenuis* (tere platschelp). De overige vier clusters (oranje, groen en rood) bevinden zich allemaal in het deelgebied Zuid, waarbij oranje en groen zich tot de eerste twee raaien beperken. Het cluster rood heeft over het algemeen hogere dichtheden dan de clusters oranje en groen. De resultaten van de clusteranalyses voor de jaren 2015 en 2016 afzonderlijk zijn gepresenteerd in Bijlage 3.

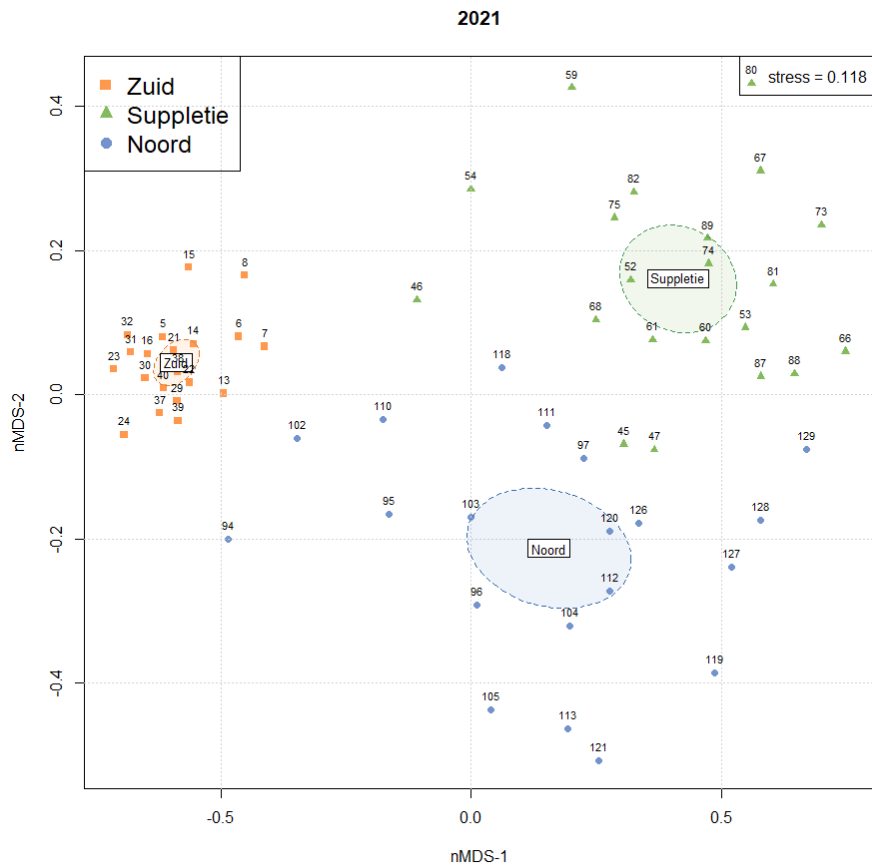


Figuur 20: Clusterdiagram van de schaaftmonsters uit 2021. De kleuren geven de significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers zijn onder aan de figuur weergegeven.



Figuur 21: Ruimtelijke verspreiding van de 5 significante clusters in 2021 op basis van de schaaftdata. De kleuren van de bolletjes komen overeen met de kleuren van clusters in Figuur 20.

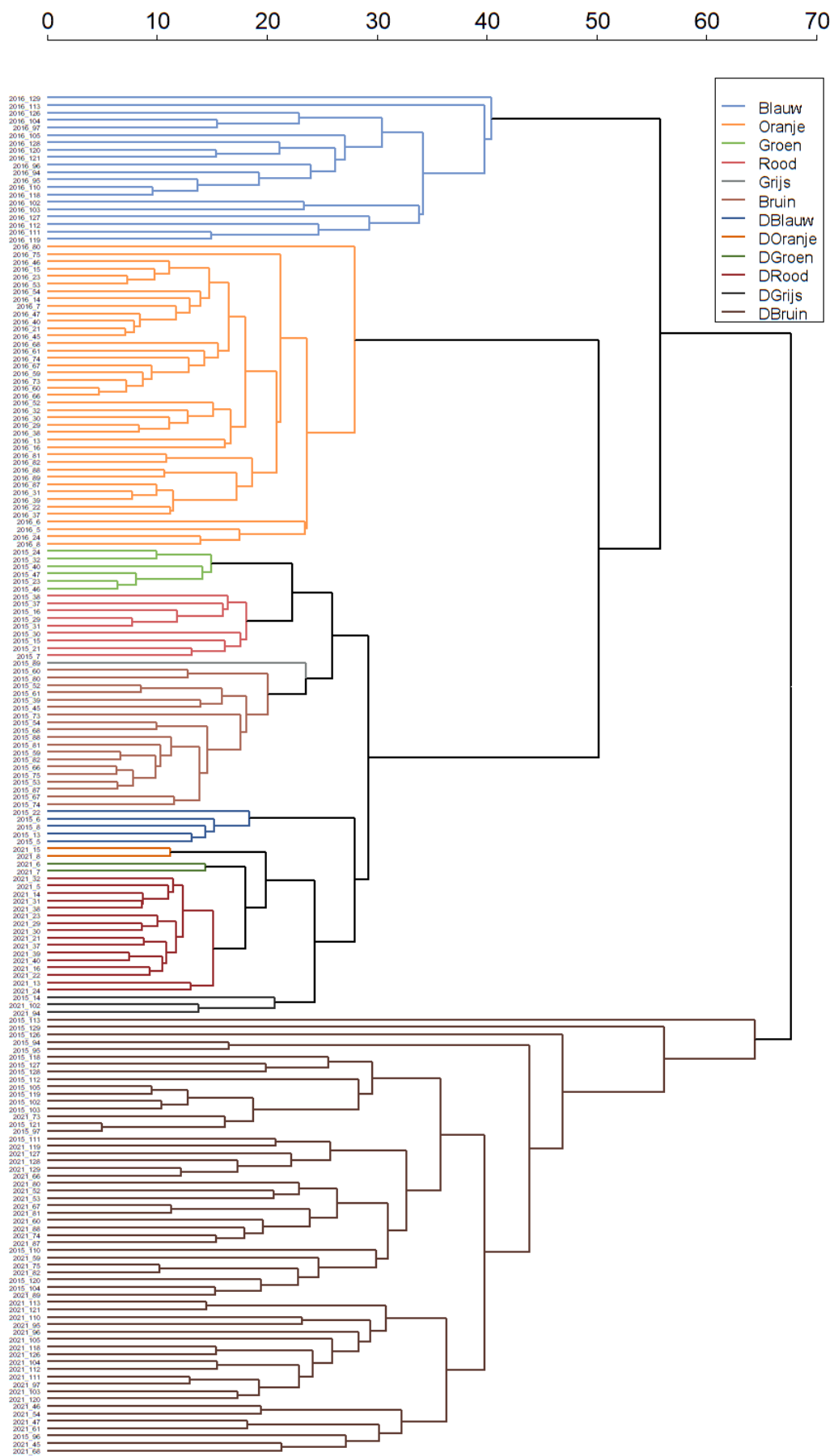
Dit is ook terug te zien in de nMDS plot (Figuur 22). De stations van het gebied Zuid onderscheiden zich op de eerste as van de nMDS duidelijk van de stations van de gebieden Suppletie en Noord. De stations binnen de gebieden Suppletie en Noord zijn diffuser en onderscheiden zich van elkaar op de verticale as. De nMDS plots van de afzonderlijke analyses voor de jaren 2015 en 2016 zijn gepresenteerd in Bijlage 4. Opvallend in deze figuren is dat voor de het suppletiegebied in die jaren juist grote overeenkomsten vertoonde met het deelgebied Zuid, en dat het deelgebied Noord zich juist onderscheidde van de overige twee deelgebieden.



*Figuur 22: nMDS plot van de gegevens van de schaaftmonsters uit 2021. De cijfers geven de stationnummers aan, waarbij de markers aangeven in welk deelgebied de stations liggen (Zuid, Suppletie en Noord). De polygoenen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van respectievelijk de deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord.*

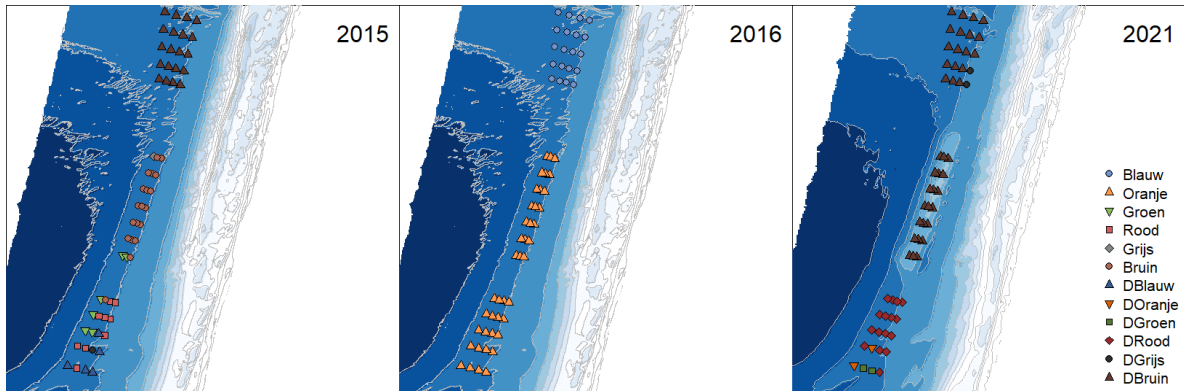
### 3.2.5 Gemeenschapsanalyse schaaftdata alle jaren

Om de afzonderlijke jaren met elkaar te kunnen vergelijken is er ook een gemeenschapsanalyse uitgevoerd over alle jaren (2015, 2016 en 2021) tegelijk. Het clusterdiagram (Figuur 23) is een complexe figuur en onderscheidt 12 significante clusters. Een aantal van deze clusters (Grijs, DOranje, Dgroen en Dgrijs) beperken zich tot 3 of minder stations.



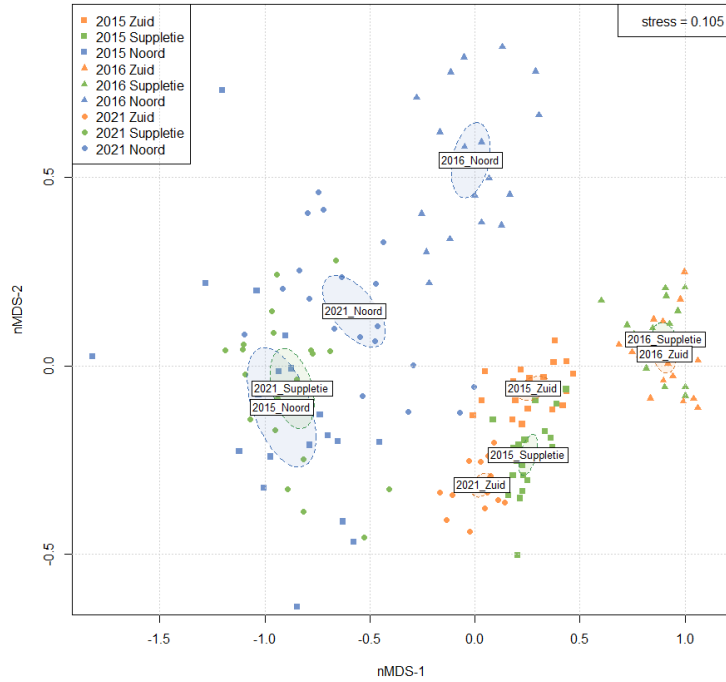
*Figuur 23: Clusterdiagram van de schaaftmonsters over 2015, 2016 en 2021. De kleuren geven de significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers (jaar\_station) zijn aan de linkerzijde van de figuur weergegeven.*

De figuren met de ruimtelijke verspreiding van de clusters (Figuur 24) is vrijwel identiek aan de ruimtelijke verspreiding van de clusters per jaar (Figuur 21 in Bijlage 3.). In de figuur is te zien dat het cluster waar de meeste stations van de deelgebieden Suppletie en Noord toe behoren in 2021 (Dbruin), in 2015 ook al aanwezig is in deelgebied Noord. Het deelgebied Noord onderscheidt zich zowel in 2015 als in 2016 duidelijk van de deelgebieden Suppletie en Zuid. In 2016 is er geen duidelijk verschil tussen de deelgebieden Suppletie en Zuid. In 2015 was er een beperkte overlap in bodemdiergemeenschap tussen deze deelgebieden, waarbij stations uit de clusters bruin en groen in beide deelgebieden voorkwamen.

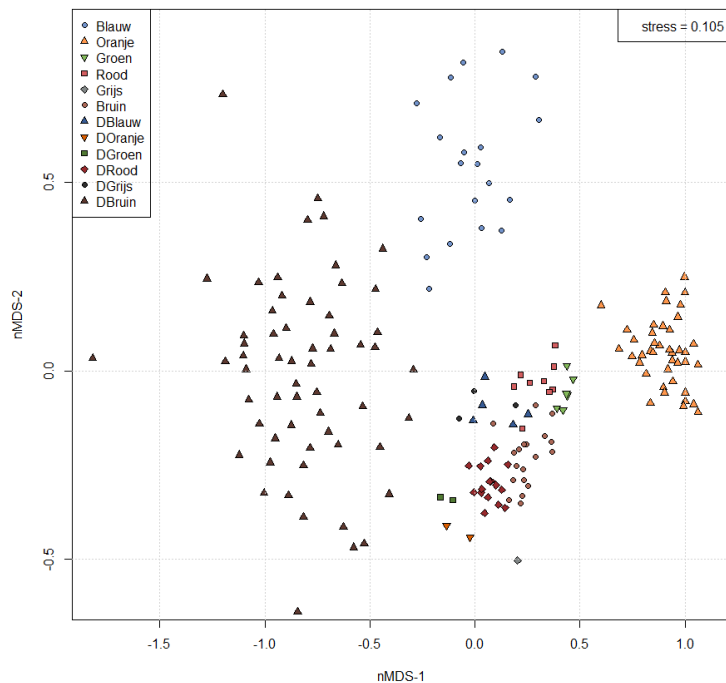


Figuur 24: Ruimtelijke verspreiding van de 11 significante clusters over alle jaren. De markers geven de significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ) (Figuur 23).

Hetzelfde patroon is ook terug te vinden in de nMDS plots (Figuur 25 en Figuur 26). In 2015 en in 2016 was er een redelijke overeenkomst in de bodemdiergemeenschap tussen de deelgebieden Zuid en Suppletie. Het deelgebied Noord was duidelijk afwijkend in deze jaren. In 2021, na de suppletie, is het deelgebied Suppletie duidelijk anders geworden dan het deelgebied Zuid. Het deelgebied Suppletie is meer gaan lijken op het deelgebied Noord, in het bijzonder het deelgebied Noord in 2015. Het deelgebied Zuid blijft in 2021 overeenkomsten vertonen met de bodemdiergemeenschap van de deelgebieden Zuid en Suppletie in de jaren 2015 en 2016. In Figuur 26 is te zien dat cluster Oranje, waartoe de deelgebieden Suppletie en Zuid in 2016 behoren zich duidelijk onderscheiden van de rest op de eerste nMDS as. Aan de andere zijde van de eerste nMDS as liggen de stations van het cluster Dbruin, en bevat grofweg het deelgebied Noord in 2015 en 2021 en het deelgebied Suppletie in 2021. Het cluster Blauw (deelgebied Noord in 2016) onderscheidt zich duidelijk op de tweede nMDS as. De overige clusters groeperen redelijk dicht bij elkaar, maar ook hier zijn nog wel verschillen te zien.



Figuur 25: nMDS plot van de schaaftmonsters over alle jaren. Het type marker geeft aan in welk jaar het betreffend station is bemonsterd en de kleur geeft het deelgebied aan. De polygonen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroïden van de deelgebieden in de verschillende jaren.



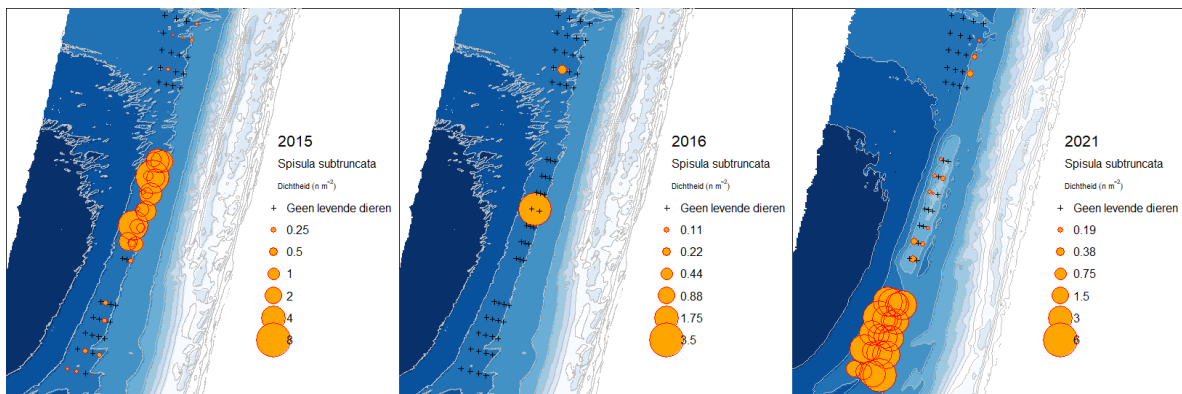
Figuur 26: nMDS plot van de schaaftmonsters over alle jaren. De figuur is identiek aan Figuur 25, alleen geven de markers nu aan tot welk cluster van de clusteranalyse (Figuur 23) het betreffende station hoort.



### 3.2.6 *Spisula* banken

Een van de voorwaarden vanuit de NB-wet vergunning is dat de locatie van de vooroeveroppletie voorafgaand aan de werkzaamheden dient te worden onderzocht op het voorkomen van *Spisula subtruncata* banken (Dijksma, 2015). Indien er blijkt dat er sprake is van een meerjarige *Spisula subtruncata* bank, met schelpdieren ouder dan 1 jaar die van belang zijn voor foeragerende zee-eenden, en als suppleren op betreffende locatie onvermijdelijk is, dan worden de uit te voeren suppleties niet gestart in de periode van 1 juni tot 1 maart (Rijkswaterstaat, 2014, Dijksma, 2015).

Vaak wordt er gebruikt gemaakt van de resultaten uit de schelpdiermonitoring die wordt uitgevoerd door Wageningen Marine Research in het kader van de Wettelijke OnderzoeksTaken (WOT visserij) in opdracht van het ministerie van Economische Zaken ([https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor\\_Kust/](https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_Kust/)) om te bepalen of er schelpdierbanken van betekenis zijn. Vanuit de schaafbemonsteringen die zijn uitgevoerd in het kader van deze studie wordt een veel gedetailleerder beeld verkregen van het voorkomen van *Spisula subtruncata* in het gebied (Figuur 27). Over het algemeen was de hoeveelheid *Spisula subtruncata* (alle leeftijdsklassen samen) die werd gevonden in de schaaftmonsters relatief laag en verschilde de verspreiding van jaar tot jaar. In 2015 werd er *Spisula subtruncata* gevonden in 19 van de 21 stations in deelgebied Suppletie. De gemiddelde dichtheid was echter maar laag ( $2 \text{ m}^{-2} \pm 2.1 \text{ SD}$ ). In 2016 is er slechts op 2 locaties *Spisula subtruncata* aangetroffen. Op locatie 67 in het suppletiegebied werd toen de hoogste dichtheid gevonden ( $3.27 \text{ m}^{-2}$ ) met een biomassa van  $8.2 \text{ gr m}^{-2}$ . Op locatie 104 in het Noordelijk deelgebied was de dichtheid nog lager ( $0.26 \text{ m}^{-2}$  en een biomassa van  $1.3 \text{ g m}^{-2}$ ). In 2021, na de suppletie werd er op bijna alle stations in gebied Zuid *Spisula subtruncata* gevonden. De gemiddelde dichtheid was hier  $3.46 \text{ m}^{-2} (\pm 1.24 \text{ SD})$ . Ook in het suppletiegebied, zij het in lage dichtheden, werden er op 9 meetstations *Spisula subtruncata* gevonden.



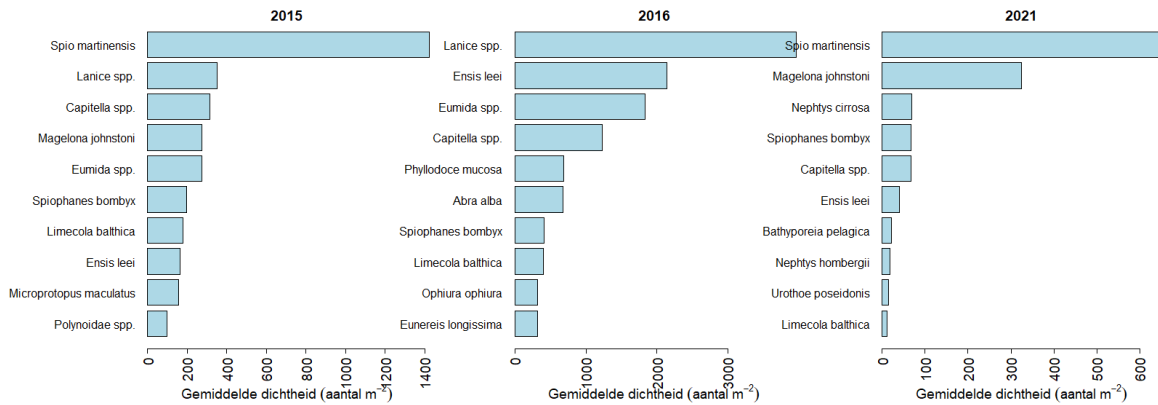
Figuur 27: Verspreiding *Spisula subtruncata* (aantal  $\text{m}^{-2}$ ) in het onderzoeksgebied in 2015, 2016 en in 2021 na de suppletie. Er is geen onderscheid gemaakt in leeftijdsklassen. Data bodemschaaf.

## 3.3 Box-corer

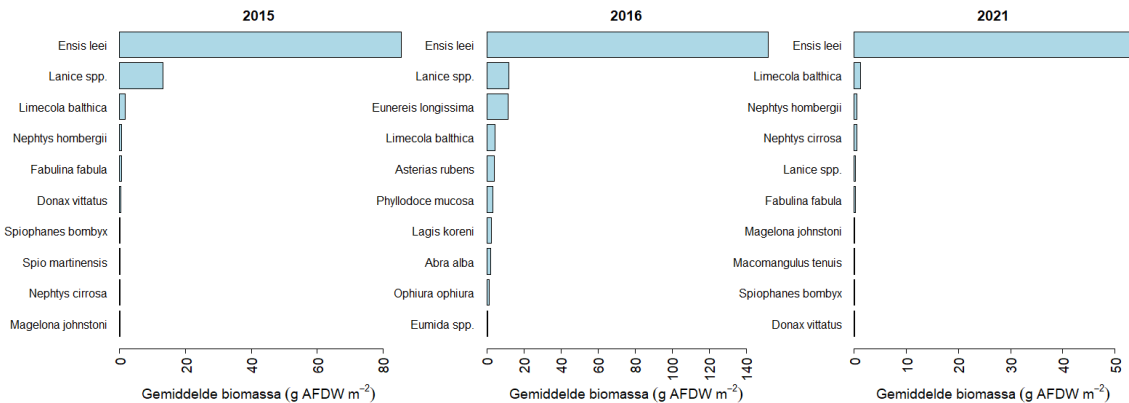
### 3.3.1 Voorkomen van soorten

Alle 61 locaties zijn in 2015, 2016 en 2021 naast de bodemschaaf ook met de box-corer bemonsterd. In 2021 werden er gemiddeld slechts 4.3 verschillende taxa gevonden per station. In 2015 werden er gemiddeld 8.0 taxa aangetroffen en in 2016 werden er gemiddeld 17.5 taxa per station aangetroffen. In 2021 was er op 1 station, station 46, in deelgebied Suppletie geen levende bodemdieren in het box-corer monster gevonden. In de jaren 2015 en 2021 was *Spio martinensis* de meest dominante soort op basis van dichtheid (Figuur 28). In 2016 waren de schelpkokerwormen (*Lanice* spp.) verreweg de meest dominante soort met een gemiddelde dichtheid van 3969 exemplaren  $\text{m}^{-2}$  waarbij de maximale dichtheid van 21475 exemplaren  $\text{m}^{-2}$  is aangetroffen op station 22 in deelgebied Zuid. Opvallend is dat *Spio martinensis* in 2016 juist in veel lagere dichtheden (gemiddeld 39 exemplaren  $\text{m}^{-2}$ ) is aangetroffen dan in de jaren 2015 en 2021 (respectievelijk 1423 en 656 exemplaren  $\text{m}^{-2}$ ). Op basis van biomassa was *Ensis leei* in alle jaren verreweg de meest dominante soort (Figuur 29), met

gemiddelde biomassa's van respectievelijk 86, 152 en 54 g AFDW m<sup>-2</sup> in de jaren 2015, 2016 en 2021. Hoewel de gemiddelde dichtheid van schelpkokerwormen (*Lanice* spp.) in 2016 veel hoger was dan in 2015, was de gemiddelde biomassa van schelpkokerwormen in 2015 hoger (13.0 g AFDW m<sup>-2</sup>) dan in 2016 (11.8 g AFDW m<sup>-2</sup>) wat aangeeft dat de schelpkokerwormen in 2016 kleiner waren.



Figuur 28: Gemiddelde dichtheid (aantal m<sup>-2</sup>) van de 10 meest dominante soorten in de box-corer in 2015, 2016 en 2021.

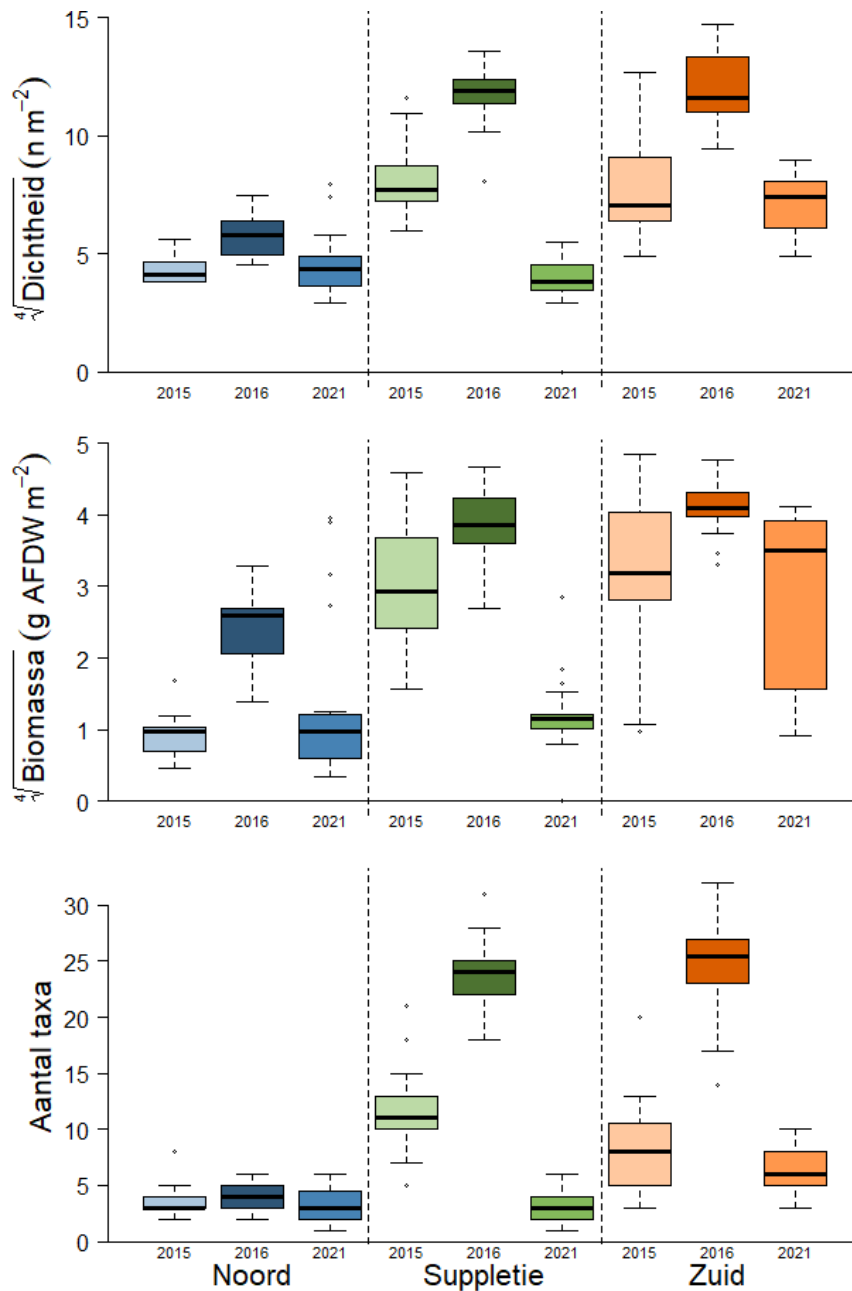


Figuur 29: Gemiddelde biomassa (g AFDW m<sup>-2</sup>) van de 10 meest dominante soorten in de box-corer in 2015, 2016 en 2021. Bij de biomassa zijn de soorten *Diogenes pugilator*, *Pagurus bernhardus* en *Echinocardium cordatum* niet meegenomen (zie tekst).

### 3.3.2 Dichtheid, biomassa en aantal soorten per locatie

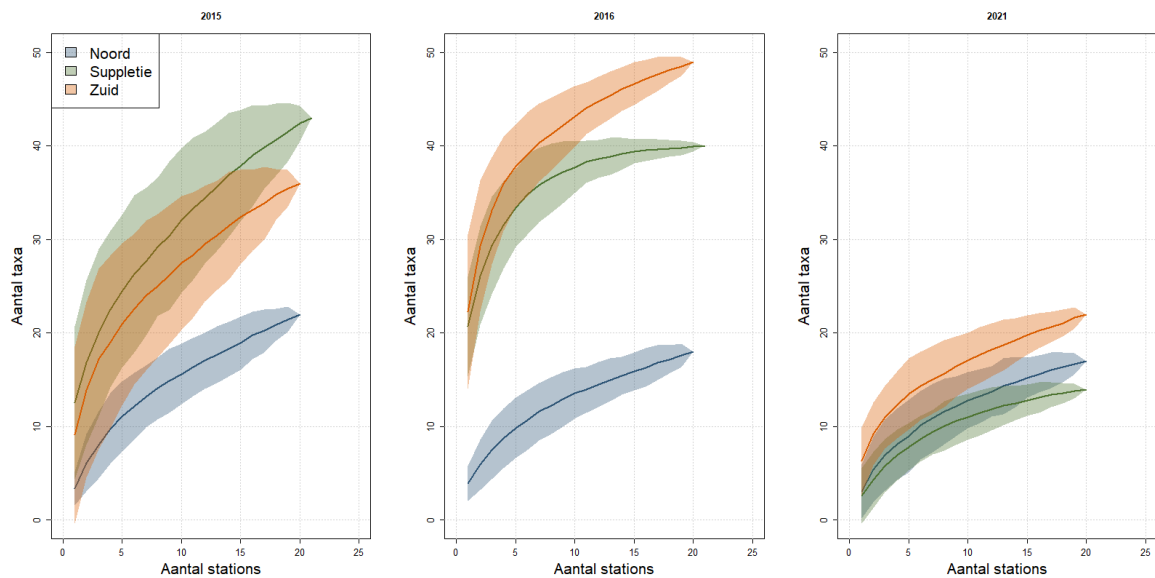
De gemiddelde totale dichtheid varieerde sterk tussen de monsterjaren (Figuur 30). In 2015 was de gemiddelde dichtheid 3898 (stdev. = 5302) ind. m<sup>-2</sup>, in 2016 14458 (stdev. = 11832) ind. m<sup>-2</sup> en in 2021 1360 (stdev. = 1730) ind. m<sup>-2</sup>. In 2015 en in 2016 was de gemiddelde dichtheid (vierdemachtswortel-getransformeerd) in deelgebied Noord significant lager dan in de deelgebieden Suppletie en Zuid. Er was geen significant verschil in gemiddelde dichtheid tussen de deelgebieden Zuid en Suppletie in 2015 en 2016 (respectievelijk p=0.75 en p=0.67). In 2021 was er geen significant verschil (p=0.26) in gemiddelde dichtheid tussen de deelgebieden Noord en Suppletie. In het deelgebied Zuid was de gemiddelde dichtheid wel significant hoger dan in deelgebied Noord (p<0.05) en Suppletie (p<0.05). Ook in termen van gemiddelde biomassa werd in 2021 het laagste gewicht gevonden, namelijk maar 57 ± 94 g AFDW m<sup>-2</sup> ten opzichte van de 103 ± 141 g AFDW m<sup>-2</sup> in 2015 en de 194 ± 139 g AFDW m<sup>-2</sup> in 2016. De verschillen in biomassa tussen de deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord over de jaren 2015, 2016 en 2021 komen overeen met de verschillen gevonden voor dichtheid (Figuur 30), waarbij er in 2015 en 2016 geen significant verschil in gemiddelde biomassa is gemeten tussen de deelgebieden Zuid en Suppletie (respectievelijk p=0.70 en p=0.14). In 2015 en 2016 had deelgebied Noord de laagste biomassa. In 2021 is er geen significant verschil meer in gemiddelde biomassa tussen de deelgebieden Suppletie en Noord (p=0.86), waarbij de gemiddelde

biomassa in deelgebied Zuid significant hoger is dan de gemiddelde biomassa in de deelgebieden Suppletie en Noord. Ook in het aantal taxa komt ditzelfde beeld terug. In zowel 2015 als 2016 is het gemiddeld aantal taxa per station in deelgebied Noord lager dan in de deelgebieden Zuid en Suppletie maar in 2021 is het aantal taxa gevonden in deelgebied Suppletie vergelijkbaar met het aantal taxa dat is gevonden in deelgebied Noord (Figuur 30).



*Figuur 30: Boxplots van de vierdemachtswortel getransformeerde dichtheid en biomassa en en het aantal taxa per locatie verdeeld over de verschillende deelgebieden in de jaren 2015, 2016 en 2021 (na suppletie).*

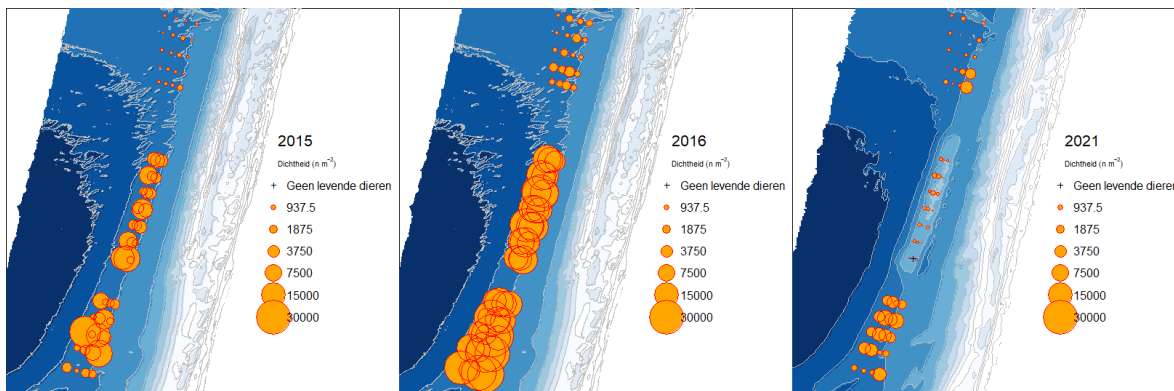
De cumulatieve plots van het totaal aantal taxa in de box-corer (Figuur 31) laten zien dat het totaal aantal taxa in alle jaren het laagst is in deelgebied Noord. De eerste-orde Jackknife schatter van het totaal aantal taxa in deelgebied Noord is respectievelijk 32.4, 24.7 en 23.7 taxa in de jaren 2015, 2016 en 2021. In de jaren voor de suppletie was het geschatte totaal aantal taxa in het deelgebied Suppletie (respectievelijk 59.2 en 41.0 taxa in de jaren 2015 en 2016) vergelijkbaar met deelgebied Zuid (respectievelijk 51.2 en 57.6 taxa in de jaren 2015 en 2016). Na de suppletie, in 2021, is het geschatte totaal aantal taxa in deelgebied Suppletie afgenomen naar 17.8 taxa, en ook lager dan in deelgebied Noord (23.7 taxa).



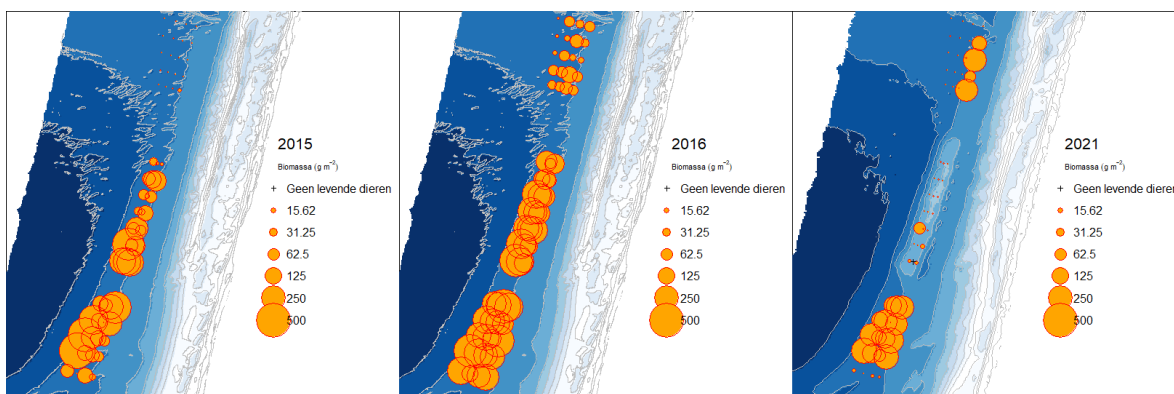
**Figuur 31:** .Cumulatief aantal taxa in de box-corer als functie van het aantal bemonsterde stations voor de verschillende deelgebieden over de verschillende jaren. De getrokken lijnen geven het gemiddelde aantal soorten en de polygonen geven de contouren van de standaarddeviatie.

### 3.3.3 Verspreiding van de soorten over de deelgebieden

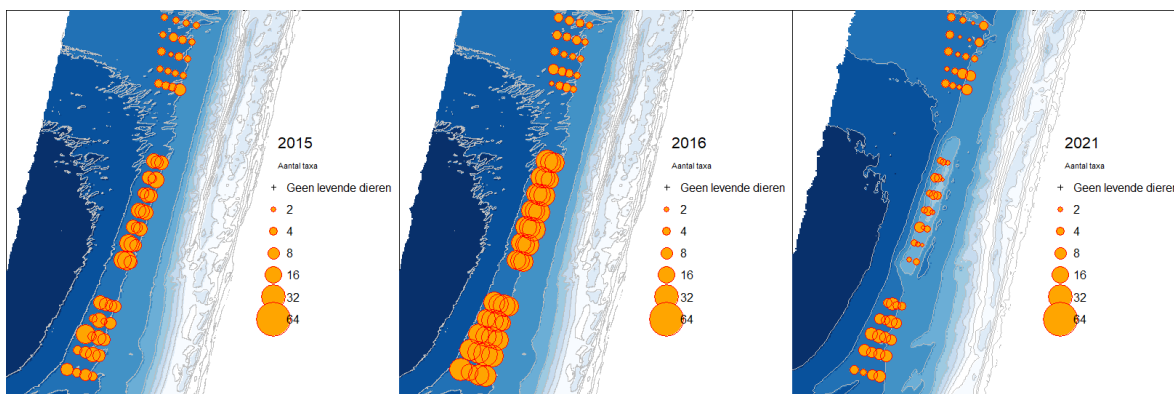
In Figuur 32 tot en met Figuur 34 is de ruimtelijke verspreiding van respectievelijk de dichtheid, biomassa en aantal taxa van de bodemdieren in 2015, 2016 en 2021 gevonden in de box-corer weergegeven. Ook in deze figuren is duidelijk te zien dat de dichtheden en de biomassa's in deelgebied Noord in de jaren 2015 en 2016 lager zijn dan in de deelgebieden Zuid en Suppletie. Ook in het aantal taxa is dit patroon herkenbaar, zij het minder uitgesproken. De figuren met de dichtheden en biomassa's (Figuur 32 en Figuur 33) laten ook zien dat het deelgebied Suppletie in 2021 op veel locaties zelfs armer is dan de stations (voornamelijk aan de landzijde) van deelgebied Noord. In Bijlage 2 is de verspreiding van een aantal taxa weergegeven op basis van de data van de box-corer. De taxa die zijn weergegeven zijn over alle jaren allemaal vaker dan 25 keer aangetroffen in de data van de box-corer. In grote lijnen komt dit beeld overeen met de resultaten van de bodemschaaf. Echter zijn er ook wel verschillen. Zo worden er een aantal soorten (*Abra alba*, *Donax vittatus*, *Ensis leei*, *Limecola balthica* en *Spisula subtruncata*) vaker aangetroffen in de bodemschaaf (*Donax vittatus* en *Spisula subtruncata* zijn zelfs minder dan 25 keer aangetroffen in de box-corer). De reden hiervoor is dat het bemonsterde oppervlakte van de schaaaf aanzienlijk groter is dan de box-corer, waardoor de kans groter is dat de soort daadwerkelijk wordt bemonsterd.



Figuur 32: Verspreiding van de totale dichtheid (aantal  $m^{-2}$ ) in de box-corer voor de verschillende jaren



Figuur 33: Verspreiding van de totale biomassa (g AFDW  $m^{-2}$ ) in de box-corer voor de verschillende jaren



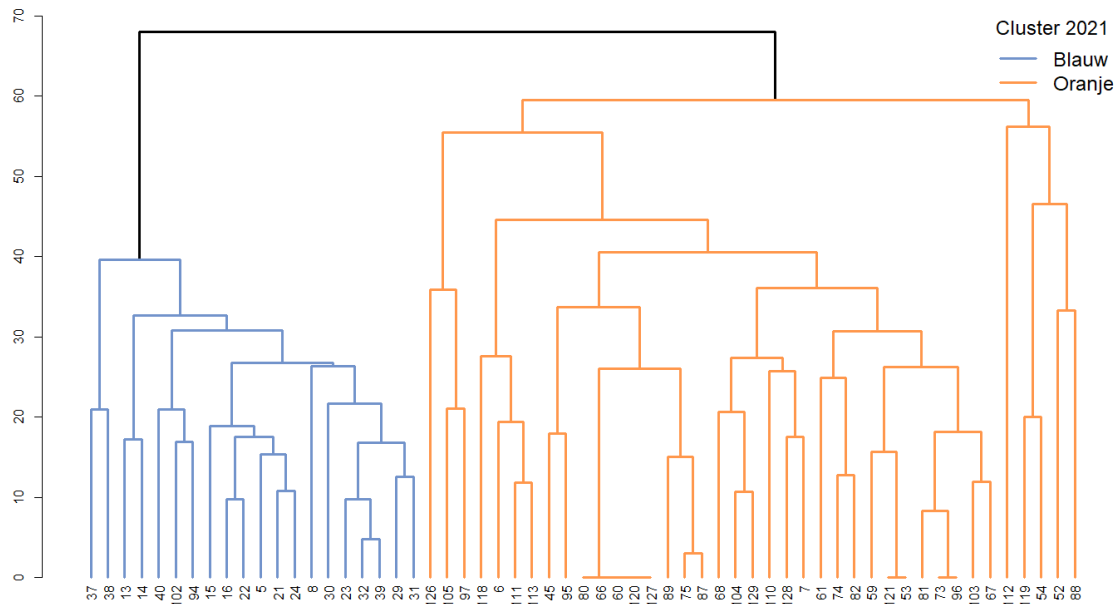
Figuur 34: Verspreiding van het totaal aantal taxa (aantal  $m^{-2}$ ) in de box-corer voor de verschillende jaren

### 3.3.4 Gemeenschapsanalyse 2021

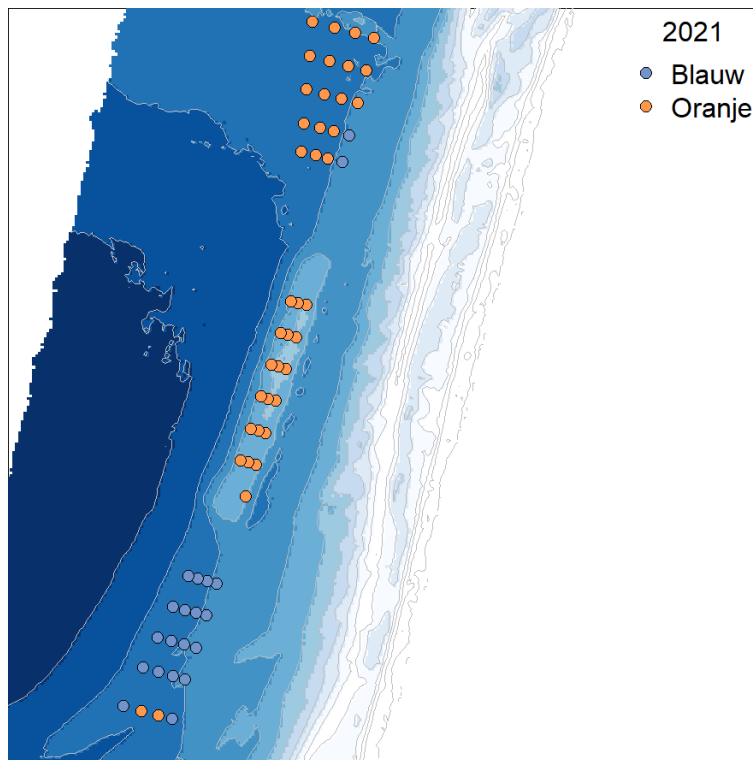
De gemeenschapsanalyses (clusteranalyse en nMDS) zijn ook uitgevoerd op de vierdemachtswortel-getransformeerde dichtheden van de verschillende soorten zoals deze zijn aangetroffen in de box-corer. De resultaten komen voor een groot deel overeen met de resultaten van de analyses van de schafdata (zie paragraaf 3.2.4).

De clusteranalyse van de box-corer data deelt de stations uit 2021 op in twee significante clusters (blauw en oranje, Figuur 35). Let op dat de namen van de clusters, in dit geval blauw en oranje geen relatie hebben met de clusters blauw en oranje uit Figuur 20. De stations van cluster "blauw" in Figuur 35 zijn voornamelijk gelegen in deelgebied Zuid en de stations van cluster oranje zijn verdeeld over de

deelgebieden Noord en Suppletie. De resultaten van de clusteranalyses voor de jaren 2015 en 2016 zijn gepresenteerd in Bijlage 5. Ook hier hebben de namen van de clusters geen relatie met de namen van de clusters in de andere jaren.

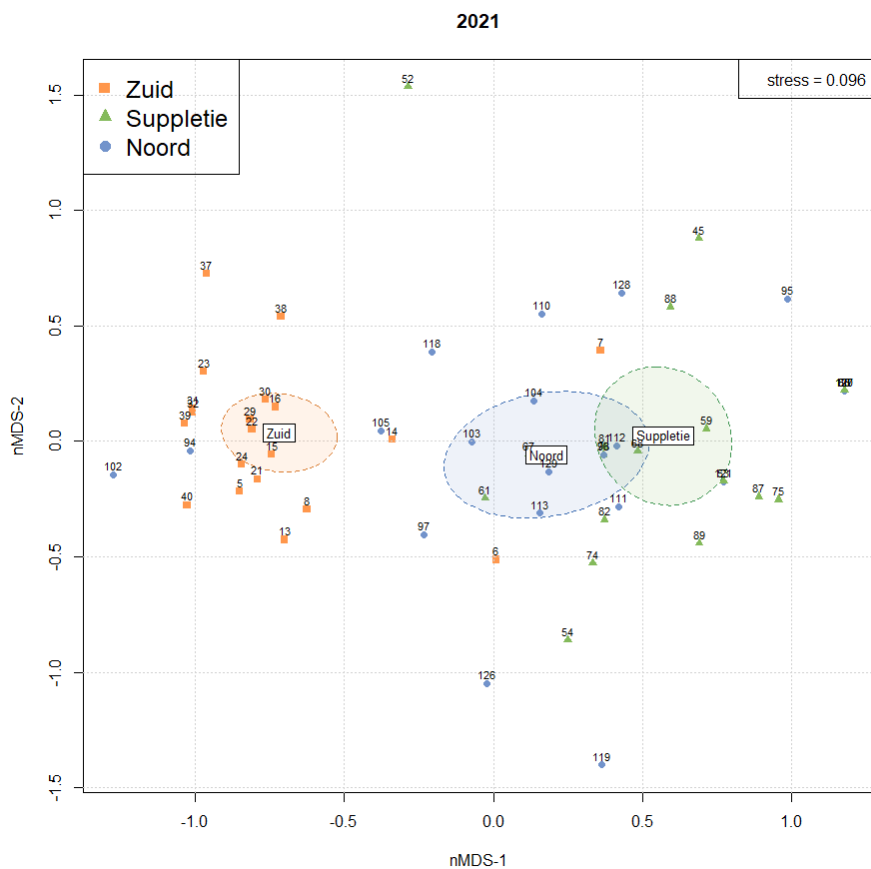


Figuur 35: Clusterdiagram van de box-corer monsters. De kleuren geven de significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers zijn onder aan de figuur weergegeven.



Figuur 36: Ruimtelijke verspreiding van de 2 significante clusters op basis van de data van de box-corer. De kleuren van de bolletjes komen overeen met de kleuren van de clusters in Figuur 35.

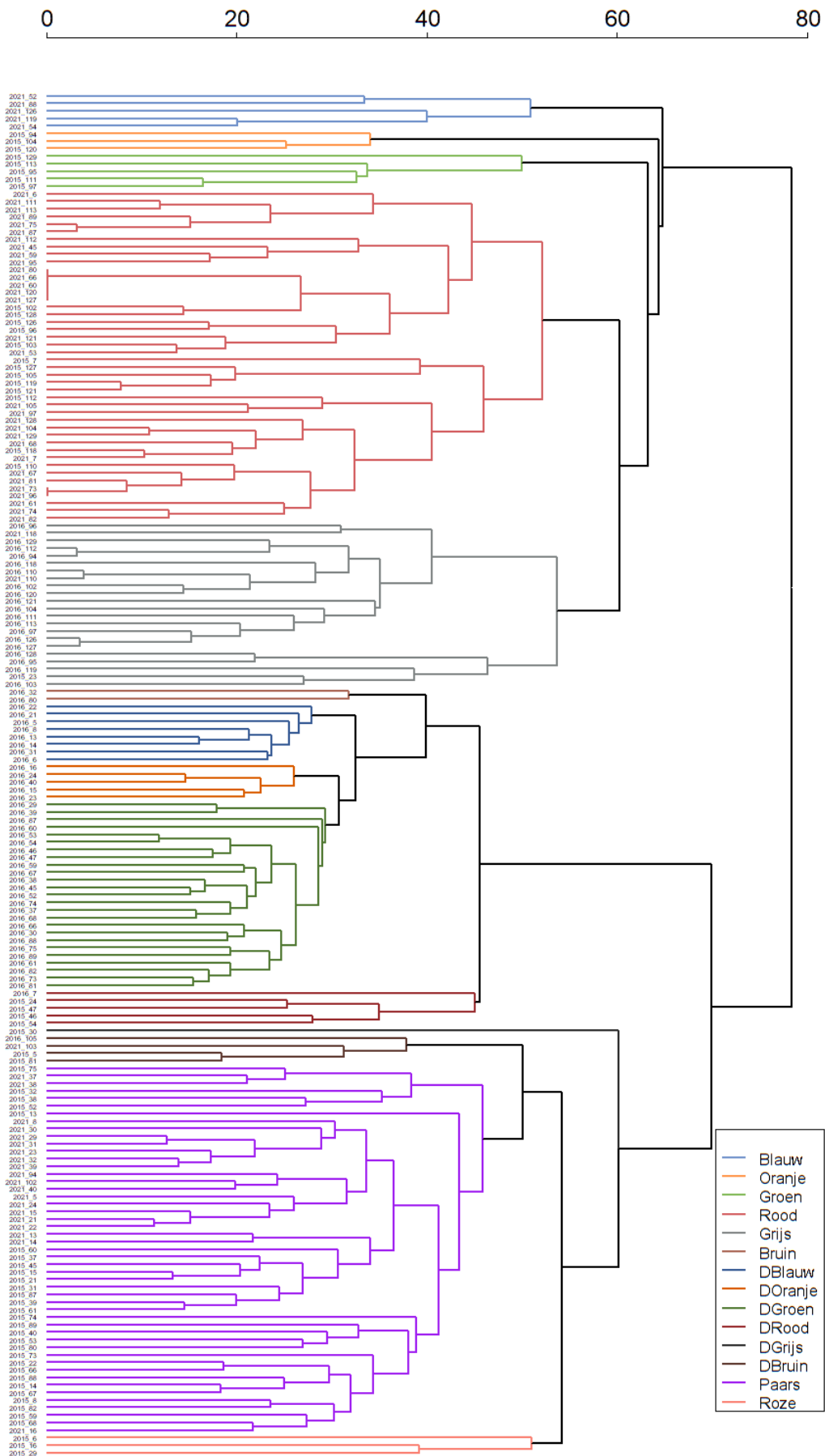
De nMDS plot van de vierdemachtswortel-getransformeerde data uit de box-corer laat zien dat de bodemdiergemeenschap in het deelgebied Suppletie zich in 2021 duidelijk onderscheid van het deelgebied Zuid (Figuur 37). Er is zelfs een overlap met de bodemdiergemeenschap van deelgebied Noord, wat niet het geval was bij de data van de schaaaf (Figuur 22). De bodemdiergemeenschap in deelgebied Noord vertoont zelfs nog meer overeenkomsten met deelgebied Zuid, waar de stations het deelgebied Noord in voorgaande jaren (2015 en 2016) juist sterk afweken van de stations in de deelgebieden Zuid en Suppletie (Figuur 90 en Figuur 91). De overlap in de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van deelgebied Noord en Suppletie laat zien dat er niet kan worden aangetoond dat deze deelgebieden van elkaar verschillen. In Bijlage 6 is te zien dat de situatie in de jaren 2015 en 2016 anders was en dat de bodemdiergemeenschap in deelgebied Suppletie veel meer overeenkomsten vertoonde met deelgebied Zuid dan deelgebied Noord. Vooral in 2015 was er een duidelijke overlap tussen de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van deze gebieden. In 2016 is er wel een verschil tussen Zuid en Suppletie, maar dat verschil is veel minder dan het verschil met deelgebied Noord.



*Figuur 37: nMDS plot van de gegevens van de box-corer monsters uit 2021. De cijfers geven de stationnummers aan, waarbij de markers aangeven in welk deelgebied de stations liggen (Zuid, Suppletie en Noord). De polygonen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van respectievelijk de deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord.*

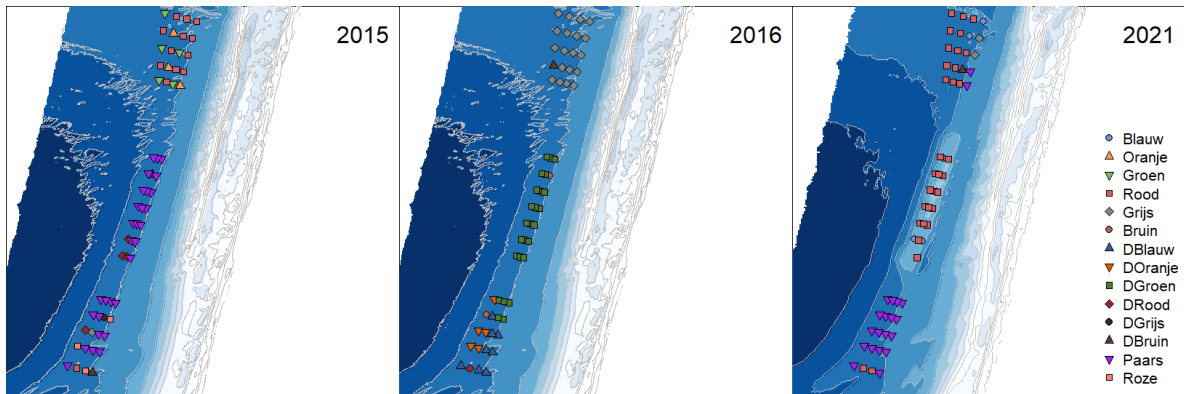
### 3.3.5 Gemeenschapsanalyse data box-corer alle jaren

De resultaten van de clusteranalyse over alle jaren (2015, 2016 en 2021) is weergegeven in Figuur 38. In totaal worden er 14 significante clusters onderscheiden. De clusters met de meeste locaties zijn de clusters rood, grijs, Dgroen en Paars. De clusters Oranje, Bruin en DGrijs beperken zich tot 3 of minder stations. In Figuur 39 is de ruimtelijke verspreiding van de clusters over de verschillende jaren weergegeven.



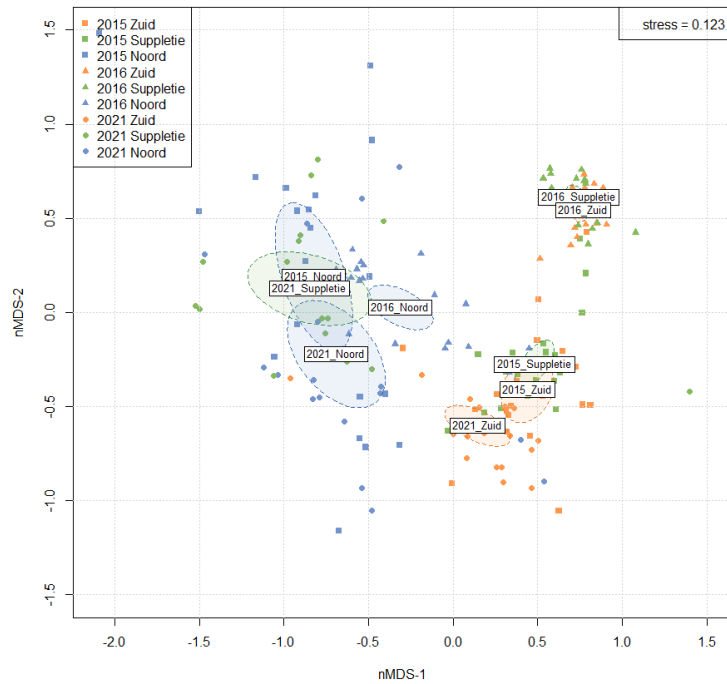
Figuur 38: Clusterdiagram van de box-corer monsters over de jaren 2015, 2016 en 2021. De kleuren geven de significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers (jaar\_station) zijn aan de linkerkzijde van de figuur weergegeven.



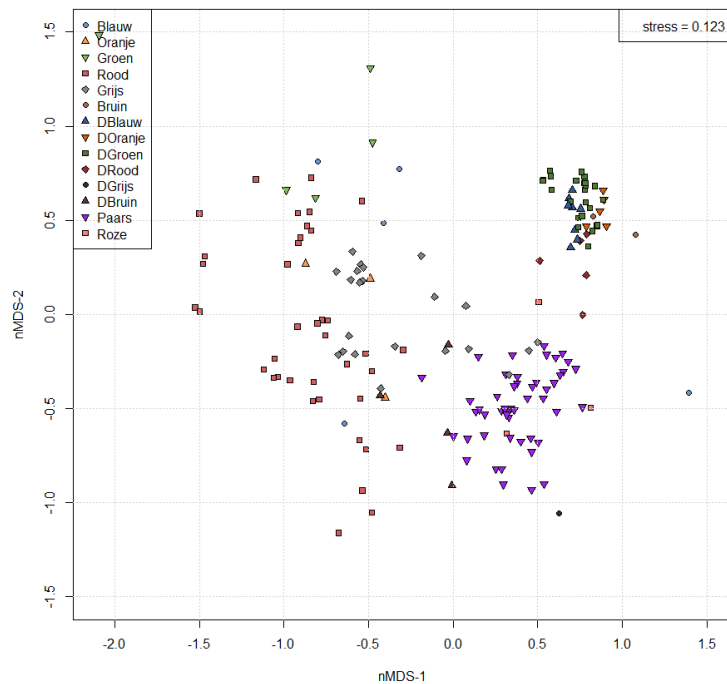


*Figuur 39: Ruimtelijke verspreiding van de 14 significante clusters over alle jaren. De kleuren geven de significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ).*

Dezelfde patronen zijn ook terug te zien in de nMDS plots van deze data (Figuur 40 en Figuur 41). In de jaren 2015 en 2016 was er een redelijke overeenkomst in de bodemdiergemeenschap van de deelgebieden Zuid en Suppletie. De 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden vertoonden een overlap voor deze gebieden in beide jaren (Figuur 40). Deelgebied Noord was de bodemdiergemeenschap duidelijk afwijkend in deze jaren. In 2021, na de suppletie, is de bodemdiergemeenschap in deelgebied Suppletie duidelijk afwijkend van deelgebied Zuid, en lijkt meer op deelgebied Noord. De bodemdiergemeenschap van deelgebied Zuid vertoont in 2021 overeenkomsten met de bodemdiergemeenschap in datzelfde deelgebied in 2015. Over alle jaren zijn er duidelijke overeenkomsten in de bodemdiergemeenschap die is aangetroffen in het deelgebied Noord. In Figuur 41 is te zien dat het grote cluster Paars (stations voornamelijk uit deelgebieden Zuid en Suppletie in 2015 en Zuid in 2021) zich duidelijk onderscheidt van het cluster Rood (stations voornamelijk uit deelgebied Noord in 2015 en 2021 en Suppletie in 2021) op de eerste nMDS as. Het cluster Rood vertoont overeenkomsten met de clusters Blauw, Groen, Oranje en Grijs. De clusters DGroen, DOranje, Dblauw en Bruin liggen op de nMDS plot ook relatief dicht bij elkaar. Deze stations zijn allemaal bemonsterd in 2016 in de deelgebieden Zuid en Suppletie.



Figuur 40: nMDS plot van de box-corer monsters over alle jaren. Het type marker geeft aan in welk jaar het betreffend station is bemonsterd en de kleur geeft het deelgebied aan. De polygoenen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van de deelgebieden in de verschillende jaren.



Figuur 41: nMDS plot van de box-corer monsters over alle jaren. De figuur is identiek aan Figuur 40, alleen geven de markers nu aan tot welk cluster van de clusteranalyse (Figuur 38) het betreffende station hoort.

---

## 4 Conclusies en discussie

Het sediment op de suppletielocatie was in 2021 (vier jaar na de aanleg) duidelijk grover van samenstelling dan op de referentielocaties Zuid en Noord. De bemonsterde stations op de suppletielocatie hadden een gemiddelde mediane korrelgrootte van  $330 (\pm 59) \mu\text{m}$ . In deelgebied Zuid was de gemiddelde mediane korrelgrootte in 2021  $223 \pm 34 \mu\text{m}$  en in deelgebied Noord was de gemiddelde mediane korrelgrootte  $260 \pm 35 \mu\text{m}$ . In de jaren voor de aanleg van de suppletie (2015 en 2016) was de mediane korrelgrootte in het suppletiegebied vergelijkbaar met de mediane korrelgrootte in deelgebied Zuid. Het sediment in deelgebied Noord was in alle jaren (2015, 2016 en 2021) al iets grover dan het sediment in deelgebied Zuid. Het relatief grove sediment op de suppletielocatie is waarschijnlijk een direct of indirect gevolg van de suppletie. Dit kan veroorzaakt zijn doordat het sediment van de suppletielocatie relatief grof was en/of doordat er sortering heeft plaatsgevonden tijdens storten of erna waardoor de fijnere fracties zijn weggespoeld. Tijdens de bemonstering van de ondiepe vooroever in 2015 (Wijsman en Craeymeersch, 2016) was de suppletie uit 2013 ook duidelijk terug te zien in de relatief grote mediane korrelgrootte. Het is niet de verwachting dat de sedimentsamenstelling op korte termijn zal veranderen omdat de suppletie vanwege de grote diepte waarop deze is aangelegd morfologisch slechts beperkt actief is.

Ook de bodemdiergemeenschap op de suppletielocatie is veranderd als gevolg van de suppletie. De resultaten van de bemonstering met de bodemschaaf in 2021 laten zien dat de dichtheid van bodemdieren in het suppletiegebied ( $2 \pm 1 \text{ ind. m}^{-2}$ ) significant lager was dan in de deelgebieden Zuid ( $62 \pm 25 \text{ ind. m}^{-2}$ ) en Noord ( $24 \pm 32 \text{ ind. m}^{-2}$ ). Ook de biomassa (zonder *Ensis* spp, otterschelp, strandgaper, zeeklit en heremietkreeften) was lager in het Suppletiegebied ( $2.3 \pm 1.5 \text{ g versgewicht m}^{-2}$ ) dan in deelgebied Zuid ( $27.4 \pm 11.1 \text{ g versgewicht m}^{-2}$ ), maar niet lager dan de biomassa in deelgebied Noord ( $5.4 \pm 8.8 \text{ g versgewicht m}^{-2}$ ). In de jaren voor de suppletie (2015 en 2016) kwamen zowel de biomassa als de dichtheid en de gemiddelde biomassa in deelgebied Suppletie juist overeen met deelgebied Zuid, en hadden een hogere dichtheid en biomassa aan bodemdieren dan deelgebied Noord. Hetzelfde patroon is ook te zien in de bemonstering met de box-corer. In 2021 is de laagste gemiddelde dichtheid aan bodemdieren aangetroffen in het suppletiegebied ( $317 \pm 243 \text{ ind. m}^{-2}$ ). In de deelgebieden Noord ( $680 \pm 1035 \text{ ind. m}^{-2}$ ) en Zuid ( $3135 \pm 1820 \text{ ind. m}^{-2}$ ) was de dichtheid aan bodemdieren groter. De biomassa in 2021 was in deelgebied Suppletie  $5.3 \pm 14.0 \text{ gAFDW m}^{-2}$ . In de deelgebieden Noord ( $32.2 \pm 74.7 \text{ gAFDW m}^{-2}$ ) en Zuid ( $137.2 \pm 107.6 \text{ gAFDW m}^{-2}$ ) was de biomassa van de bodemdieren in de box-corer hoger. In voorgaande jaren (2015 en 2016) kwam de bodemdiergemeenschap in deelgebied Suppletie voor zowel dichtheid als biomassa meer overeen met deelgebied Zuid en was over het algemeen rijker dan deelgebied Noord.

De meeste soorten die voorheen (2015 en 2016) regelmatig werden aangetroffen in deelgebied Suppletie (*Fabulina fabula*, *Ensis* spp., *Lanice* spp., *Nephtys hombergii* en *Abra alba*) waren in 2021 vrijwel afwezig of in zeer lage dichtheden aangetroffen in het suppletiegebied. De breedpootkrab (*Portumnus latipes*), de tere platschelp (*Macomangulus tenuis*) en *Nephtys cirrosa* echter zijn in 2015 en 2016 voornamelijk aangetroffen in deelgebied Noord, en vrijwel niet in deelgebied Suppletie, maar is in 2021 ook veelvuldig aangetroffen in deelgebied Suppletie. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de vergroving van het sediment in het suppletiegebied als direct of indirect gevolg van de suppletie.

Naast de ruimtelijke patronen is er ook een sterke ontwikkeling van jaar tot jaar. De gemiddelde dichtheden in de bodemschaaf en box-corer waren in 2015 respectievelijk 124 en 3898 ind.  $\text{m}^{-2}$ . In 2016 was de gemiddelde dichtheid aanzienlijk hoger (respectievelijk 3142 en 14458 ind.  $\text{m}^{-2}$ ). Voor de box-corer data is dit deels veroorzaakt door de massale aanwezigheid door lokaal een goede broedval van schelpkokerwormen (*Lanice conchilega*) in de gebieden Suppletie en Zuid. In 2015 was de gemiddelde dichtheid aan schelpkokerwormen in de gebieden Zuid en Suppletie ruim 500 individuen  $\text{m}^{-2}$ . In 2016 was de gemiddelde dichtheid aan schelpkokerwormen in deze gebieden ruim 11 keer zo hoog (5900 individuen  $\text{m}^{-2}$ ). Echter ook soorten als *Ensis* spp. en *Abra alba* hadden in 2016 veel hogere dichtheden dan in 2015. In 2021 zijn de laagste dichtheden in de bodemschaaf en box-corer aangetroffen (respectievelijk 29 en 1360 ind.  $\text{m}^{-2}$ ), voornamelijk veroorzaakt door de lage dichtheden in het suppletiegebied. Het sediment in deelgebied Zuid en Suppletie was in 2016 iets fijner

---

(186 ±31µm) dan in 2015 (217 ±26µm). Het is mogelijk dat het verschil in bodemdiersamenstelling een direct gevolg is van het verschil in sedimentsamenstelling. Echter, het zou ook zo kunnen zijn dat de aanwezigheid van schelpkokerwormen (en mesheften) in de gebieden Zuid en Suppletie ertoe leiden dat er meer afzetting plaatsvindt van fijn materiaal waardoor het sediment is verfijnt. Van de rif-vormende schelpkokerwormen is het bekend dat ze effect hebben op de aanwezigheid van andere soorten bodemdieren en op de totale dichtheid van de bodemdiergemeenschap (Callaway, 2003, 2006, Rabaut et al., 2008).

De multivariate analyses (clusteranalyse en nMDS) geven een mooi beeld van de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de verschillende deelgebieden over de jaren. De resultaten van de analyses van de bodemschaaf en de box-corer zijn vergelijkbaar. Hoewel met beide monstertuigen een verschillend (maar overlappend) deel van de bodemdiergemeenschap wordt bemonsterd zijn beide tuigen wel indicatief voor de bodemdiergemeenschap (Wijsman et al., Submitted). De cluster analyses op de data van 2021 laten een duidelijk verschil zien tussen de deelgebieden Noord en Suppletie en het deelgebied Zuid. Ook de nMDS analyses laten zien dat de bodemdiergemeenschap in de deelgebieden Suppletie en Noord sterke overeenkomsten vertonen met elkaar en dat de bodemdiergemeenschap duidelijk anders is dan in deelgebied Zuid. Voor de aanleg van de suppletie, in 2015 en 2016, kwam de bodemdiergemeenschap in het suppletiegebied juist veel meer overeen met de bodemdiergemeenschap het deelgebied Zuid. In het deelgebied Noord was de bodemdiergemeenschap in 2015 en 2016 duidelijk anders dan in de deelgebieden Zuid en Suppletie. Na de aanleg van de suppletie is de bodemdiergemeenschap in het suppletiegebied meer gaan lijken op de bodemdiergemeenschap in het deelgebied Noord.

Uit de T<sub>0</sub> metingen van 2015 en 2016 is gebleken dat het deelgebied Zuid een geschikte referentie is voor het suppletiegebied. Zowel de sedimentsamenstelling als de bodemdiergemeenschap toonden sterke overeenkomsten met het deelgebied Suppletie. In 2016 was deze overeenkomst nog groter dan in 2015. Ook de temporele variatie in deelgebied Zuid kwam overeen met het suppletiegebied. Het deelgebied Noord daarentegen bleek zowel kwa sedimentsamenstelling als bodemdiergemeenschap duidelijk af te wijken.

Het suppletiegebied ligt in het Natura-2000 gebied Noordzeekustzone. Relevante instandhoudingsdoelen voor dit gebied zijn zee-eenden (zwarte zee-eend, toppereend en eidereend) die foerageren op schelpdieren (voornamelijk *Spisula* en *Ensis*). Ingrepen die effect hebben op schelpdierbanken kunnen doorwerken naar effecten op de foerageermogelijkheden van de zee-eenden en daarmee de instandhoudingsdoelen. Bij de definitie van schelpdierbanken gaat men vaak uit van een dichtheid van meer dan 10 exemplaren per m<sup>-2</sup>, maar mogelijk is dit aan de lage kant (Craeymeersch en Wijsman, 2016). Uit de monitoring met de schaaf blijkt dat er in 2015 *Spisula subtruncata* is aangetroffen (Figuur 27), voornamelijk in het gebied waar later de suppletie is uitgevoerd (Wijsman, 2016). Echter waren de dichtheden beperkt. De maximale dichtheid aan meerjarige *Spisula*'s was 0.62 individuen m<sup>-2</sup>. De rest van de *Spisula*'s was 0-jarig. Tijdens de bemonstering in 2016 zijn er op slechts 2 van de 61 bemonsterde locaties *Spisula*'s aangetroffen. In alle gevallen betrof dit meerjarige *Spisula*'s. De hoogste dichtheid (3.27 ind. m<sup>-2</sup>) is aangetroffen op een locatie binnen het voorziene suppletiegebied, en ook in het deelgebied Noord zijn op één locatie *Spisula*'s aangetroffen (dichtheid 0.26 m<sup>-2</sup>). In 2021, na uitvoering van de suppletie, zijn er voornamelijk *Spisula*'s in hogere dichtheden aangetroffen in het deelgebied Zuid. In het deelgebied Suppletie, evenals het deelgebied Noord zijn wel *Spisula*'s aangetroffen, maar de dichtheden waren zeer laag.

De monitoring die is uitgevoerd in de jaren 2015, 2016 en 2021 laat zien dat de bodemdiergemeenschap van de suppletielocatie 4 jaar na aanleg nog niet is herstelt. De bodemdiergemeenschap op de suppletielocatie is anders dan voor de suppletie en ook anders dan de referentielocatie Zuid die voorheen wel overeenkomsten vertoonde met de suppletielocatie. Het sediment op de suppletielocatie is aanzienlijk grover dan voor de suppletie. Dit is mogelijk een direct (aanbrengen van grover materiaal) of indirect (sortering van het sediment tijdens of ná aanleg) effect van de suppletie. Ook is de diepte ter plekke afgenomen van ca -10 m NAP naar ca -7.5 m NAP. Dit heeft gevolgen voor allerlei andere omgevingscondities zoals bodemschuifspanning, sedimentatie/erosie en kan daarmee doorwerken naar de bodemdiergemeenschap. Dit is terug te zien

---

in een verminderde dichtheid en biomassa en ook in de samenstelling van de bodemdiergemeenschap op de suppletielocatie. Omdat de suppletie relatief diep is aangelegd is de suppletie minder mobiel en dynamisch dan de ondiepere suppletie uit 2013. Het is dan ook niet de verwachting dat de sedimentsamenstelling, en de bodemdiergemeenschap op de suppletielocatie zich op korte termijn zal herstellen naar de situatie van voor de aanleg van de suppletie. Een suppletie in de ondiepere dynamische brekerbankzone zal sneller worden opgenomen in het morfologisch dynamische systeem, waardoor de suppletie snel zal verdwijnen. Tevens is de bodemdiergemeenschap in de ondiepe brekerbankzone beter aangepast aan de hoge sedimentdynamiek (Vergouwen en Meijer-Holzhauer, 2016, Holzhauer et al., 2020, Wijsman et al., 2020) waardoor de bodemdiergemeenschap ook beter in staat is zich te herstellen. Het herstel van de bodemdiergemeenschap na een diepe (ca -10 m NAP) vooroeversuppletie zal langer duren. Van belang hierbij is ook dat deze diepere zone van de dynamische Hollandse kust rijker is aan bodemdieren, zowel in biomassa als in soortenrijkdom dan de ondiepere brekerbankzone (Wijsman et al., 2020).

---

## 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.

---

## 6 Literatuur

- Baptist, M. (2011). Zachte kustverdediging in Nederland; scenario's voor 2040. Wageningen IMARES, Texel. 61 paginas.
- Birklund, J. en J.W.M. Wijsman (2005). Aggregate extraction: A review on the effect on ecological functions. WL | Delft Hydraulics, Delft. Rapport nummer: Z3297.10. 53 paginas.
- Callaway, R. (2003). Long-term effects of imitation polychaete tubes on benthic fauna: they anchor *Mytilus edulis* (L.) banks. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 283:115-132.
- Callaway, R. (2006). Tube worms promote community change. *Marine Ecology Progress Series* 308:49-60.
- Clarke, K.R., J.R. Tweedley en F.J. Valesini (2014). Simple shade plots aid better long-term choices of data pre-treatment in multivariate assemblage studies. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 94:1-16.
- Craeymeersch, J. en J.W.M. Wijsman (2016). Memo: Definitie Spisulabank. Wageningen Marine Research. 7 paginas.
- De Cáceres, M. en P. Legendre (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90:3566-3574.
- Dijkema, S.A.M. (2015). Vergunning Nb-wet 1998; zandsuppletie Callantsoog; Noordzeekustzone, Duinen Den Helder-Callantsoog, Zwanenwater & Pettemerduinen. Ministerie EZ. 7 paginas.
- Herman, P.M.J., H. Holzhauer, S.A. Vergouwen, J.W.M. Wijsman en H.M.J. Baptist (2016). Ecologische effecten van kustsuppleties. Systeembeschrijving (deel A), onderzoeksprioriteiten (deel B) en ontwerp uitvoeringsplan (deel C). Deltares. 100 paginas.
- Herman, P.M.J., J.J.S. Moons, J.W.M. Wijsman, A. Luijndijk en T. Ysebaert (2021). A mega-nourishment (Sand Motor) affects landscape diversity of subtidal benthic fauna. *Frontiers in Marine Science* 8:20.
- Hillebrand, H., B. Blasius, E.T. Borer, J.M. Chase, J.A. Downing, B.K. Eriksson, C.T. Filstrup, W.S. Harpole, D. Hodapp, S. Larsen, A.M. Lewandowska, E.W. Seabloom, D.B. Van de Waal en A.B. Ryabov (2018). Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: Consequences for conservation and monitoring. *Journal of Applied Ecology* 55:169-184.
- Holzhauer, H., B.W. Borsje, J.A. Van Dalfsen, K.M. Wijnberg, S.J.M.H. Hulscher en P.M.J. Herman (2020). Benthic species distribution linked to morphological features of a barred coast. *Journal of Marine Science and Engineering* 8.
- Holzhauer, H., T. Vanagt, K. Lock, M.C. Van Oeveren, A. De Backer, K. Hostens, J.A. Van Dalfsen en J. Reinders (2014). Ecologische effecten suppletie Ameland 2009-2012 Interim rapportage ihkv KPP B&O Kust Ecologie. Deltares. 211 paginas.
- Huisman, B.A., J.W.M. Wijsman, B. Arens, C.T.M. Vertegaal, L. Van Der Valk, S.C. Van Donk, H.S.I. Vreugdenhill en M.D. Taal (2021). Zandmotor in perspectief. Samenvattende rapportage van het Monitoring- en Evaluatie Programma (MEP). Deltares. Rapport nummer: 11201431-003-ZKS-0010. 80 paginas.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Uitgangspunten totstandkoming programma Suppletie programma Kustlijnzorg. 2 paginas.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2018). Basiskustlijn 2017. Herziening van de ligging van de basiskustlijn. 29 paginas.
- Newell, R.C., L.J. Seiderer, N.M. Simpson en J.E. Robinson (2004). Impacts of marine aggregate dredging on benthic macrofauna off the South Coast of the United Kingdom. *Journal of Coastal Research* 20:115-125.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M. Henry, H. Stevens, E. Szoecs en H. Wagner (2020). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rabaut, M., U. Braeckman, F. Hendrickx, M. Vincx en S. Degraer (2008). Experimental beam-trawling in *Lanice conchilega* reefs: Impact on the associated fauna. *Fisheries Research* 90:209-216.
- Rijkswaterstaat (2014). Locatie specifieke passende beoordeling zandwinning, zandtransport & zandsuppletie Callantsoog. Deel II. 36 paginas.
- Taal, M.D., M.A.M. Löffler, C.T.M. Vertegaal, J.W.M. Wijsman, B. Van Der Valk en P.K. Tonnon (2016). Ontwikkeling van de Zandmotor. Samenvattende rapportage over de eerste vier jaar van het Monitoring en Evaluatie Programma (MEP). Deltares. 61 paginas.
- Underwood, A.J. (1992). Beyond BACI: The detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161:145-178.
- Van Dalfsen, J.A. en K. Essink (1997). Risk analysis of coastal nourishment techniques in The Netherlands. RIKZ. Rapport nummer: RIKZ-97.022. 98 paginas.

- 
- Van der Spek, A.J.F., A.C. De Kruijf en R. Spanhoff (2007). Richtlijnen onderwatersuppleties. RIKZ. Rapport nummer: 2007.012. 52 paginas.
- Vergouwen, S.A. en H. Meijer-Holzhauer (2016). Ontwikkeling van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie. Case studie Ameland en Schiermonnikoog 2009-2014. Deltares. 111 paginas.
- Wijsman, J.W.M. (2016). Memo: Meerjarige Spisulabanken diepe vooroeversuppletie Callantsoog 2016. Wageningen Marine Research. 3 paginas.
- Wijsman, J.W.M. en J. Craeymeersch (2016). Effect van diepe vooroeversuppletie bij Callantsoog op de benthosgemeenschap. Resultaat T0 bemonstering najaar 2015. IMARES. Rapport nummer: C058/16. 43 paginas.
- Wijsman, J.W.M., J. Craeymeersch en D. Gerla (2017). Effect van diepe vooroeversuppletie bij Callantsoog op de benthosgemeenschap. Resultaat T<sub>0</sub> bemonstering najaar 2016. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C071/17. 49 paginas.
- Wijsman, J.W.M., J.A. Craeymeersch en P.M.J. Herman (Submitted). Comparing grab and dredge sampling for shoreface benthos using ten years of monitoring data from the Sand Motor mega nourishment.
- Wijsman, J.W.M., D. Van den Ende en E. Brummelhuis (2020). Bodemdiergemeenschap van de vooroever en het natte strand van de Zandmotor in het najaar van 2019. Wageningen Marine Research, Yerseke. Rapport nummer: C084/20. 107 paginas.
- Withaker, D. en M. Christman (2014). clustsig: significant cluster analysis. R package version 1.1.



---

# Verantwoording

Rapport C036/22

Projectnummer: 4313100012

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. Johan Craeymeersch  
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 07-07-2022

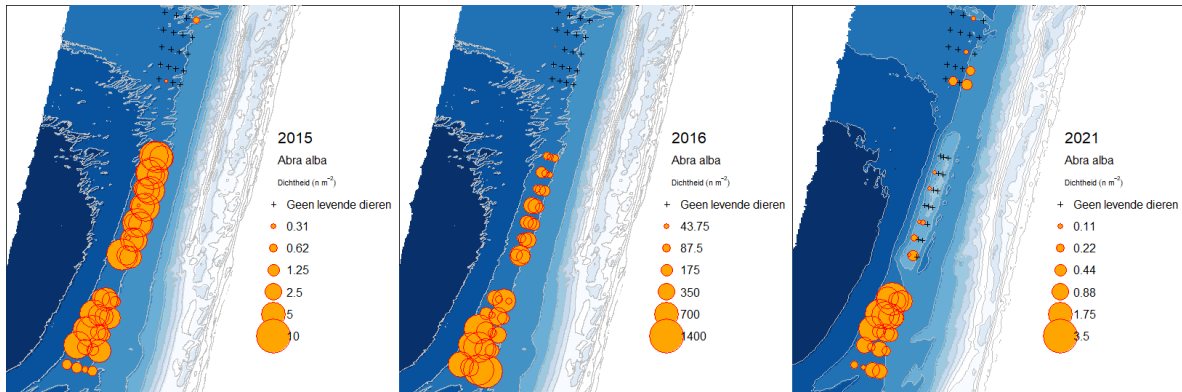
Akkoord: Dr. Tammo Bult  
Directeur Wageningen Marine Research

Handtekening:

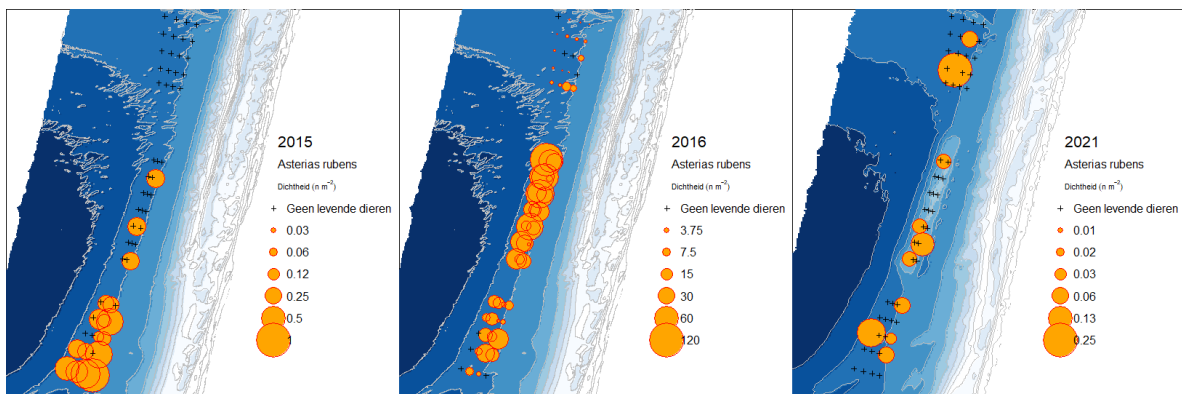


Datum: 07-07-2022

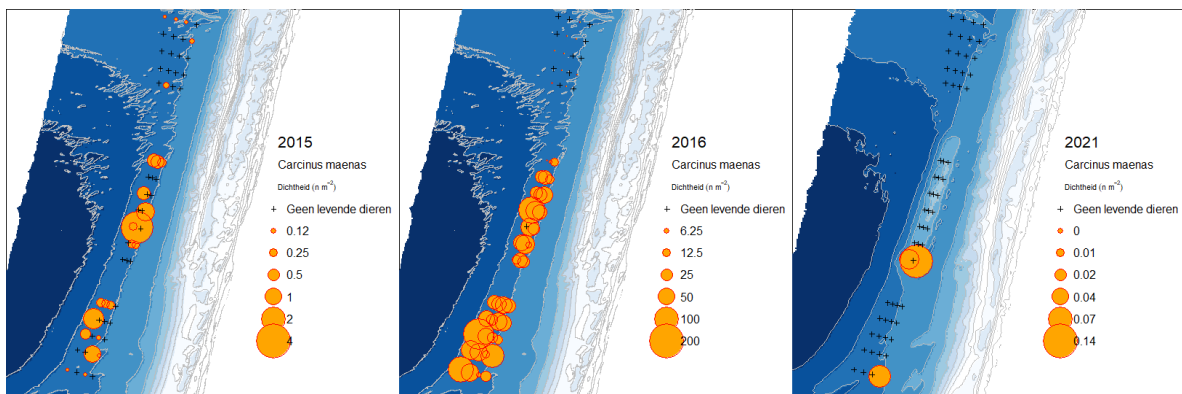
# Bijlage 1 Verspreidingskaarten van een aantal bodemdieren in de schaaft



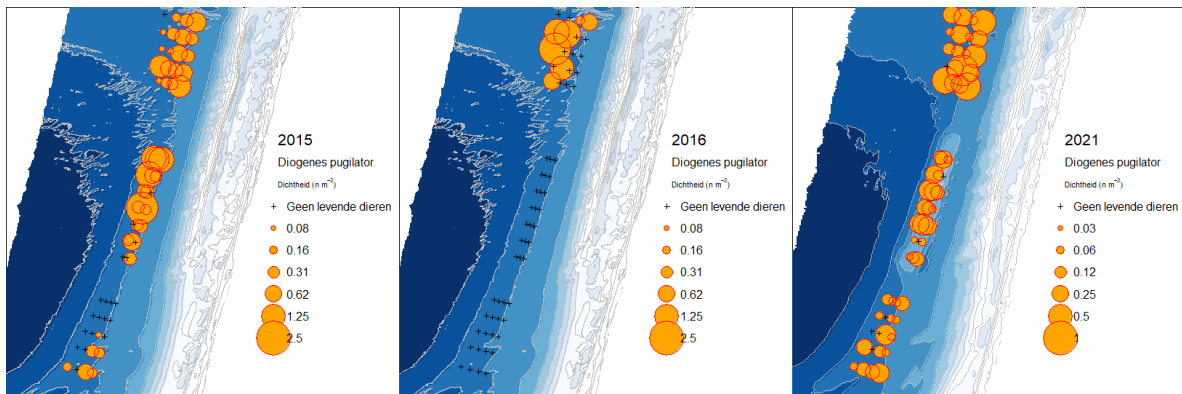
Figuur 42: Verspreiding van *Abra alba* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



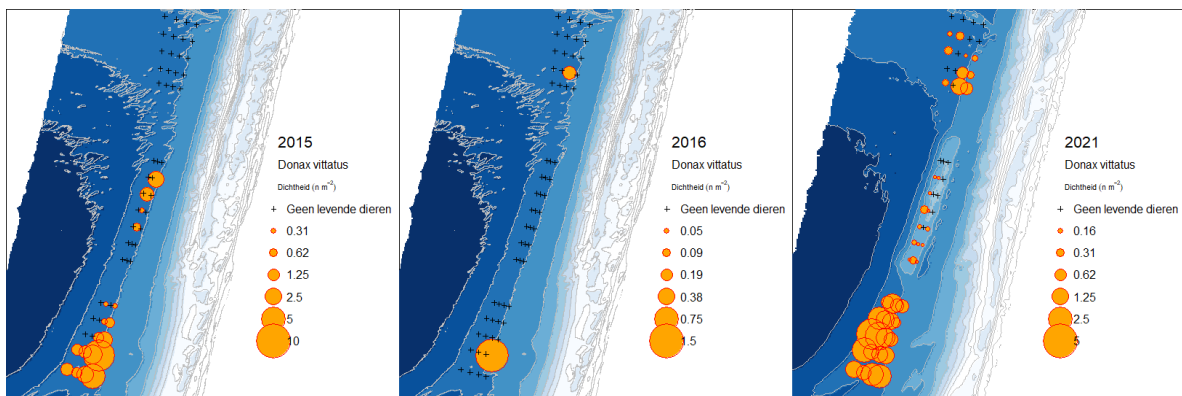
Figuur 43: Verspreiding van *Asterias rubens* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



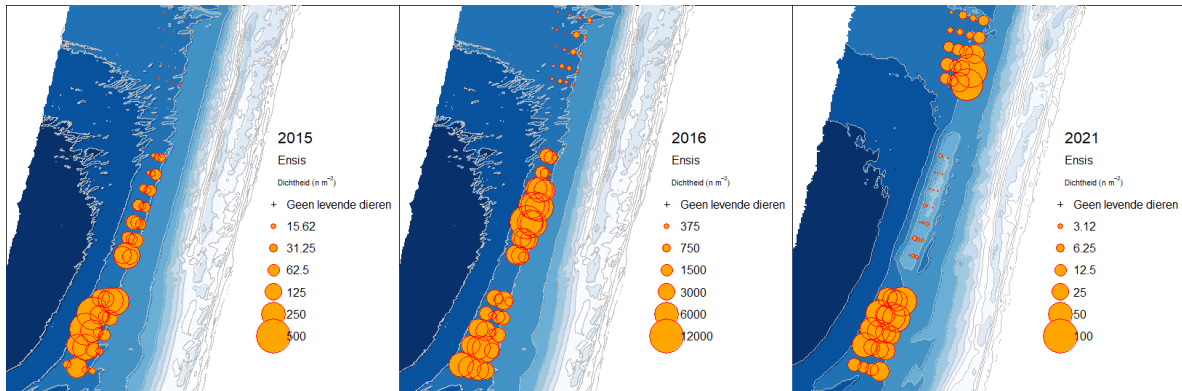
Figuur 44: Verspreiding van *Carcinus maenas* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



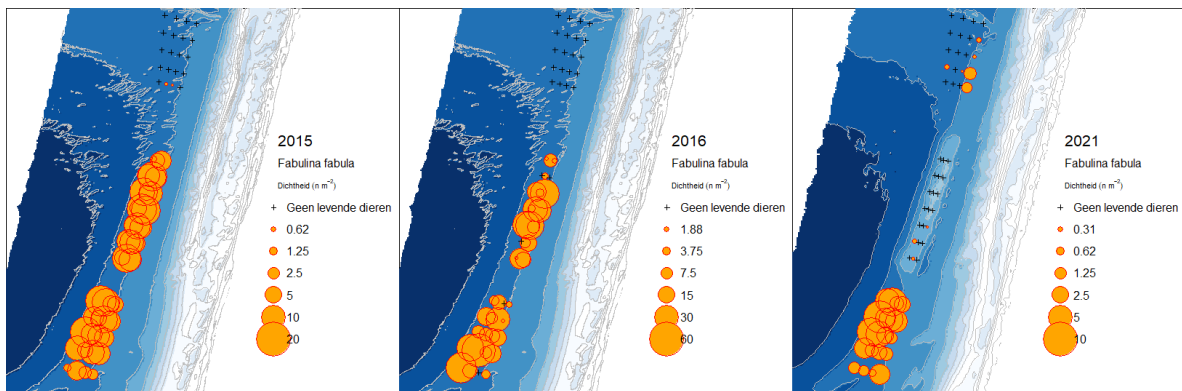
Figuur 45: Verspreiding van *Diogenes pugilator* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



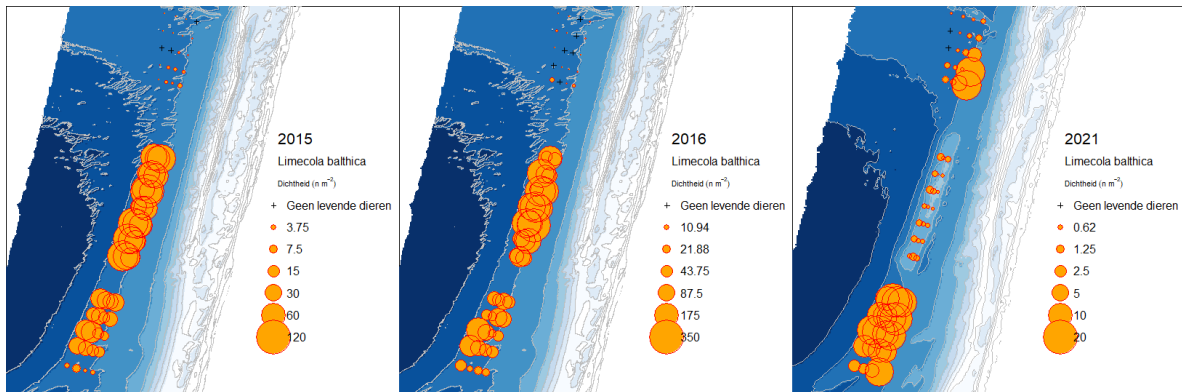
Figuur 46: Verspreiding van *Donax vittatus* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



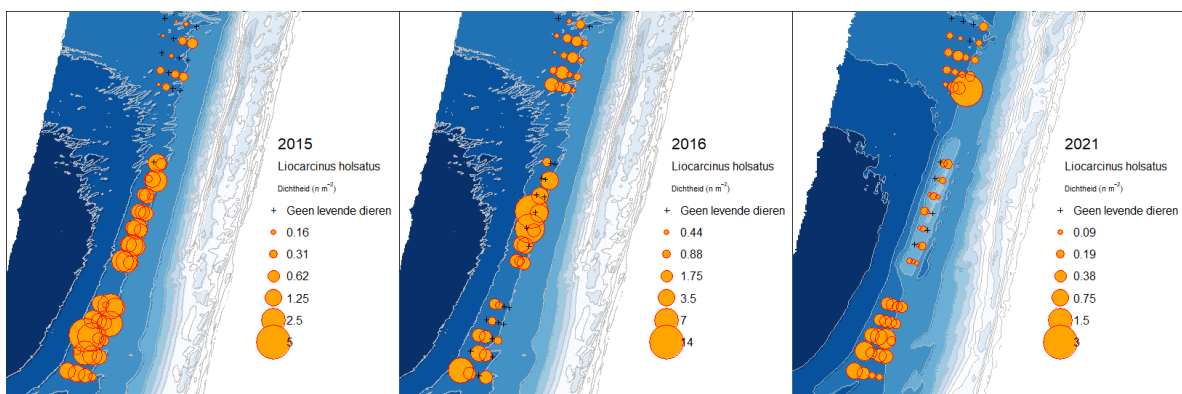
Figuur 47: Verspreiding van *Ensis* spp. in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



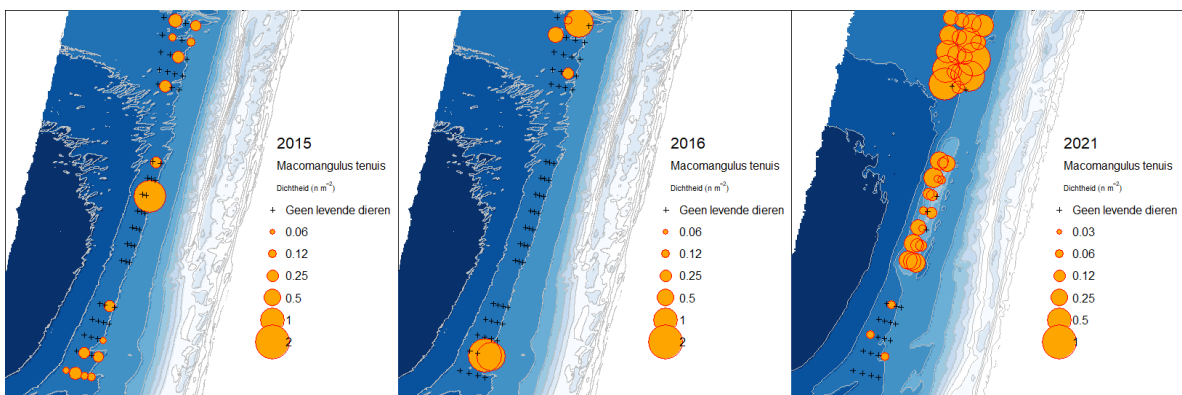
Figuur 48: Verspreiding van *Fabulina fabula* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



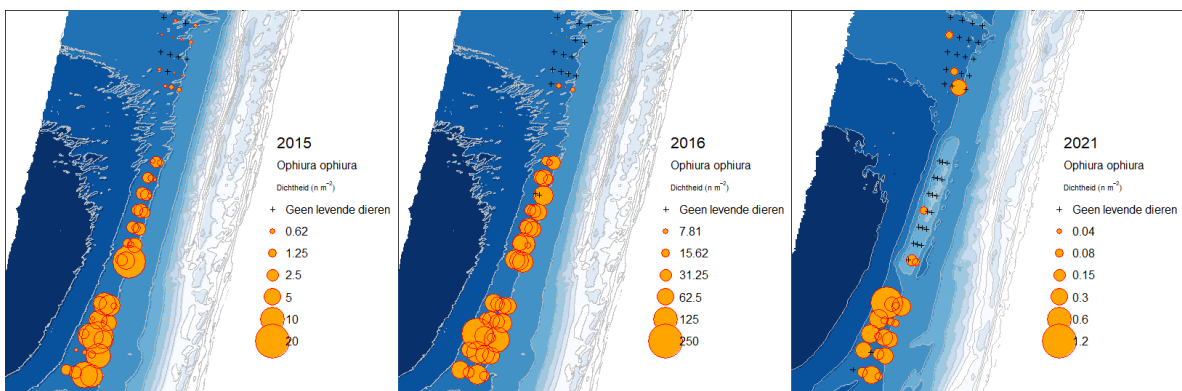
Figuur 49: Verspreiding van *Limecola balthica* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



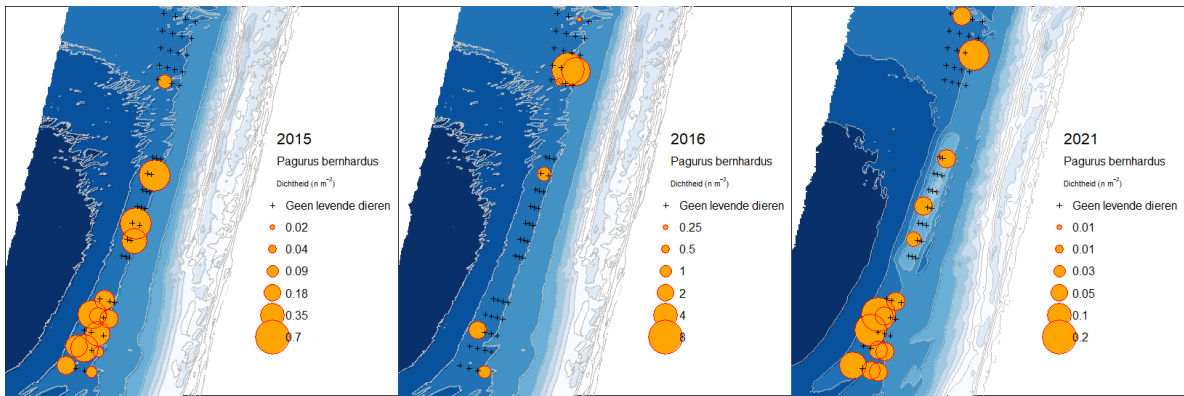
Figuur 50: Verspreiding van *Liocarcinus holsatus* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



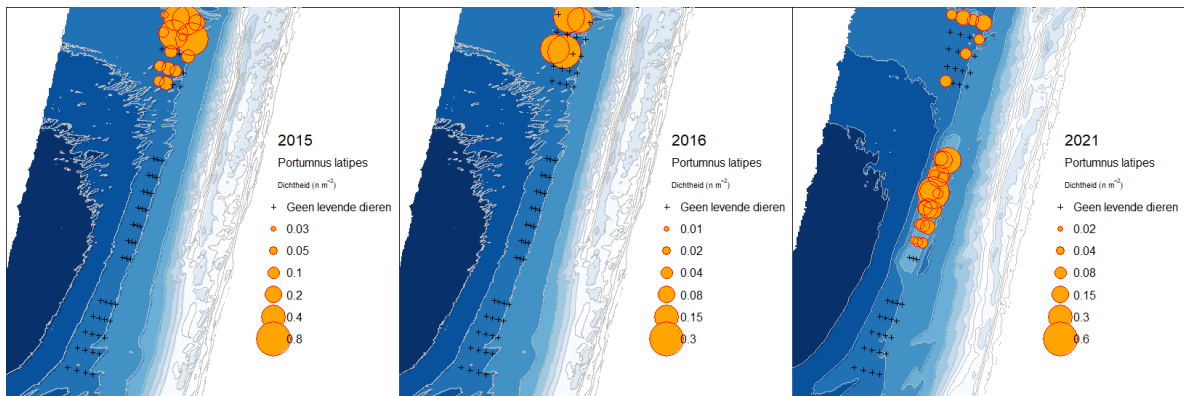
Figuur 51: Verspreiding van *Macomangulus tenuis* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



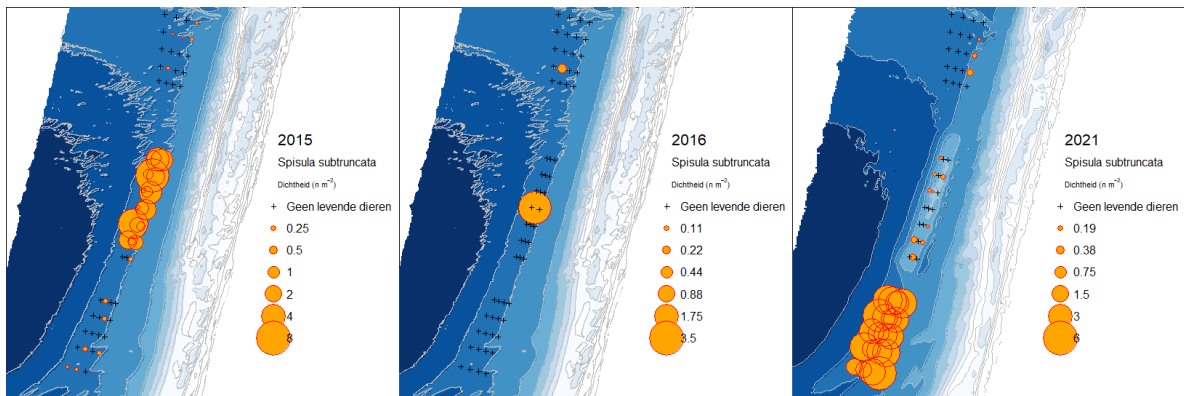
Figuur 52: Verspreiding van *Ophiura ophiura* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).



Figuur 53: Verspreiding van *Pagurus bernhardus* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).

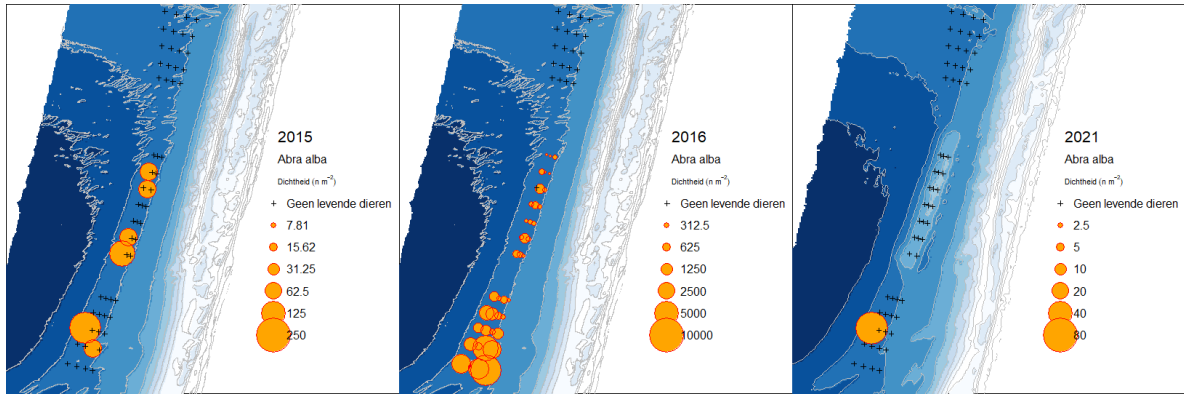


Figuur 54: Verspreiding van *Portunus latipes* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).

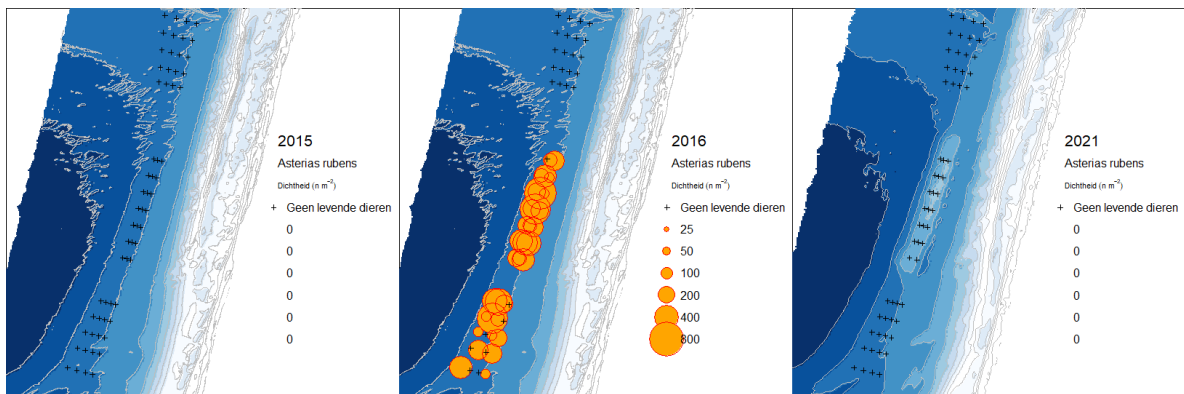


Figuur 55: Verspreiding van *Spisula subtruncata* in de bodemschaaf (schaalverdeling varieert).

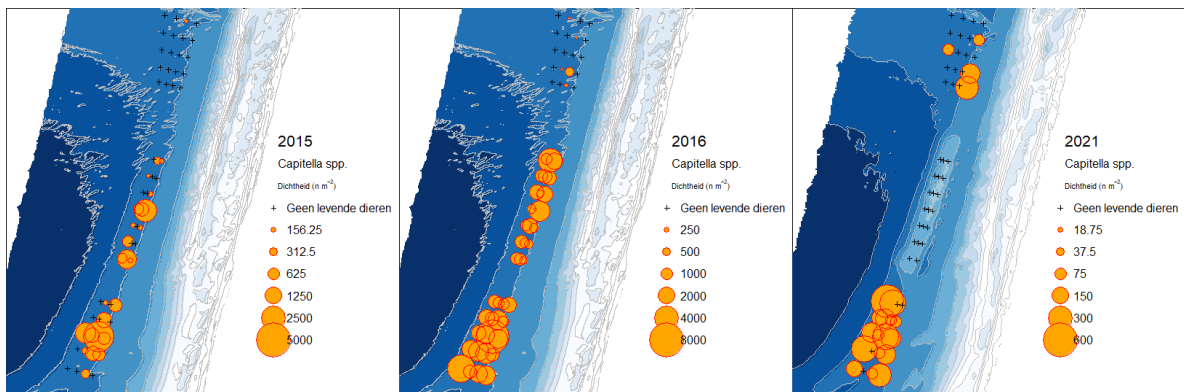
## Bijlage 2 Verspreidingskaarten van een aantal bodemdieren (data box-corer)



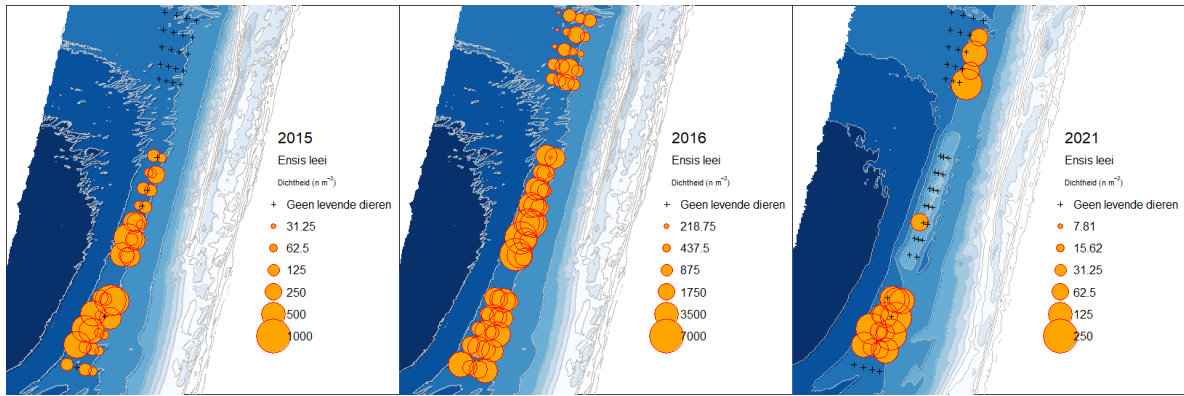
Figuur 56: Verspreiding van *Abra alba* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



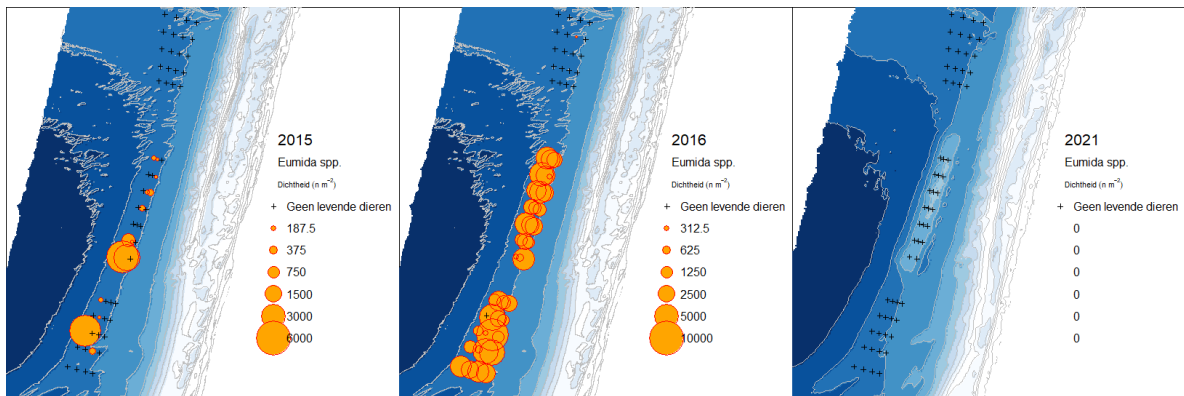
Figuur 57: Verspreiding van *Asterias rubens* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



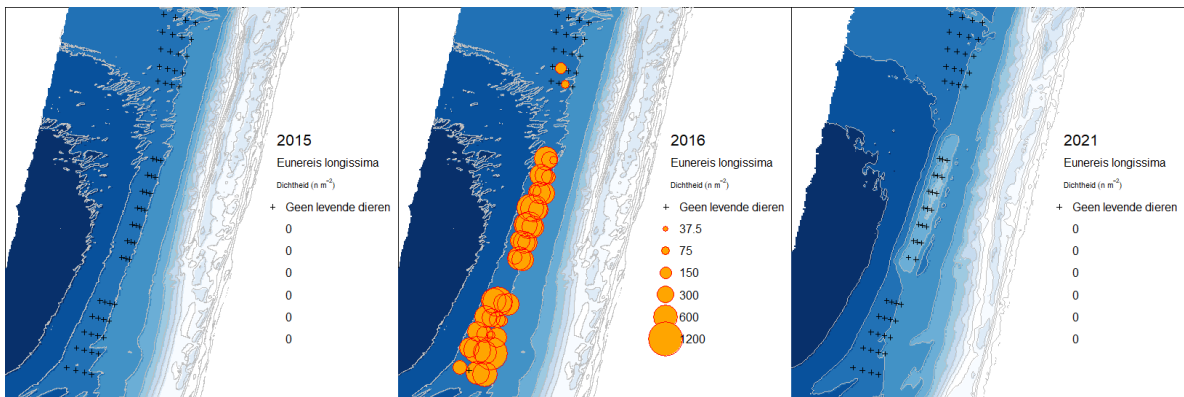
Figuur 58: Verspreiding van *Capitella spp.* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



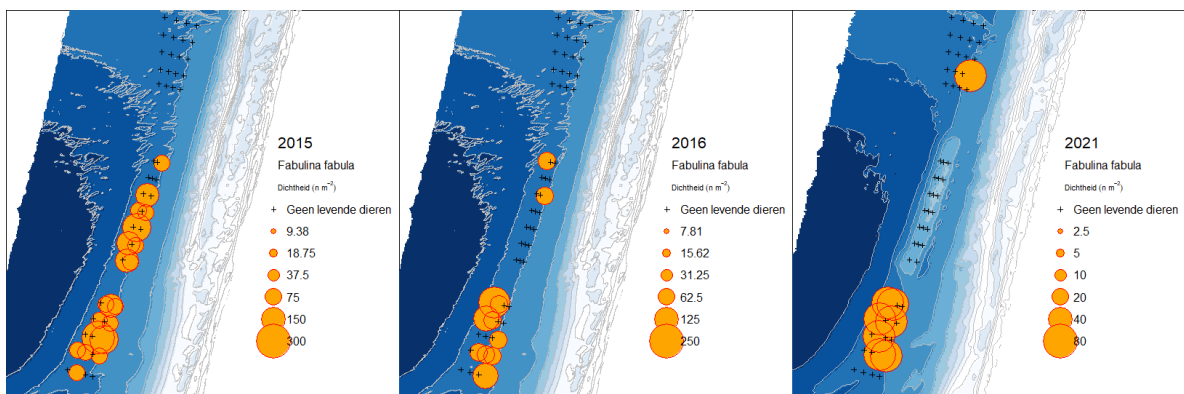
Figuur 59: Verspreiding van *Ensis leei* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



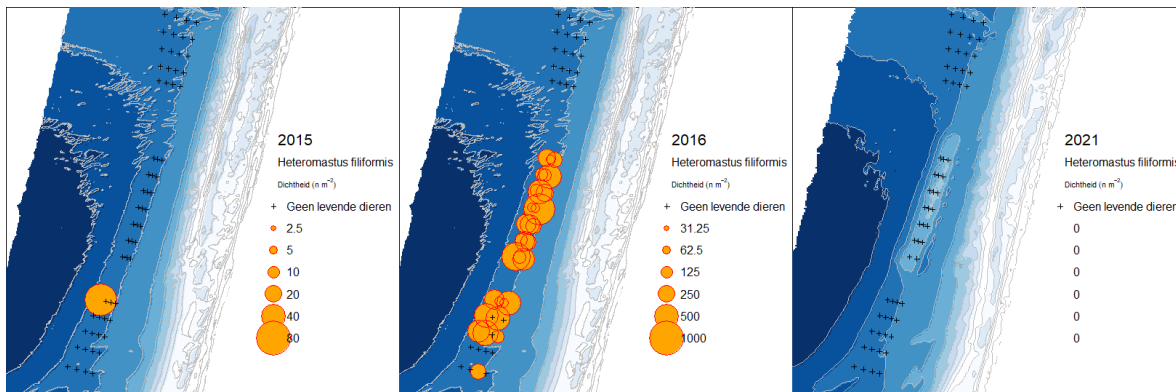
Figuur 60: Verspreiding van *Eumida spp.* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



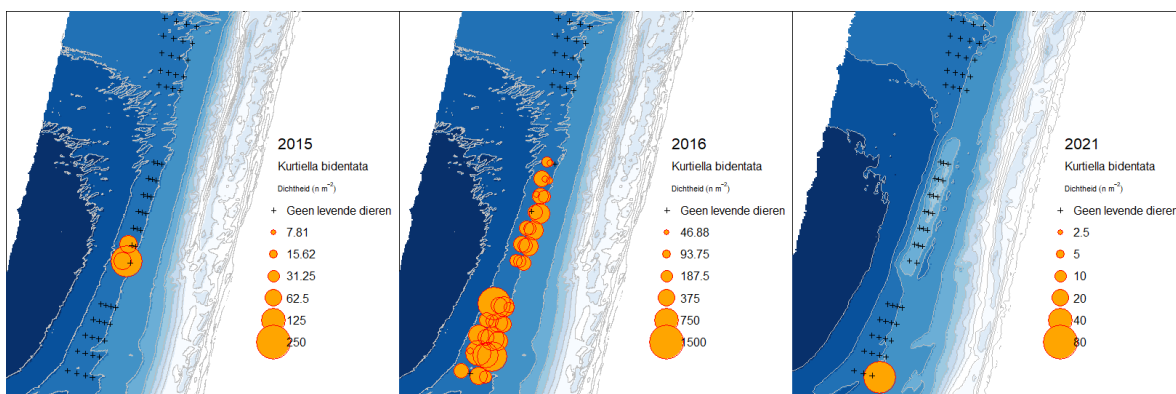
Figuur 61: Verspreiding van *Eunereis longissima* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



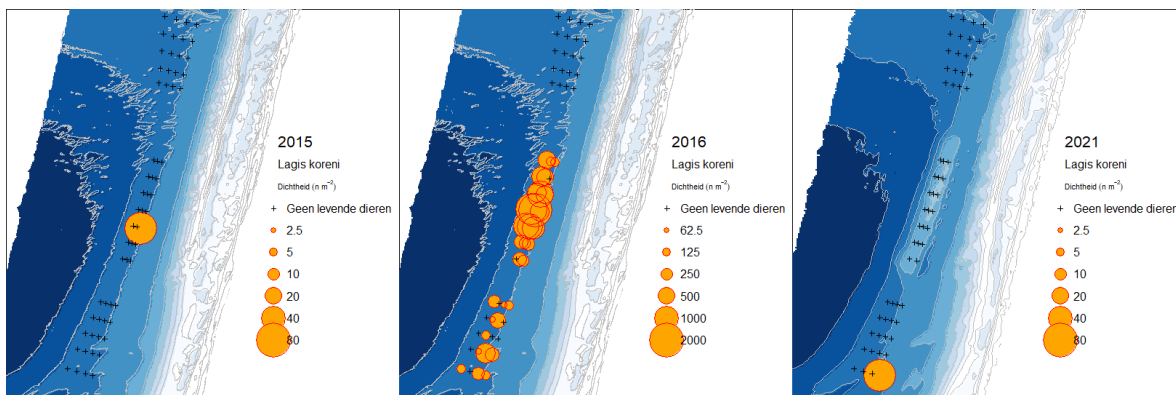
Figuur 62: Verspreiding van *Fabulina fabula* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



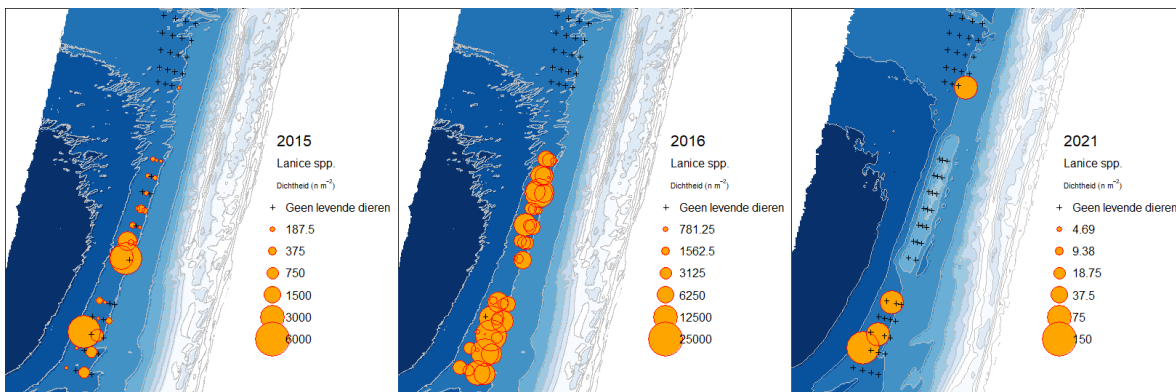
Figuur 63: Verspreiding van *Heteromastus filiformis* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



Figuur 64: Verspreiding van *Kurtiella bidentata* in de box-corer (schaalverdeling varieert).

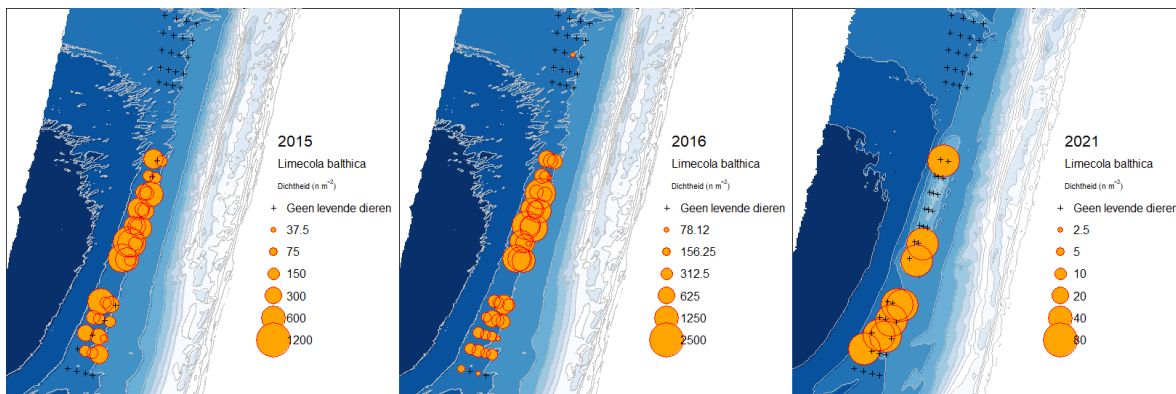


Figuur 65: Verspreiding van *Lagis koreni* in de box-corer (schaalverdeling varieert).

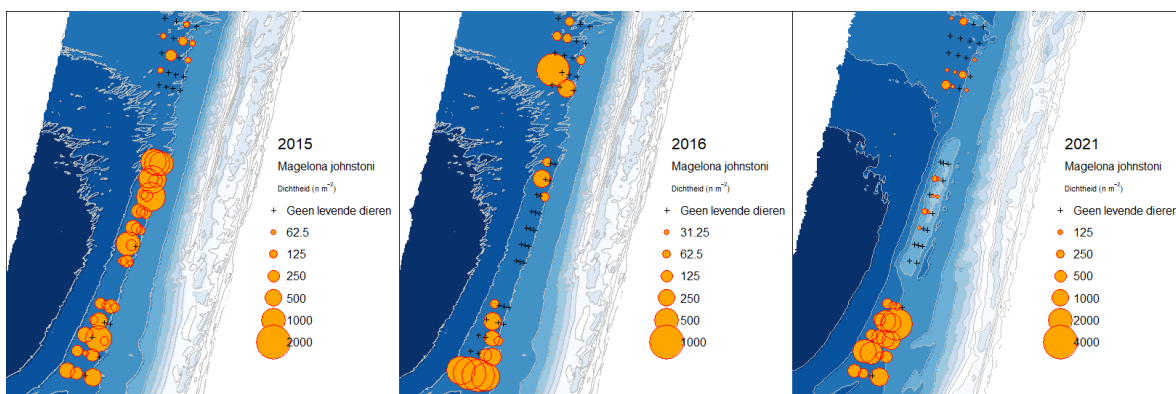


Figuur 66: Verspreiding van *Lanice spp.* in de box-corer (schaalverdeling varieert).

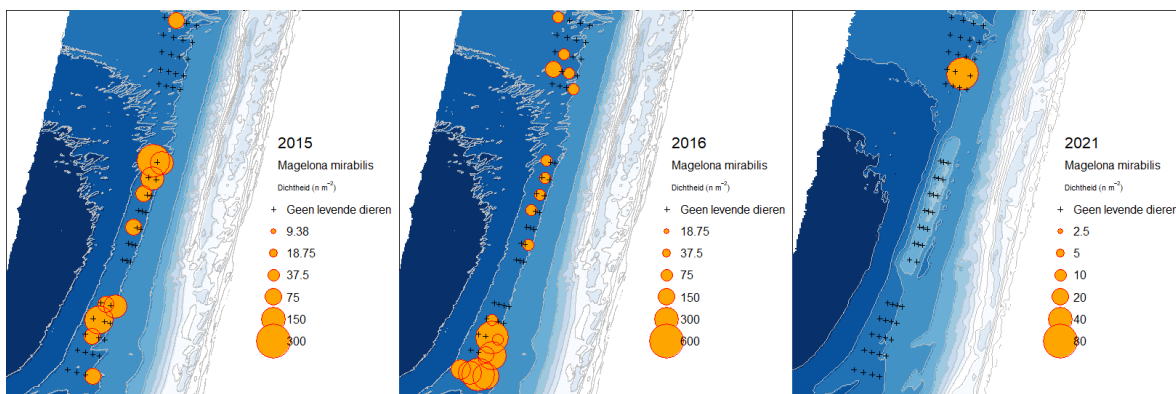




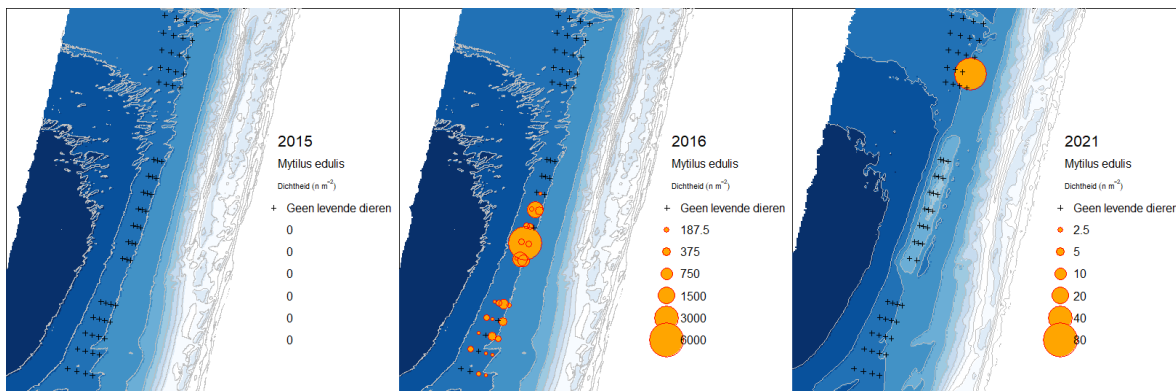
Figuur 67: Verspreiding van *Limecola balthica* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



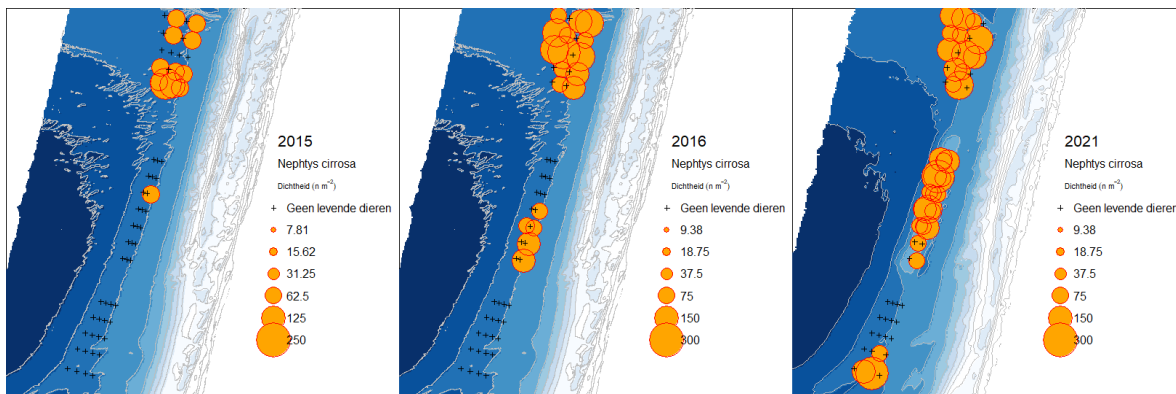
Figuur 68: Verspreiding van *Magelona johnstoni* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



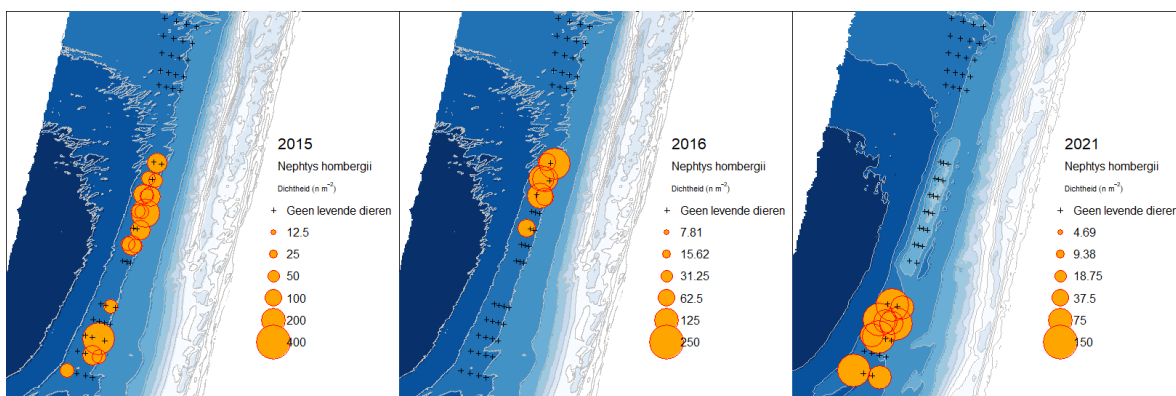
Figuur 69: Verspreiding van *Magelona mirabilis* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



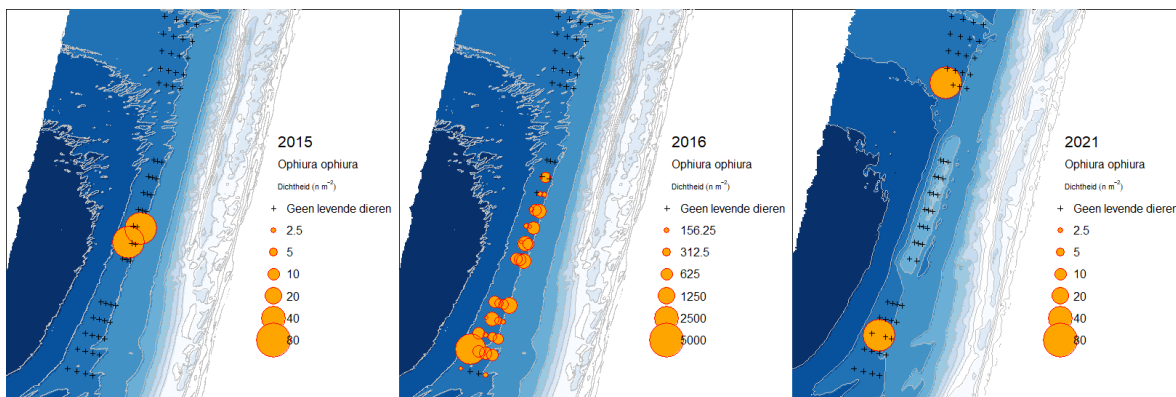
Figuur 70: Verspreiding van *Mytilus edulis* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



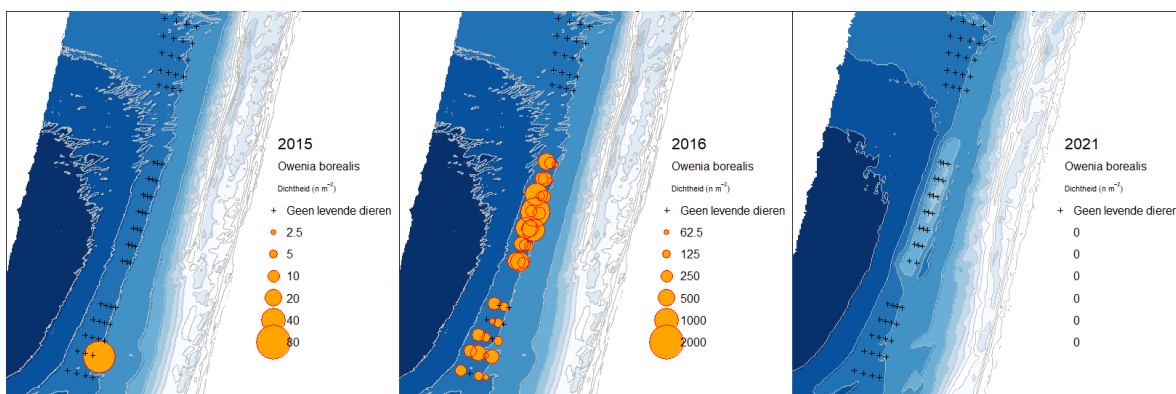
Figuur 71: Verspreiding van *Nephtys cirrosa* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



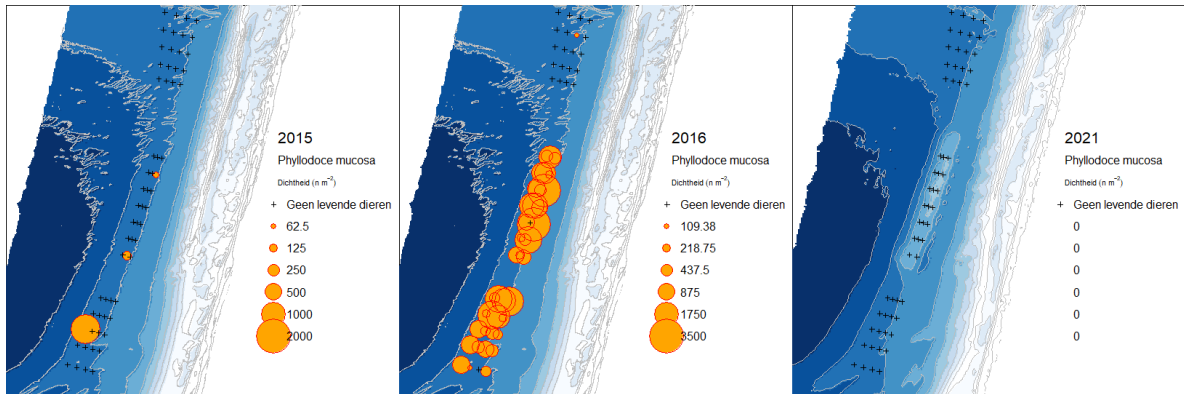
Figuur 72: Verspreiding van *Nephtys hombergii* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



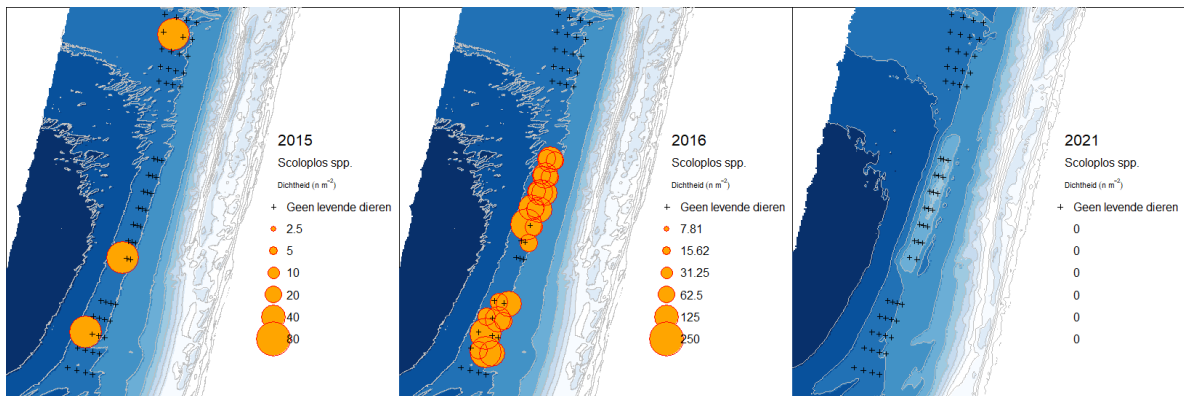
Figuur 73: Verspreiding van *Ophiura ophiura* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



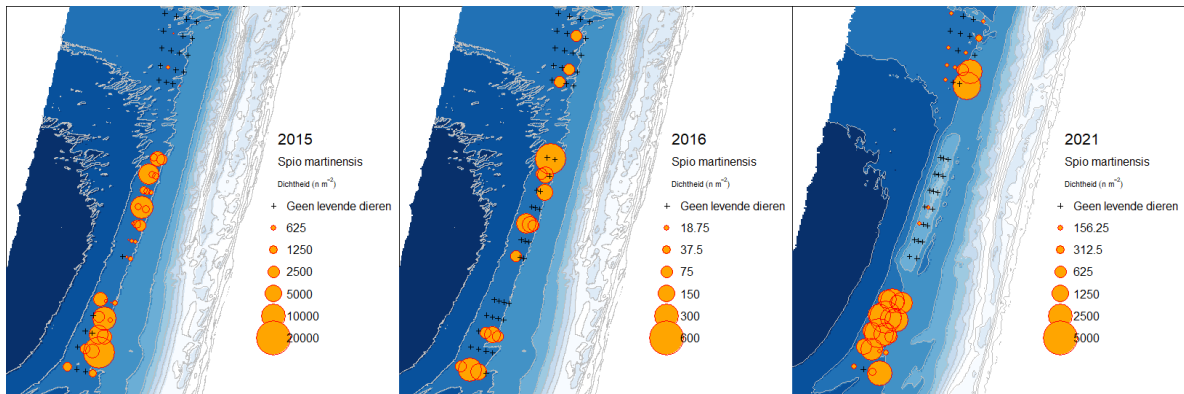
Figuur 74: Verspreiding van *Owenia borealis* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



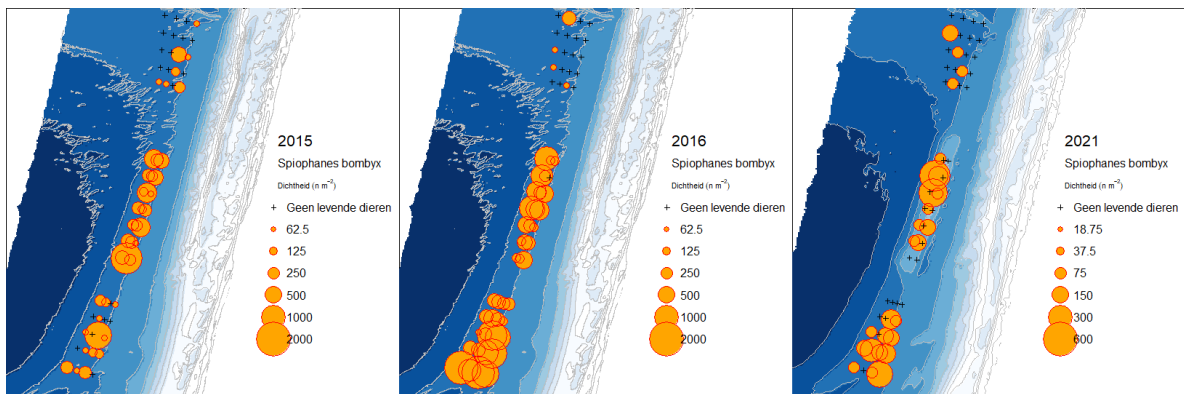
Figuur 75: Verspreiding van *Phyllodoce mucosa* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



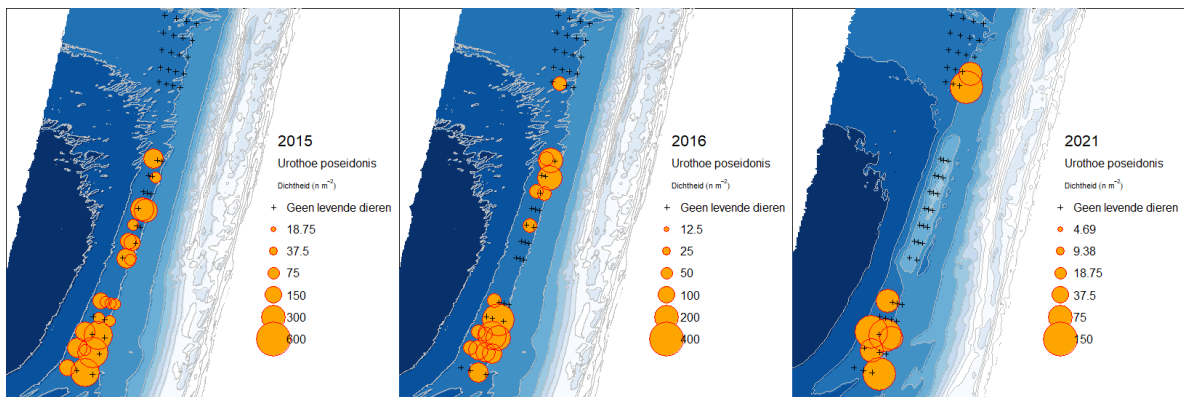
Figuur 76: Verspreiding van *Scoloplos spp.* in de box-corer (schaalverdeling varieert).



Figuur 77: Verspreiding van *Spio martinensis* in de box-corer (schaalverdeling varieert).

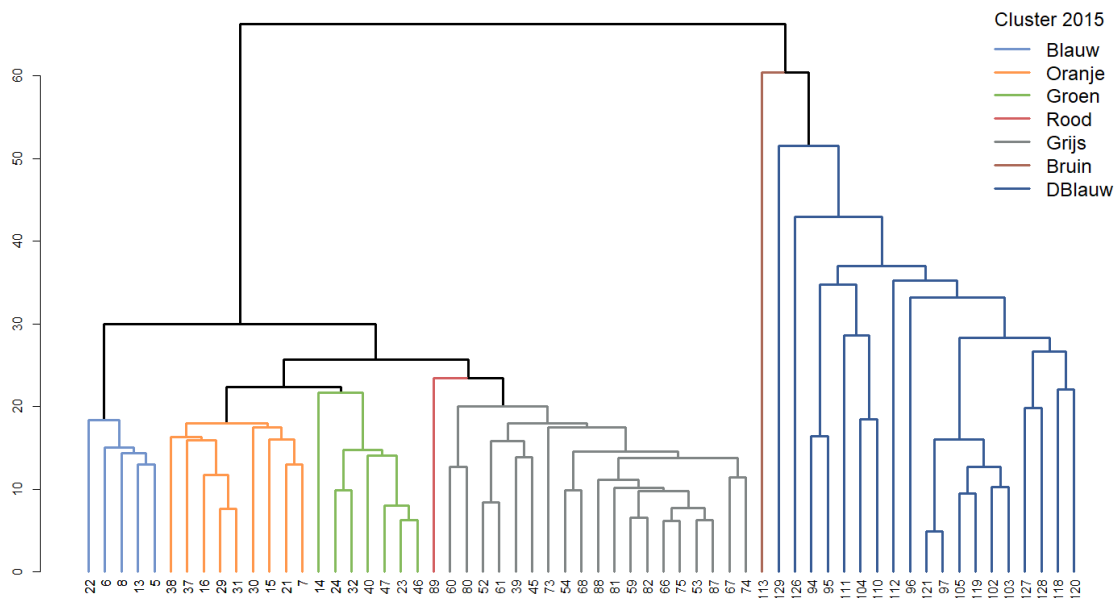


Figuur 78: Verspreiding van *Spiophanes bombyx* in de box-corer (schaalverdeling varieert).

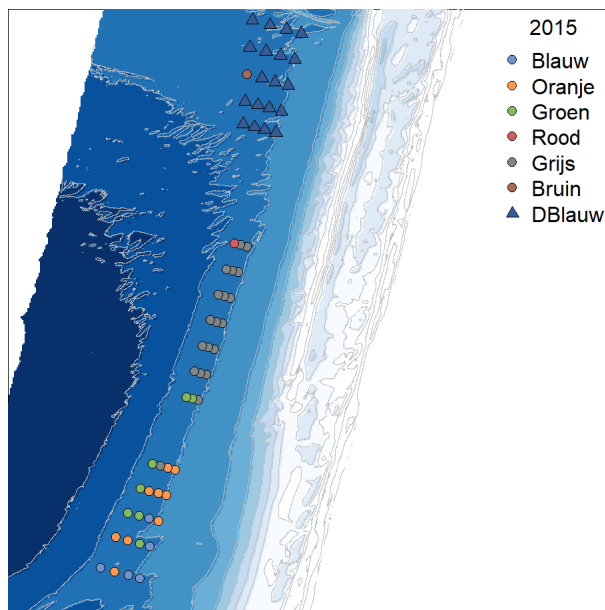


Figuur 79: Verspreiding van *Urothoe poseidonis* in de box-corer (schaalverdeling varieert).

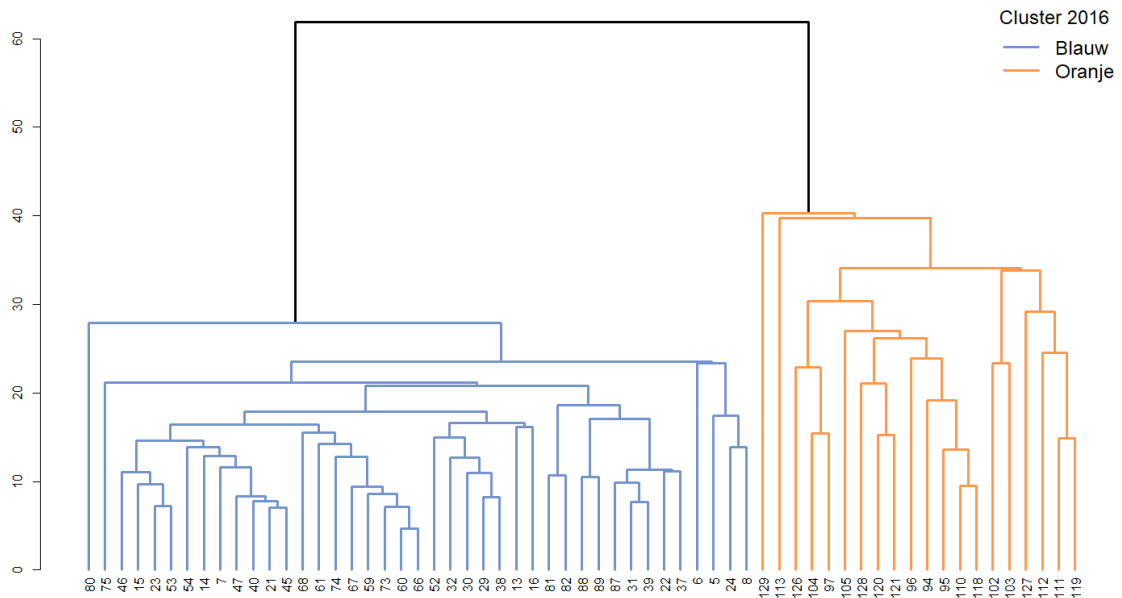
# Bijlage 3 Clusterdiagrammen schaafdata 2015 en 2016



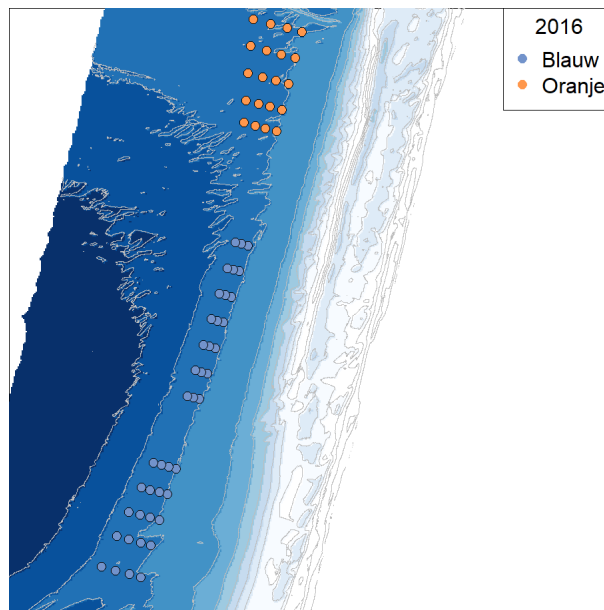
Figuur 80: Clusterdiagram van de schaafmonsters uit 2015. De kleuren geven de (7) significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers zijn onder aan de figuur weergegeven.



Figuur 81: Ruimtelijke verspreiding van de 7 significante clusters in 2015. De kleuren van de bolletjes komen overeen met de kleuren van clusters in Figuur 80.

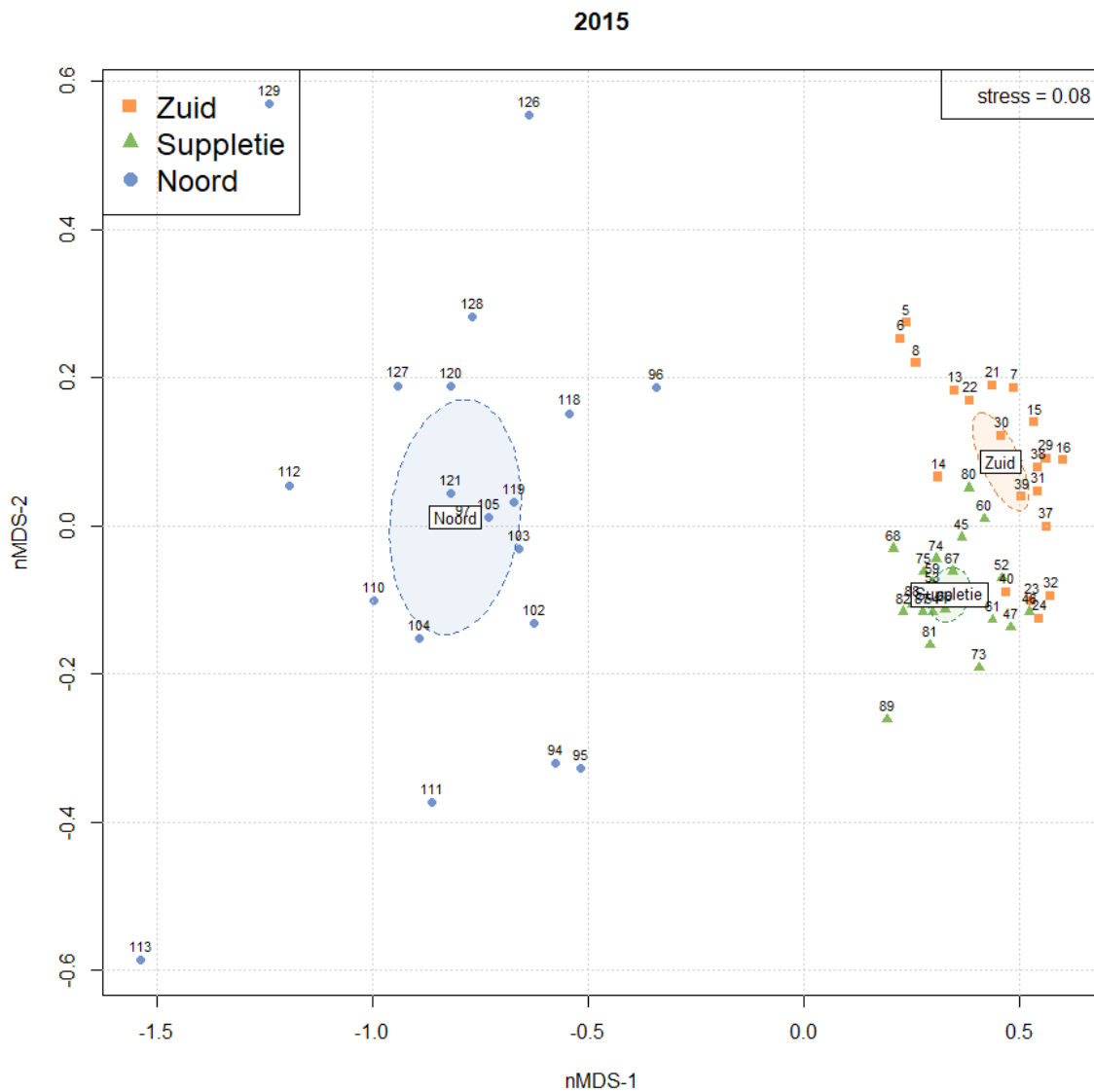


Figuur 82: Clusterdiagram van de schaaftmonsters uit 2016. De kleuren geven de (2) significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers zijn onder aan de figuur weergegeven.

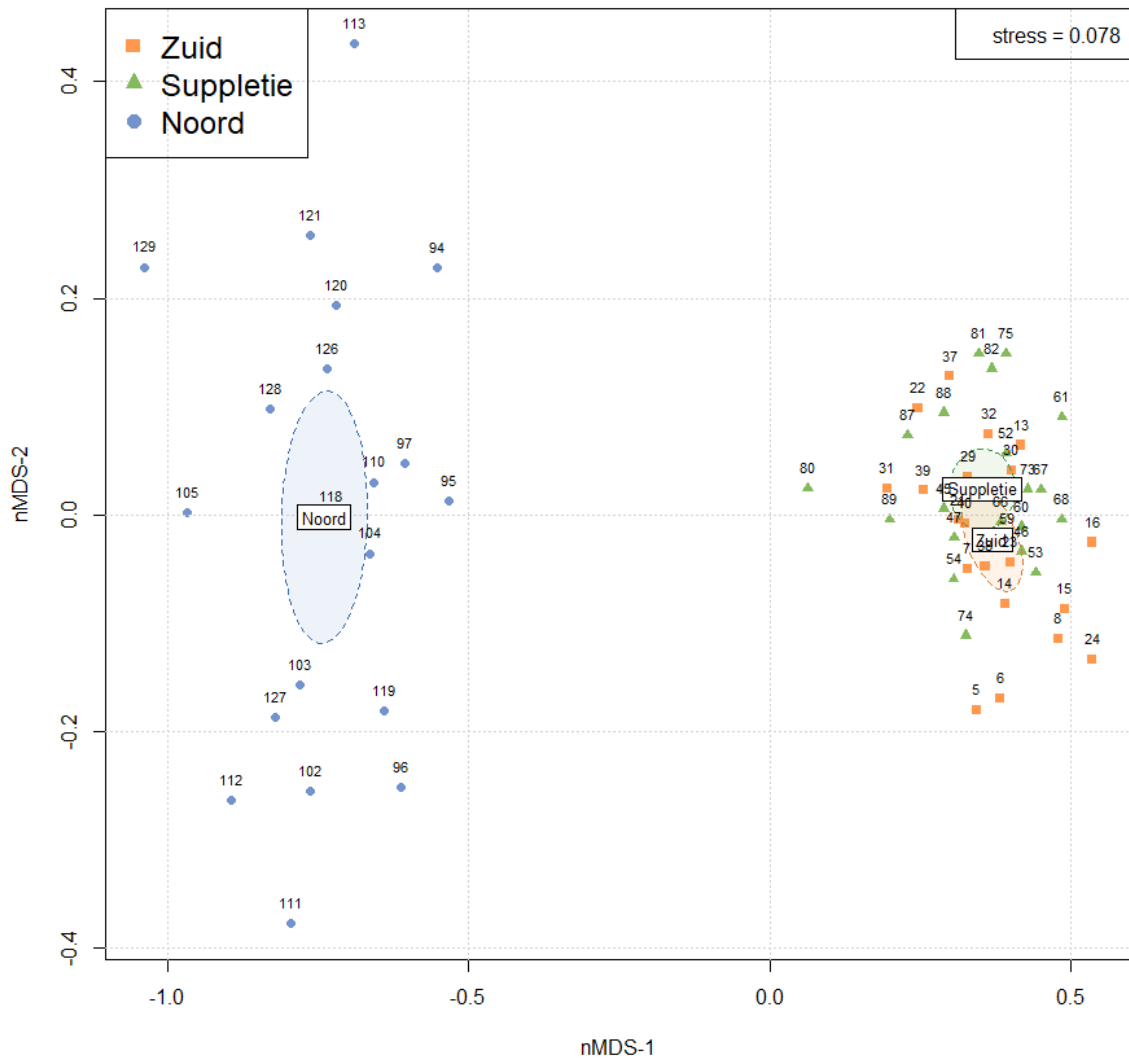


Figuur 83: Ruimtelijke verspreiding van de 2 significante clusters in 2016. De kleuren van de bolletjes komen overeen met de kleuren van clusters in Figuur 82.

# Bijlage 4 nMDS plots schaaftdata 2015 en 2016



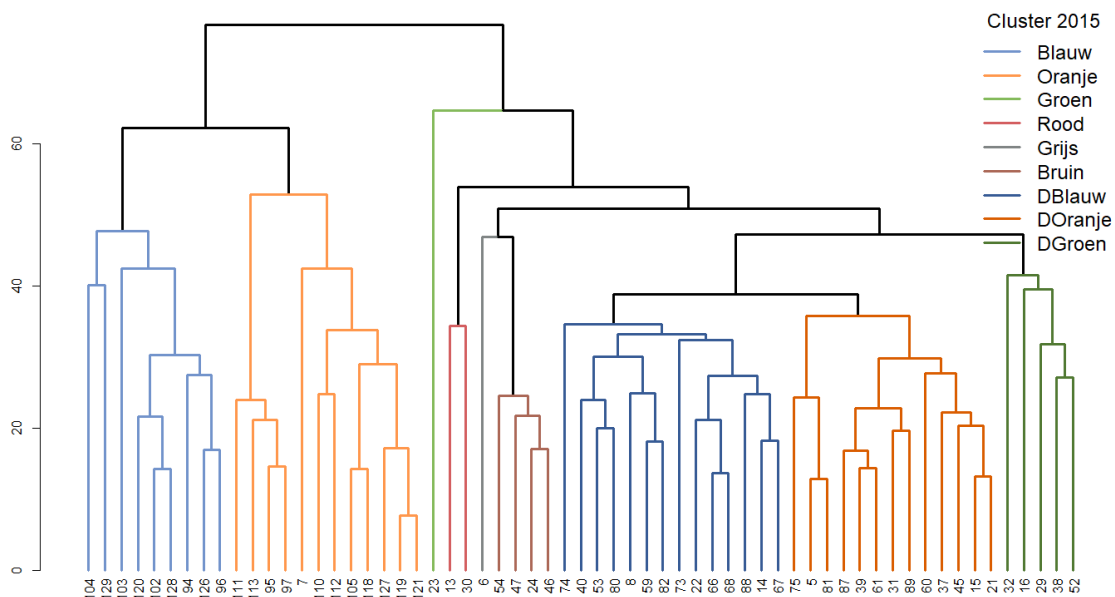
*Figuur 84: nMDS plot van de gegevens van de schaaftmonsters uit 2015. De cijfers geven de stationnummers aan, waarbij de markers aangeven in welk deelgebied de stations liggen (Zuid, Suppletie en Noord). De polygonen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van respectievelijk de deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord.*



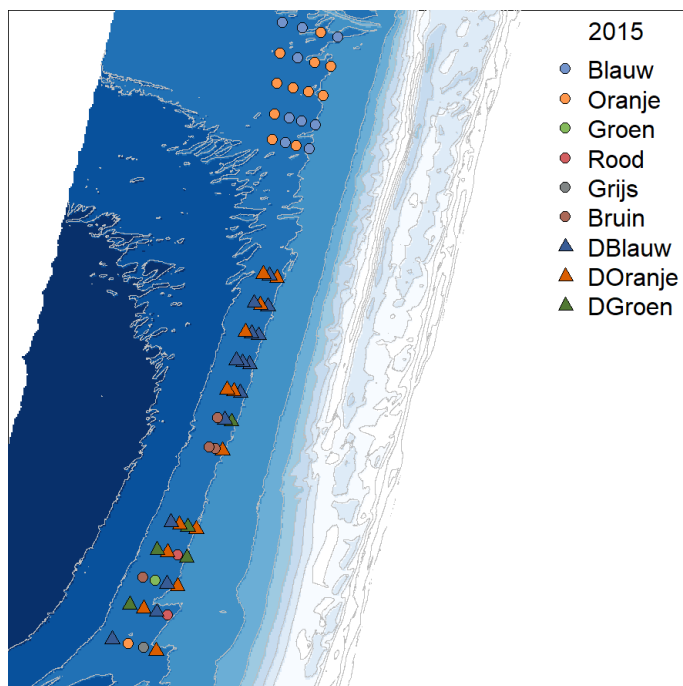
*Figuur 85: nMDS plot van de gegevens van de schaaftmonsters uit 2016. De cijfers geven de stationnummers aan, waarbij de markers aangeven in welk deelgebied de stations liggen (Zuid, Suppletie en Noord). De polygonen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van respectievelijk de deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord.*



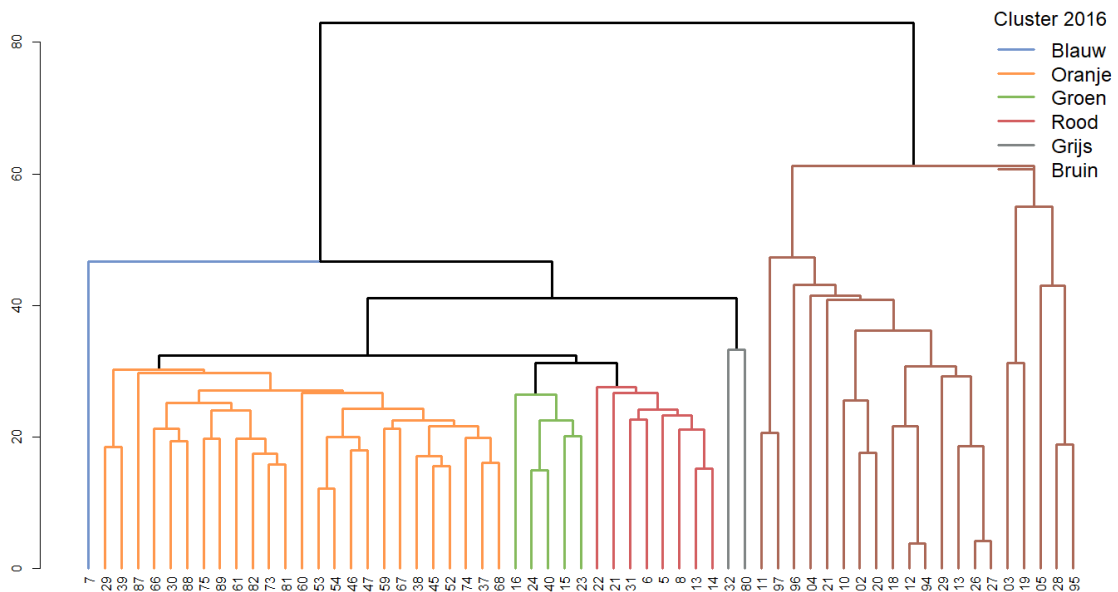
# Bijlage 5 Clusterdiagrammen data box-corer 2015 en 2016



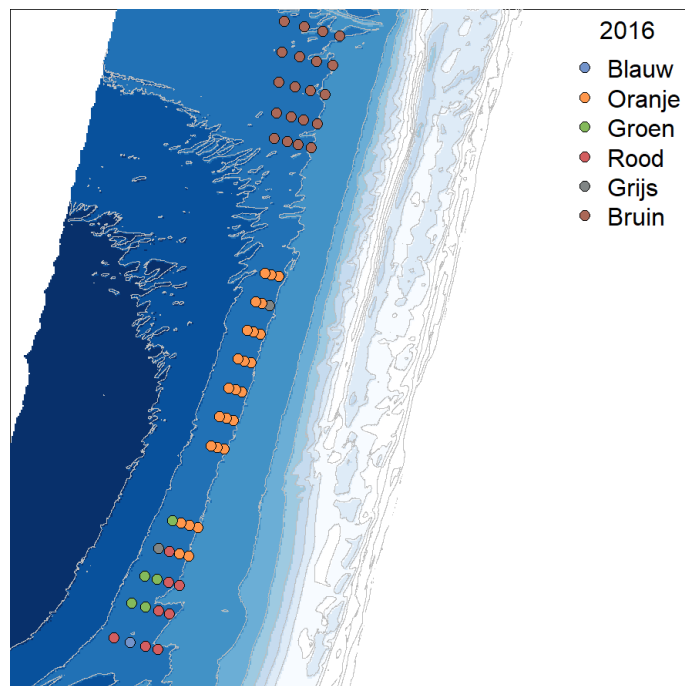
Figuur 86: Clusterdiagram van de box-corer monsters uit 2015. De kleuren geven de (9) significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers zijn onder aan de figuur weergegeven.



Figuur 87: Ruimtelijke verspreiding van de 9 significante clusters in 2015. De kleuren van de bolletjes komen overeen met de kleuren van clusters in Figuur 86.

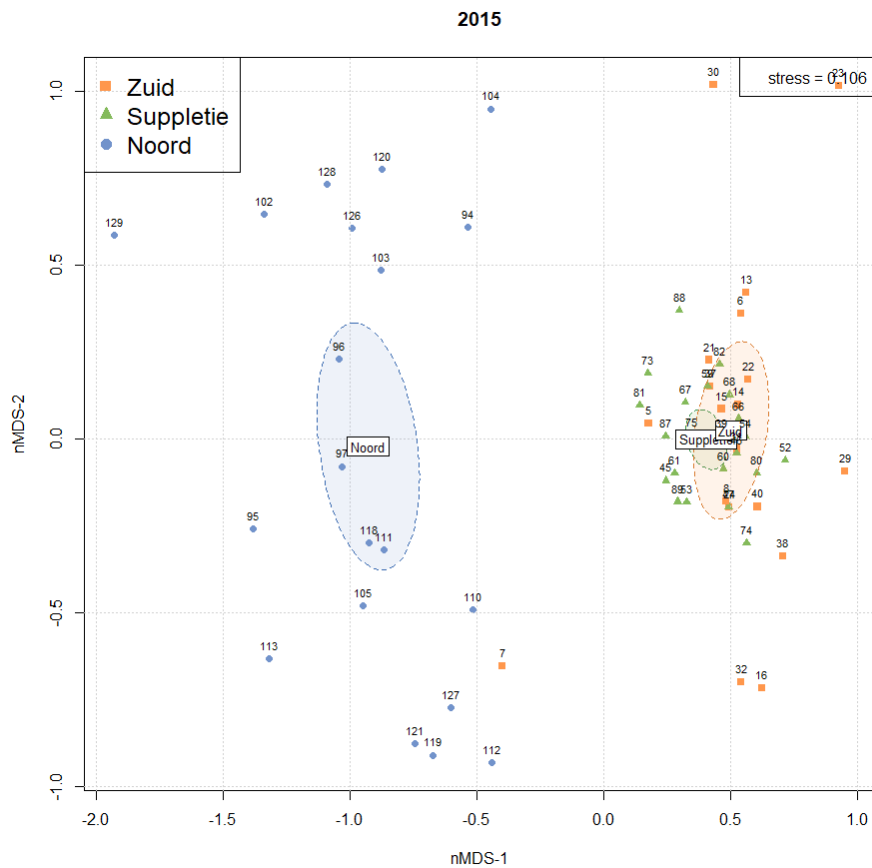


Figuur 88: Clusterdiagram van de box-corer monsters uit 2016. De kleuren geven de (6) significante clusters weer (SIMPROF test  $\alpha = 0.05$ ). De stationnummers zijn onder aan de figuur weergegeven.



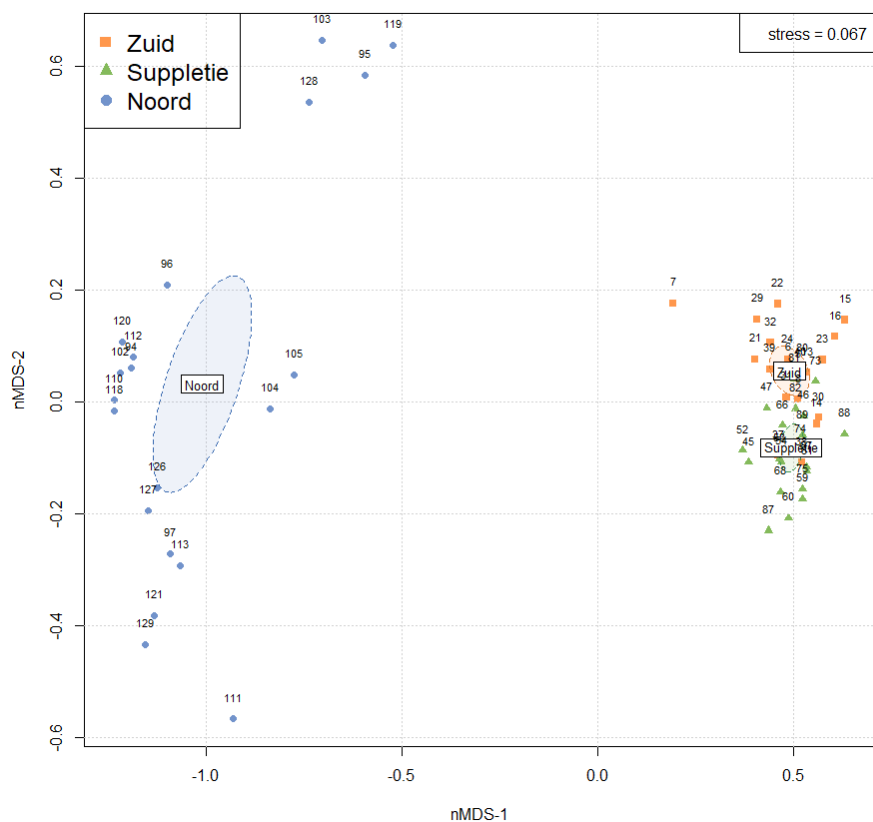
Figuur 89: Ruimtelijke verspreiding van de 6 significante clusters in 2016. De kleuren van de bolletjes komen overeen met de kleuren van clusters in Figuur 88.

# Bijlage 6 nMDS plots data box-corer 2015 en 2016



*Figuur 90: nMDS plot van de gegevens van de box-corer uit 2015. De cijfers geven de stationnummers aan, waarbij de markers aangeven in welk deelgebied de stations liggen (Zuid, Suppletie en Noord). De polygonen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroiden van respectievelijk de deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord.*

2016



Figuur 91: nMDS plot van de gegevens van de box-corer uit 2016. De cijfers geven de stationnummers aan, waarbij de markers aangeven in welk deelgebied de stations liggen (Zuid, Suppletie en Noord). De polygonen geven de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de centroïden van respectievelijk de deelgebieden Zuid, Suppletie en Noord.

---

Wageningen Marine Research  
T: +31 (0)317 48 70 00  
E: [marine-research@wur.nl](mailto:marine-research@wur.nl)  
[www.wur.nl/marine-research](http://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'

---