



---

# Roggenplaatsuppletie (Oosterschelde): morfologische en ecologische ontwikkelingen over de eerste drie jaren (2020<sub>T1</sub>-2021<sub>T2</sub>-2022<sub>T3</sub>) na aanleg

Auteur(s): Vincent Escaravage\*, Susanne van Donk\*, Lodewijk de Vet\*\*, Nienke Vermeer\*\*,  
Anouk de Bakker\*\*, Jebbe van der Werf\*\*, Jim van Belzen\*

\*Wageningen Marine Research

\*\*Deltares

Wageningen University &

Research rapport C006/24

---

# Roggenplaatsuppletie (Oosterschelde): morfologische en ecologische ontwikkelingen over de eerste drie jaren (2020<sub>T1</sub>-2021<sub>T2</sub>-2022<sub>T3</sub>) na aanleg

Auteur(s): Vincent Escaravage\*, Susanne van Donk\*, Lodewijk de Vet\*\*, Nienke Vermeer\*\*,  
Anouk de Bakker\*\*, Jebbe van der Werf\*\*, Jim van Belzen\*.

\*Wageningen Marine Research

\*\*Deltares

Wageningen Marine Research

Yerseke, Februari 2024

---

Wageningen Marine Research rapport C006/24

---

Keywords: Oosterschelde, Roggenplaat, zandsuppletie, monitoring, morfologie, ecologie, bodemdieren, steltlopers, schelpdieren, oesterriffen, zeehonden.

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Zee & Delta  
T.a.v.: Harry de Looff, Kerst Buis, Rutger Blok en Cor Schipper  
Griffioenlaan 2  
3526 LA Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/647835>

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

A\_4\_3\_1 V32 (2021)

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.

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1 Achtergrond	8
1.2 Project beschrijving	9
1.2.1 Hoofddoel project en opzet van monitoring	9
1.2.2 Evaluatie en kennisvragen	12
1.2.3 Rolverdeling en verantwoording	13
1.3 Leeswijzer	13
<b>2 Voorlopige beantwoording onderzoeksvragen</b>	<b>14</b>
2.1 Morfologie	14
2.2 Ontwikkeling van bodemdieren op de Roggenplaat en de suppleties	18
2.3 Natuurlijke oesterriffen	20
2.4 Vogels	21
2.5 Zeehonden	23
<b>3 Samenhang tussen de ecomorfologische karakteristieken van de suppleties en het gecreëerde foerageergebied</b>	<b>24</b>
3.1 Inleiding	24
3.2 Sleutelobservaties van het foerageergebied en een voorlopige duiding van de samenhang	24
3.3 Hypothesen met betrekking tot de samenhang van ecologische factoren	27
3.4 Plan van Aanpak voor verdere integratie	31
3.5 Afronding evaluatiefase: monitoring 2023 <sub>T4</sub> & 2024 <sub>T5</sub>	31
<b>4 Kennisleemtes en aanbevelingen</b>	<b>32</b>
<b>Literatuur</b>	<b>34</b>
<b>Verantwoording</b>	<b>38</b>
<b>Bijlage 1 Morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat en de suppleties</b>	<b>39</b>
B1.1 Inleiding	40
B1.1.1. Opbouw hoofdstuk	40
B1.1.2. Onderzoeksvragen	40
B1.1.3. Mate van relevantie van de verschillende morfologische onderzoeksvragen met betrekking tot de projectdoelstelling	41
B1.2 Methodologie	42
B1.2.1. Studiegebied	42
B1.2.2. Een overzicht van de uitgevoerde metingen en activiteiten	42
B1.2.3. Hydrodynamische modellering	48
B1.2.4. LiDAR correctie op basis van RTK raaien	49
B1.2.5. Afbakening suppletie-elementen	50
B1.3 Achtergrond: historische ontwikkeling Roggenplaat vóór suppleren (tot 2019)	51
B1.4 Achtergrond: wind-, golf-, en waterstandcondities tijdens de monitoringscampagne	57
B1.4.1. Windcondities	57
B1.4.2. Golfcondities	59
B1.4.3. Waterstandcondities en sluitingen kering	60
B1.5 Evaluatie ontwikkeling Roggenplaatcomplex	63

B1.6	Evaluatie ontwikkeling suppletie-elementen	68
B1.6.1.	Eigenschappen suppletie-elementen	68
B1.6.2.	Morfologische ontwikkeling van de suppletie-elementen	70
B1.7	Verdiepend morfologisch procesbegrip	76
B1.7.1.	Wanneer en waar erosie optreedt	77
B1.7.2.	Sedimentverplaatsingen over de plaat en rondom suppleties	82
B1.7.3.	Veranderingen in sedimentsamenstelling	88
B1.7.4.	Invloed op niet-gesuppleerde gebieden	94
B1.7.5.	Veranderingen in stroming	103
B1.7.6.	Effect van oesterriffen op de morfologische ontwikkelingen	108
<b>Bijlage 2</b>	<b>Ontwikkeling van bodemdieren op de Roggenplaat en de suppleties</b>	<b>111</b>
B2.1	Inleiding	112
B2.1.1.	Opbouw hoofdstuk	112
B2.1.2.	Onderzoeksvragen	112
B2.2	Methodologie	112
B2.2.1.	Omschrijving van de analyses t.b.v. de kennisvragen	112
B2.2.2.	Bodemdieren basisgegevens	113
B2.2.1.	Omgevingsfactoren	114
B2.2.2.	Selectie van locaties als referenties bij de analyse naar de ecologische ontwikkeling op de suppleties	115
B2.2.3.	Gegevensverwerking en statistische analyse	119
B2.3	Achtergrond: relatie tussen de bodemdieren en de omgevingsfactoren in de intergetijdengebieden van de Oosterschelde	120
B2.4	Achtergrond: ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de zandsuppletie van de Galgenplaat	122
B2.5	Hoe ontwikkelt de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) zich op de Roggenplaat na uitvoering van de suppletie	123
B2.5.1.	Temporele variatie in de bodemdierengemeenschappen op de Roggenplaat	123
B2.6	Ecologische ontwikkelingen op de suppleties	128
B2.7	Analyse naar het voorkomen en ontwikkeling van bodemdieren-gemeenschappen op de Roggenplaat	133
B2.7.1.	Relaties tussen het voorkomen van de bodemdierengemeenschap en de omgevingsfactoren.	133
B2.7.2.	Ontwikkeling van de bodemdieren op de suppleties in relatie tot de omgevingsfactoren	136
B2.7.3.	Effect van het 'primen' op de herkolonisationsnelheid van een suppletie	138
<b>Bijlage 3</b>	<b>Natuurlijke oesterriffen</b>	<b>142</b>
B3.1	Opbouw hoofdstuk	142
B3.2	Methodologie	142
B3.3	Evaluatie ontwikkeling van de oesterriffen in de periode 2018 – 2024 op de Roggenplaat	142
<b>Bijlage 4</b>	<b>Gebruik van de Roggenplaat door benthos-etende vogels in relatie tot de suppleties</b>	<b>144</b>
B4.1	Opbouw hoofdstuk	144
B4.2	Methodologie laagwatertellingen	144
B4.3	Gebruik van de Roggenplaat door steltlopers, soorten, aantallen en ruimtelijk gebruik	146
B4.3.1.	Verspreiding van vogels vs omgevingsfactoren	154
B4.3.2.	Het benutten van de suppleties door de vogels	157
<b>Bijlage 5</b>	<b>Zeehonden</b>	<b>161</b>

---

B5.1	Opbouw hoofdstuk	161
B5.2	Methodologie	161
B5.3	Evaluatie ontwikkeling zeehondenpopulatie	161
<b>Bijlage 6</b>	<b>Kwaliteitsborging</b>	<b>163</b>

---

# Samenvatting

## Achtergrond

Als gevolg van de aanleg van de Oosterscheldekering en de compartimenteringsdammen treedt er in de Oosterschelde zandhonger op. Hierdoor neemt de droogvalduur van het intergetijdengebied af en verdwijnt er areaal platen, slikken en schorren in de Oosterschelde. Omdat door toenemende waterdiepte meer golfenergie de dijken kan bereiken zorgt de zandhonger daarmee op termijn voor afname van de waterveiligheid. Meer direct heeft deze afname negatieve effecten voor de natuurwaarden van de Oosterschelde. De intergetijdengebieden vormen immers een belangrijke basis als rust- en foerageergebied voor vis, zeezoogdieren en vogels.

Om het verlies aan foerageergebied voor steltlopers en de bergeend in de Oosterschelde te compenseren is er in het najaar van 2019 een grootschalige suppletie uitgevoerd op de Roggenplaat. In totaal zijn zeven suppletie-elementen aangelegd (samen 211 ha) variërend tussen gemiddeld 30 en 80 cm in dikte. Het doel van de suppleties is driedelig: (1) het behoud van de huidige foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor de komende 25 jaar; (2) het voorkomen van ongewenste golfaanval op de zuidkust van Schouwen; en (3) de ontwikkeling van kennis voor flexibel, klimaatbestendig en kosteneffectief kustmanagement.

Om het behalen van de doelstellingen te kunnen evalueren heeft Rijkswaterstaat samen met Wageningen Marine Research, Deltares, NIOZ, Deltamilieu Projecten en de Hogeschool Zeeland een grootschalig monitoringsprogramma opgezet naar de ontwikkelingen op de gesuppleerde plaat met een looptijd van 2015 t/m 2024. Dit monitoringsprogramma is gericht om de effecten van de suppleties op de hydro- en morfodynamiek en ecologie vast te leggen. De ontwikkelingen in de jaren 2015 – 2020 (T0 – T1) is beschreven in een eerdere rapportage (Wallis, 2021b). De voorliggende rapportage gaat over de jaren 2020, 2021 en 2022 en beschrijft de T1, T2 en T3 metingen. Hieronder volgt, per onderdeel, een overzicht van de belangrijkste resultaten beschreven in dit rapport.

## Morfologie

Met de aanleg van de suppleties is het areaal met een droogvalduur van meer dan 50% toegenomen met ongeveer 96 ha van 595 naar 691 ha. Daarvan is in de jaren na aanleg het verlies beperkt tot enkele hectaren. Het aangebrachte suppletievolume is 1,13 miljoen m<sup>3</sup>. Netto was er direct na suppleren, tussen april 2019 en februari 2020, een volumetoename van 0,99 miljoen m<sup>3</sup> op de Roggenplaat. Daarvan is in de periode februari 2020 – februari 2022 0,086 miljoen m<sup>3</sup> geërodeerd. Ongeveer 77% van dit erosievolume verplaatst zich minder dan 50 m van de suppletie-elementen vandaan, met name in noordoostelijke richting, overeenkomstig met de dominante windrichting. De drie jaar aan LiDAR metingen na suppleren is nog te beperkt om precieze trends in droogvalduur te duiden, ook gezien de uitzonderlijke stormen in deze periode en mogelijke meetfouten.

De morfologische veranderingen variëren sterk tussen en binnen de verschillende suppleties, en waren het grootst in het eerste jaar na aanleg. Tussen februari 2020 (net na aanleg) en februari 2022 zijn de noordelijke suppleties gemiddeld met 2 tot 3 cm in hoogte afgenomen, terwijl de zuidelijke suppleties gemiddeld met 5 tot 11 cm in hoogte zijn afgenomen. Ook is het aangebrachte microreliëf afgezwakt. Met name tijdens stormen vinden bodemveranderingen plaats die ruimtelijk variëren door verschillen tussen de suppleties (bijv. ligging en mate van microreliëf) en de specifieke stormkarakteristieken (waterstand en wind- en golfrichting).

De niet-gesuppleerde gebieden op de Roggenplaat, als ook het Middengeultje, hebben beperkte veranderingen in morfologische ontwikkeling ondergaan. Er is geen grootschalige, eenduidige verandering in dieptegemiddelde stroomsnelheid opgetreden door aanleg van de suppleties, maar lokaal op bepaalde plekken tussen of naast suppleties zijn er wel substantiële (> 0.1 m/s) veranderingen. De mediane korrelgrootte van het suppletiemateriaal is grover (250/350 µm) dan erbuiten (175/225 µm) op de niet-gesuppleerde gebieden. De mediane korrelgrootte is over de afgelopen jaren op alle suppleties aan het afnemen.

---

## **Voedselbeschikbaarheid voor vogels**

In de bodem van de niet-gesuppleerde gebieden (droogvalduurklassen 50-60% en 60%-70%) blijven de totale bodemdierdichtheid, -biomassa en aantal soorten door de jaren heen op peil en vrij stabiel. De bodemhoogte en korrelgrootte van het sediment hebben een sterke invloed op de verspreiding van de bodemdieren in zowel de niet-gesuppleerde gebieden als op de suppleties. Suppleties verschillen in aanlegdikte en mediane korrelgrootte en herkolonisatie van bodemdieren gaat sneller op de dunnere suppleties die gemiddeld een kleinere mediane korrelgrootte hebben. Borstelwormen domineren de bodemdierbiomassa op de meeste suppleties tot in het jaar 2022, in tegenstelling tot de meeste referentie-locaties. Het aanbrengen van een laag gebiedseigen sediment op de suppletie (primen) bevordert de herkolonisatie door bodemdieren.

## **Natuurlijke oesterriffen**

Tijdens de aanleg van de suppleties zijn delen van de aanwezige natuurlijke oesterriffen onder het zand verdwenen (suppleties 2, 4 en 5). Sinds de aanleg is de omvang van de overige oesterriffen tot 2022 min of meer stabiel gebleven. Er is geen duidelijke aanwijzing dat de oesterriffen de erosie van de suppleties remmen, maar daarvoor liggen deze ook te laag op de plaat.

## **Vogels**

De Roggenplaat wordt met laagwater bezocht door gemiddeld rond de 20.000 benthos-etende vogels (steltlopers, bergeenden en meeuwen). Hiernaast foerageren ook een aantal andere vogelsoorten op de Roggenplaat zoals rotganzen (met name op wieren) en visetende vogels zoals lepelaars en reigers. De resultaten laten zien dat maximale aantallen behoorlijk kunnen schommelen per teldag en dat de soortensamenstelling verschilt afhankelijk van maand of seizoen. Verspreiding van steltlopers, bergeenden en meeuwen is gerelateerd aan droogvalduur. Ze beginnen met foerageren vroeg in het getij op de hogere delen van de plaat waar ze dan voorkomen in relatief hoge dichtheden. Vervolgens bewegen ze deels mee met het wegtrekkende water naar lageregelegen delen op de Roggenplaat. Soorten verschillen in hun voorkeur voor droogvalduur per telmoment. Andere variabelen zijn waarschijnlijk ook belangrijk in het verklaren van verspreiding van vogels, zoals sedimentsamenstelling, bodemdierdichtheid en mogelijk het vochtgehalte in het zand. Deze variabelen zullen in de eindrapportage aan bod komen.

Foerageerdruk, aantallen benthos-etende vogels en soortensamenstelling op de gehele plaat lijken niet enorm veranderd te zijn na de suppleties. Ook is het patroon tussen foeragerende vogels en droogvalduur grotendeels vergelijkbaar voor en na de suppleties. Maar vogels vermeden de gesuppleerde delen direct na de aanleg grotendeels. Hierdoor is de foerageerdruk in de jaren na de werkzaamheden op plekken waar is gesuppleerd lager dan voorheen, vergeleken met gebieden met een vergelijkbare droogvalduur. De foerageerdruk nam op gesuppleerde delen af na de suppleties eind 2019, met name in droogvalduurcategorieën 40-60% en 60-80%. In 2022 lijkt de foerageerdruk op de suppleties tussen gebieden in de categorie 60-80% wel weer bijgetrokken. Wanneer we inzoomen op de suppleties zelf, is te zien dat sommige suppleties weer min of meer terug zijn op de foerageerdruk van voor de suppleties. Dit wordt deels veroorzaakt doordat vogels op sommige suppleties meer tijd hebben om te foerageren doordat deze vroeger droogvallen.

## **Zeehonden**

Zeehonden tonen een duidelijke seizoenvariatie met hogere aantallen op de Roggenplaat tussen juni en augustus. Er is geen duidelijk effect gevonden op de zomeraantallen zeehonden door aanleg van de suppleties. Het aantalsverloop tussen de Roggenplaat en de Oosterschelde op basis van maandelijks dan wel jaarlijkse gemiddelden zijn niet significant verschillend.

## **Vervolg: duiding van de samenhang**

In de eerdere rapportages (T0/T1) konden nog nauwelijks conclusies getrokken worden over de ontwikkeling op de afzonderlijke monitoringsonderdelen. Nu na 3 jaar monitoring (T3) is het mogelijk op sommige onderdelen voorlopige conclusies te trekken. Op weg naar de eindevaluatie na 5 jaar waarnemingen (T5) is de ambitie om de samenhang tussen morfologie, bodemdieren en vogels tussen de verschillende monitoringsaspecten te duiden en deze te beschrijven vanuit het hoofddoel van het project: het vogelperspectief.



---

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Als gevolg van de aanleg van de Oosterscheldekering en de compartimenteringsdammen treedt er in de Oosterschelde zandhonger op. Het horizontale getij (i.e. de stroomsnelheid in de geulen) is afgenomen, waardoor het evenwicht tussen erosie en sedimentatie is verstoord. Bij kalm weer bouwt het intergetijdengebied daardoor niet voldoende op, terwijl er wel afbraak optreedt tijdens stormen. Van de natuurwaarden wordt vooral het kenmerkende habitat voor steltlopers en watervogels bedreigd die voor hun voedsel afhankelijk zijn van de droogvallende slikken en platen (Zwarts et al. 2011, de Ronde et al. 2013).

Door de zandhonger neemt het totale areaal aan platen, slikken en schorren in de Oosterschelde af en wordt tevens de droogvalduur van het resterende intergetijdengebied verkort (Van Zanten en Adriaanse, 2008; de Ronde et al. 2013). Dit zal op termijn negatieve gevolgen hebben voor de natuurlijke kwaliteit in, en waterveiligheid rond, de Oosterschelde (Zandvoort et al. 2019).

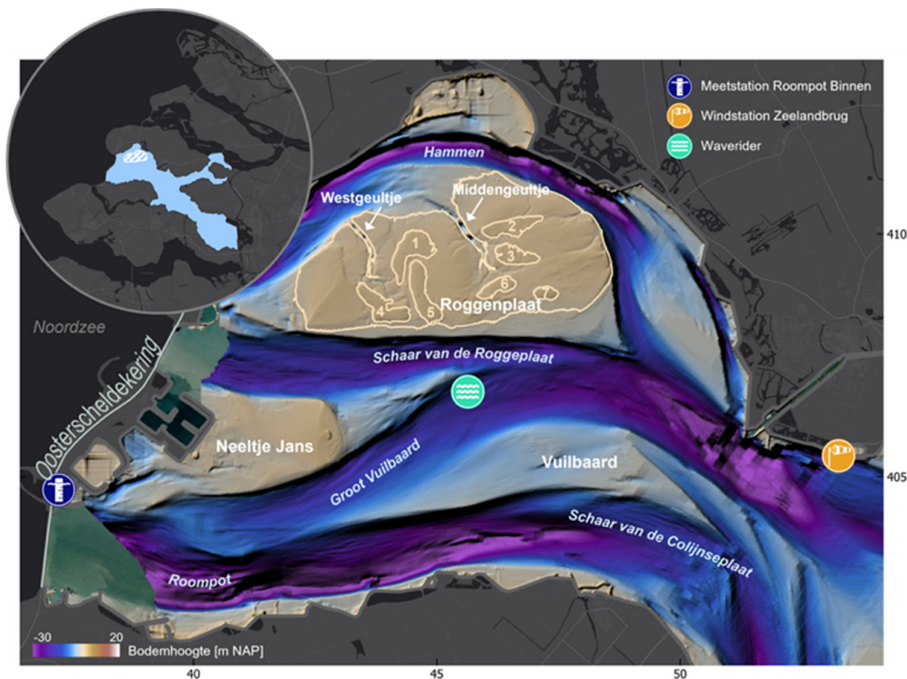
In dit kader heeft Rijkswaterstaat daarom eind 2019 de Roggenplaat (1440 ha, zie Figuur 1-1) gesuppleerd met ruim 1,13 miljoen m<sup>3</sup> zand (*in situ* volume) verdeeld over zeven suppletie-elementen (samen 211 ha) verschillend in dikte variërend tussen gemiddeld 30 en 80 cm.

De doelstellingen van de suppleties zijn als volgt (van der Werf et al. 2016b):

1. Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor de komende 25 jaar (primaire doelstelling).
2. Voorkomen van ongewenste golfaanval op de zuidkust van Schouwen.
3. Ontwikkelen van kennis voor flexibel, klimaatbestendig en kosteneffectief kustmanagement.

Om de ontwikkeling van de suppleties na aanleg te kunnen volgen, en een evaluatie van de doelstellingen te kunnen uitvoeren, heeft Rijkswaterstaat samen met Wageningen Marine Research, NIOZ, Deltares, Deltamilieu Projecten en de Hogeschool Zeeland een grootschalig monitoringsprogramma geïnitieerd met een looptijd van 2015 tot en met 2024. Dit monitoringsprogramma is gericht op het beoordelen van de effecten van de suppleties op de hydrodynamica, morfodynamica en ecologie met – naast focus op de evaluatie van de suppletie – ook aandacht voor het begrip van de onderliggende processen. Ook is er specifiek aandacht voor de impact van de suppletie op van de omliggende mosselpercelen (Wijsman, 2023).

Deze monitoring draagt bij aan het begrip van de sturende fysische en ecologische processen in intergetijdengebieden, en de samenhang hiertussen in relatie tot de veranderingen op de Roggenplaat als gevolg van de suppleties. Uiteindelijk dragen de resultaten van deze monitoring bij aan het optimaliseren van het beheer van dergelijke gebieden (bijvoorbeeld voor de aanstaande suppletie in het Middengebied van de Oosterschelde; De Vet et al., 2023).



Figuur 1-1. Overzichtsfiguur van de Roggenplaat en omgeving op basis van de Vaklodingen uit 2021. De laagwatercontour (-1.2 m NAP) van de Roggenplaat is weergegeven, evenals de contouren van de zeven suppleties. De locatie van het waterstandsstation Roompot Binnen, het windmeetstation Zeelandbrug en de golfmeetlocatie Waverider zijn weergegeven. De namen van geulen en platen zijn aangegeven.

## 1.2 Project beschrijving

### 1.2.1 Hoofddoel project en opzet van monitoring

Het hoofddoel van de suppletie van de Roggenplaat is gedefinieerd als "Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor de komende 25 jaar" (van der Werf et al. 2016b). Dit doel komt voort uit de Natura2000 instandhoudingsdoelstellingen, in het bijzonder de Vogelrichtlijn (Rijkswaterstaat, 2015). Voor de monitoring van de Roggenplaat-suppletie is de doelstelling aangescherpt tot het behoud van de foerageerfunctie van de Roggenplaat en hierin is Neeltje Jans niet meegenomen. Het referentiejaar is bepaald op 2010, omdat dat het jaar is waarop de Natura 2000 instandhoudingsdoelen zijn gebaseerd voor dit gebied (Rijkswaterstaat, 2015). Het doel van de Roggenplaat-suppletie kan dus nader worden gespecificeerd tot: "In 2035 is de foerageerfunctie van de Roggenplaat gelijk of vergelijkbaar met de foerageerfunctie van de Roggenplaat in 2010" (van der Werf et al. 2016b).

De foerageerfunctie betreft de volgende 14 benthos-etende vogelsoorten – 13 steltlopers en de bergeend – welke dus foerageren op intergetijdengebieden (van der Werf et al., 2016b):

- |                                                   |                                                      |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1. Bergeend ( <i>Tadorna tadorna</i> )            | 8. Scholekster ( <i>Haematopus ostralegus</i> )      |
| 2. Bontbekplevier ( <i>Charadrius hiaticula</i> ) | 9. Steenloper ( <i>Arenaria interpres</i> )          |
| 3. Bonte Strandloper ( <i>Calidris alpina</i> )   | 10. Strandplevier ( <i>Charadrius alexandrinus</i> ) |
| 4. Groenpootruiter ( <i>Tringa nebularia</i> )    | 11. Tureluur ( <i>Tringa totanus</i> )               |
| 5. Kanoet ( <i>Calidris canutus</i> )             | 12. Wulp ( <i>Numenius arquata</i> )                 |
| 6. Kluut ( <i>Recurvirostra avosetta</i> )        | 13. Zilverplevier ( <i>Pluvialis squatarola</i> )    |
| 7. Rosse Grutto ( <i>Limosa lapponica</i> )       | 14. Zwarte Ruiter ( <i>Tringa erythropus</i> )       |

Oorspronkelijk bestond het project uit de volgende drie fasen: Planfase (2015-2016), Uitvoeringsfase (2017-2018) en Evaluatiefase (2019-2024). De Planfase omvatte onder meer onderzoek naar de winplaatsen, geotechnisch onderzoek, het voorkomen van schade aan mosselkweek, variantenstudie

---

en definitief ontwerp, monitoringsplan, stakeholderinspraak en vergunningaanvraag, en een T0 monitoring en beschrijving (uitgangssituatie vóór suppletie). Mosselkwekers hadden bezwaar tegen de uitvoering van de Roggenplaatsuppletie vanwege de mogelijke nadelige effecten op hun kweekpercelen en hebben de aanleg aangevochten bij de Raad van State. Door de juridische procedures is de Roggenplaatsuppletie vertraagd en heeft de uitvoering van de suppletie plaatsgevonden in de periode oktober – december 2019. Door dit uitstel heeft de T0 monitoring langer geduurd, tot oktober 2019. De eerste resultaten van de monitoring, gerapporteerd in Ysebaert et al. (2016), vormde de basis van het definitieve monitoringsplan Roggenplaatsuppletie (Ysebaert et al. 2017). Daarnaast zijn deze eerste data gebruikt voor de nadere beoordeling en selectie van de suppletievarianten op basis van de modelberekeningen. Daarom is een deel van de T0 resultaten ook gepresenteerd en deels besproken in de variantenstudie en het definitief ontwerp (van der Werf et al. 2016a en 2016b).

Naast het monitoringsplan van Ysebaert et al. (2017), dat als doel heeft de hierboven gestelde doelstelling van de Roggenplaatsuppletie te onderzoeken en te evalueren, is een plan opgesteld voor de zogenaamde risicomonitoring (Wijsman en Kraan, 2017). Deze risicomonitoring is bedoeld om eventuele negatieve effecten op nabijgelegen mosselkweekpercelen in kaart te brengen. Hierover is gerapporteerd in Walles (2021a), Walles (2021b) en de eindrapportage in Wijsman (2023). In het voorliggende rapport wordt niet ingegaan op de risicomonitoring.

Het voorliggende rapport is het derde evaluatierapport na Walles (2021a) en Walles (2021b) waarin de ontwikkelingen voor (T0: 2015 – 2019) en het eerste jaar na aanleg (T1: 2020) van de suppleties zijn behandeld. Voorliggend rapport gaat in op de onderzoeks- en monitoringsactiviteiten die zijn uitgevoerd binnen het project Roggenplaatsuppletie vóór en na de aanleg van de suppleties tot en met 2022.

In de afgelopen jaren zijn uitgebreide monitoringactiviteiten uitgevoerd om de morfologische en ecologische ontwikkelingen van de suppletie grondig te analyseren (Tabel 1-1). De opzet van de monitoring en de formulering van de daarbij behorende oorspronkelijke onderzoeksvragen zijn gegeven in het monitoringsplan (Ysebaert et al., 2016). Op morfologisch vlak lag de focus op veranderingen in de vorm, hoogte en sedimentopbouw van de suppletie-elementen. Hierbij werden nauwgezette metingen en observaties uitgevoerd om de evolutie van deze essentiële kenmerken in kaart te brengen. Deze metingen zullen ook in de komende jaren nog vervolgen. Parallel daaraan zijn er uitgebreide ecologische monitoringsinspanningen ondernomen. Dit omvatte de observatie van bodemdieren, vogelpopulaties en natuurlijke oesterriffen rondom de suppletiegebieden en de zeehondenaantallen. In het vervolg van dit rapport zullen we dieper ingaan op de specifieke evaluatie- en kennisvragen die aan deze monitoring ten grondslag liggen. Dit omvat een gestructureerde benadering om de ontwikkeling van de suppletie in kaart te brengen en de doelstellingen van de monitoring te verwezenlijken.

Tabel 1-1. Overzicht van de monitoringactiviteiten.

Monitoring activiteit	Uitvoering	Beschrijving
<b>Morfologie</b>		
<b>Stromingsmetingen</b>	RWS	Stromingsmetingen zijn eenmalig na aanleg uitgevoerd in het Middengeultje (januari/februari 2021) en op de plaat (maart 2021).
<b>LIDAR</b>	RWS	LIDAR metingen voor de bepaling van de bodemhoogte worden elk jaar in april uitgevoerd
<b>RTK MLTW</b>	RWS	De RTK MLTW metingen zijn bedoeld om de bodemhoogte in te meten over vaste raaien en worden binnen de reguliere RTK monitoring elk jaar uitgevoerd in april.
<b>RTK extra</b>	RWS	Het is binnen dit monitoringproject voorzien om extra RTK metingen voor de bodemhoogte uit te voeren in 2021 en 2022 in maart, juni, september en december en in 2023 en 2024 in maart en september.
<b>Zakbaken (m.b.v. RTK)</b>	RWS	De zakbakens die bij aanleg van de suppleties zijn aangelegd, worden ingemeten om zettingen van de suppleties te monitoren
<b>SED sensoren</b>	NIOZ	SED sensoren kunnen het hele jaar door Sedimentatie Erosie Dynamiek meten. De SED sensoren worden geplaatst op verschillende locaties en meten over de periode 2020 t/m 2024 continu zouden meten.
<b>Golven</b>	NIOZ	In heel 2021 zijn volgens planning golven worden gemeten tbv de numerieke modellen. De golfmetingen zijn tot heden gecontinueerd om een relatie te kunnen leggen met de gemeten sedimentatie en erosie dynamiek. Ook is een golfboei voor dit project uitgezet (sinds 2015) ten zuiden van de Roggenplaat.
<b>Sedimentsamenstelling</b>	WMR & NIOZ	Sedimentmonsters worden jaarlijks tegelijkertijd met de benthosmonsters op de Roggenplaat en de suppleties in september genomen
<b>Multibeam</b>	RWS	Multibeam metingen om de waterdiepte boven de plaat te bepalen worden vier keer per jaar in april uitgevoerd.
<b>Ecologie</b>		
<b>Laagwater tellingen vogels</b>	DPM	Vogeltellingen worden elk jaar gedaan in: Januari, Februari, Maart, Mei, Augustus, Oktober, November en December door DPM tijdens laagwater. Data analyse wordt uitgevoerd door WMR.
<b>Verspreiding bodemdieren</b>	WMR	In 2022 en 2024 wordt een bemonstering van de Roggenplaat uitgevoerd in september.
<b>WOT oesters</b>	WMR	Lang lopende monitoring van het bestand natuurlijke oesterriffen die elk jaar in februari en maart wordt uitgevoerd. Afwisselend wordt deze monitoring uitgevoerd middels luchtfoto's of het lopen van transecten.
<b>WOT kokkels</b>	WMR	Dit is al een lang lopende monitoring naar het kokkelbestand die elk jaar in februari en maart wordt uitgevoerd.
<b>Benthos op suppleties</b>	WMR	Benthos bemonsteringen op de suppleties worden elk jaar gedaan in september.
<b>Kwalitatieve benthos opname</b>	RWS	Kwalitatieve benthos opnames worden elk jaar gedaan in september.
<b>Zeehonden MWTL</b>	MWTL	Zeehonden tellingen worden maandelijks uitgevoerd in kader van MWTL, met uitzondering van de maanden september en oktober.
<b>Benthos priming</b>		
<b>Priming</b>	NIOZ	Een bemonstering van de benthos in september is voor 2020 (elke kwartaal), 2022 en 2024 gepland.

## 1.2.2 Evaluatie en kennisvragen

Gedurende het monitoringproject zijn de oorspronkelijke evaluatie en kennisvragen aangescherpt, zijn de evaluatie- en kennisvragen waar relevant aangescherpt of samengevoegd (de oorspronkelijke onderzoeksvragen zijn gegeven in het monitoringsplan (Ysebaert et al., 2016). Ook zijn er nieuwe vragen toegevoegd. De evaluatie- en kennisvragen die worden behandeld in de huidige rapportage zijn hieronder weergegeven (Tabel 1-2). De structuur van deze rapportage is in belangrijke mate gebaseerd op deze vragen: hoofdstuk 2 bevat een voorlopige beantwoording van deze vragen; in hoofdstuk 3 gaan we een stap verder door op basis van de samenhang tussen de antwoorden op deze vragen de waarnemingen nader te duiden vanuit het perspectief van de vogels.

Tabel 1-2. Overzicht van de evaluatie- (E) en kennisvragen (K) behandeld in deze rapportage voor de verschillende onderdelen (morfologie, voedselbeschikbaarheid voor vogels, natuurlijke oesterriffen, steltlopers en zeehonden).

<b>Morfologie</b>	
E	<b>1.-Hoe verandert het areaal droogvalduur in de periode 2017-2024 op de gehele Roggenplaat?</b>
	<b>2.-Hoe ontwikkelen de individuele suppletie-elementen zich morfologisch en is dit afhankelijk van de locatie op de Roggenplaat</b>
K	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Welke processen liggen ten grondslag aan de veranderingen in areaal droogvalduur op de Roggenplaat en specifiek de suppleties?               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Wanneer en waar treedt vooral erosie op (bijv. bij stormen)?</i></li> <li>2. <i>Hoe verplaatst het sediment zich over de Roggenplaat en rondom de suppleties?</i></li> <li>3. <i>Hoe is de sedimentsamenstelling op de Roggenplaat en specifiek de suppleties veranderd?</i></li> <li>4. <i>Zijn er niet-gesuppleerde gebieden (geulen, intergetijdengebied) die beïnvloed worden door de aanwezigheid van de suppleties, vindt er bijvoorbeeld geulvorming plaats?</i></li> <li>5. <i>Hoe is de stroming en afwatering op de Roggenplaat en in de oostelijke geul (het Middengeultje) veranderd door de aanleg van de suppleties?</i></li> <li>6. <i>Hebben oesterriffen een rol in het vasthouden van (gesuppleerd) sediment op de Roggenplaat?</i></li> </ol> </li> </ol>
<b>Voedselbeschikbaarheid voor vogels</b>	
E	<b>1.-Hoe ontwikkelt de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) zich op de Roggenplaat na uitvoering van de suppletie</b>
	<b>2.-Hoe ontwikkelt de bodemdiergemeenschap zich op de afzonderlijke suppletie-elementen?</b>
K	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Is het voorkomen van de bodemdiergemeenschap gerelateerd aan (lokale) factoren zoals droogvalduur, hydrodynamiek en sedimentsamenstelling?</i></li> <li>2. <i>Is de ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de suppleties gerelateerd aan, veranderingen in droogvalduur, hydrodynamiek, sedimentdynamiek, etc.?</i></li> <li>3. <i>Kan de herkolonisationsnelheid van een suppletie bevorderd worden door het 'primen' van de suppletie met een levende bodemdiergemeenschap?</i></li> </ol>
<b>Natuurlijke oesterriffen</b>	
E	<b>1.-Hoe ontwikkelen de natuurlijke oesterriffen zich in de periode 2018 – 2024 op de Roggenplaat?</b>
K	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Hebben natuurlijke oesterriffen nog een rol in het vasthouden van (gesuppleerd) sediment op de Roggenplaat? (ondergebracht bij de kennisvragen morfologie)</i></li> </ol>
<b>Vogels</b>	
E	<b>1.-Hoe wordt de Roggenplaat gebruikt door benthos-etende vogels in ruimte en tijd? Welke soorten komen voor en in welke aantallen?</b>
K	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Is de verspreiding van benthos-etende vogels gerelateerd aan factoren zoals droogvalduur, sediment (vocht), voedselkwaliteit?</i></li> <li>2. <i>Hoe worden de suppleties benut door benthos-etende vogels in vergelijking tot niet-gesuppleerde delen van de Roggenplaat?</i></li> </ol>
<b>Zeehonden</b>	
E	<b>1.-Hoe ontwikkelt de zeehondenpopulatie zich op de Roggenplaat sinds 2018 (in vergelijking met de Oosterschelde populatie)</b>

Zoals aangeduid door Ysebaert et al. (2016) zijn de evaluatievragen gericht op het beantwoorden van de hoofddoelstelling van het project, namelijk het behoud van de (huidige) foerageerfunctie van de Roggenplaat tot 2035. Dit voor zo ver mogelijk op basis van de 5 jaar durende monitoring na aanleg van de suppleties. De kennisvragen geven nader inzicht in de processen die de ontwikkeling van de Roggenplaat(suppleties) sturen en dragen ook bij aan de onderbouwing van de evaluatievragen en het bepalen van oorzaken van het al dan niet behalen van de doelstellingen.

---

### 1.2.3 Rolverdeling en verantwoording

Wageningen Marine Research is in opdracht van Rijkswaterstaat trekker van het monitoringsproject in samenwerking met de consortiumpartners Deltares, Deltamilieu Projecten en NIOZ.

Het hoofdrapport is een gemeenschappelijk product van WMR en Deltares waarbij WMR de penvoerder is. Deltares is verantwoordelijk voor de onderliggende analyses van de morfologische ontwikkelingen van de Roggenplaat(suppleties) inclusief de rol van de natuurlijke oesterriffen (Bijlage 1). Wageningen Marine Research is verantwoordelijk voor de analyse van het gebruik van de Roggenplaat (en de suppleties) door benthos-etende vogels, zoals steltlopers, bergeenden en meeuwen, en de ontwikkeling van de voedsel-beschikbaarheid voor vogels, oesterriffen, steltlopers en zeehonden op de Roggenplaat en op de suppleties (tot Bijlage 5).

De kwaliteitsborging (interne review) is uitgevoerd onder de verantwoordelijkheid van WMR, met uitzondering van de morfologische analyses (Bijlage 1, intern gereviewd door Deltares).

## 1.3 Leeswijzer

In deze tussenrapportage (eindrapportage volgt in 2025) zijn, t.o.v. de voorafgaande evaluatierapportages waarin de T0 en T1 situatie is beschreven (Walles et al., 2021a; 2021b), de resultaten van de jaren 2021 en 2022, respectievelijk 2 en 3 jaar na de suppletie meegenomen.

**Hoofdstuk 2** presenteert een eerste beantwoording van de evaluatie- en kennisvragen in samenvattende vorm met betrekking tot de effecten van de Roggenplaatsuppleties op de morfologie, bodemdieren, oesterriffen, vogels en zeehonden, op basis van de tot nu toe beschikbare data.

**Hoofdstuk 3** schetst de belangrijkste waarnemingen met betrekking tot de ontwikkelingen van de benthos-etende vogels op de Roggenplaat na de aanleg van de suppletie en geeft een eerste duiding over de samenhang van de ontwikkelingen van de vogels met de geomorfologie en benthos.

**Hoofdstuk 4** geeft tot slot een overzicht van de vervolgstappen binnen het huidige project en van de resterende kennisleemtes. Tevens worden er aanbevelingen gedaan voor toekomstige projecten.

Deze resultaten waar de antwoorden in hoofdstuk 2 op steunen bevinden zich *in extenso* weergegeven in de volgende bijlagen: Bijlage 1 (Morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat en de suppleties), Bijlage 2 (Ontwikkeling van bodemdieren op de Roggenplaat en de suppleties), Bijlage 3 (Natuurlijke oesterriffen), Bijlage 4 (Gebruik van Roggenplaat door steltlopers in relatie tot de suppleties) en Bijlage 5 (Zeehonden).

---

## 2 Voorlopige beantwoording onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk presenteren we de voorlopige bevindingen op basis van de uitgevoerde monitoring van de Roggenplaat sinds de eerste drie jaar na de aanleg (2020, 2021 en 2022). We geven hier een voorlopige beantwoording op de gestelde kennis- en evaluatievragen (Tabel 1-2) met betrekking tot diverse gemonitorde deelgebieden. Hoewel we ons in dit hoofdstuk beperken tot een beknopte beantwoording, is een uitgebreide analyse van de verzamelde monitoringsgegevens in de bijlagen bij dit rapport te vinden. Hier gaan we eerst in op de morfologische ontwikkeling van zowel de Roggenplaat als de aangebrachte suppleties (zie bijlage 1), gevolgd door de ontwikkeling van bodemdieren op deze locaties (zie bijlage 2), en de natuurlijke oesterriffen (zie bijlage 3). Daarnaast onderzoeken we het gebruik van de Roggenplaat door benthos-etende vogels in relatie tot de suppleties (zie bijlage 4) en onderzoeken we mogelijke invloeden van de suppleties op de aantallen zeehonden (zie bijlage 5).

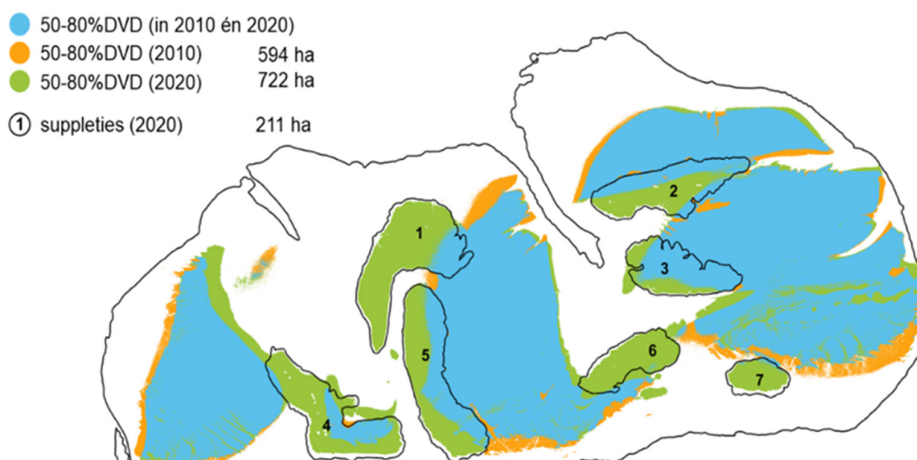
De uitgebreide analyse (zie bijlagen) biedt een voorlopig inzicht in de ecologische dynamiek van dit gebied gedurende de eerste drie jaar na aanleg. De bijlagen dienen als een waardevolle bron van gedetailleerde informatie, waardoor een grondiger begrip ontstaat van de complexe interacties en veranderingen binnen het ecosysteem. De inzichten die hieruit voortkomen vormen een cruciale basis voor verdere evaluatie en leveren waardevolle overwegingen voor de vormgeving van toekomstige suppletieprojecten.

### 2.1 Morfologie

De morfologische monitoring is opgezet om de projectdoelstellingen te kunnen evalueren en de morfologische ontwikkelingen van de Roggenplaat(suppleties) te kunnen verklaren. Het primaire doel van de Roggenplaat(suppletie) is het behoud van de foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor 25 jaar ten opzichte van het referentiejaar 2010. In de ontwerpfase (Van der Werf et al., 2016) is deze doelstelling wat betreft de morfologische karakteristieken geconcretiseerd tot het behoud van het areaal met een droogvalduur van 50-80%. Figuur 2-1 geeft een overzicht van het aanwezige areaal met een droogvalduur van 50-80% vóór (2010; referentiejaar) en direct na (2020) suppleren. Daarnaast geeft de figuur de contouren weer van de zeven suppletie-elementen direct na suppleren (2020).

In hoeverre de suppleties erin slagen het areaal met een droogvalduur van 50-80% te behouden is onderwerp van evaluatievragen morfologie 1 en 2. Weten hoe en wanneer het sediment over de suppleties en plaat beweegt, is ook relevant in dit kader (kennisvragen morfologie 1 en 2). Daarnaast is, zoals ook benadrukt in de ontwerpstudie (Van der Werf et al., 2016), ook de kwaliteit van het areaal sturend in de mate van ecologisch herstel. Hierin speelt de bodemsamenstelling (korrelgrootte) een belangrijke factor (kennisvraag morfologie 3). Niet het primaire doel, maar wel relevant voor het succes van het suppletieproject, is weten of de suppletie de hydromorfologie van de Roggenplaat heeft veranderd. Hiertoe zijn de veranderingen in de morfologie (kennisvraag morfologie 4) en stroming (kennisvraag morfologie 5) van de plaat en het Middengeultje beschouwd. Aanvullend is ook beoordeeld of de natuurlijke oesterriffen op de plaat een invloed hebben op de ontwikkeling van de suppleties (kennisvraag morfologie 6). Dit zodat hier in toekomstige suppletieontwerpen op kan worden geanticipeerd. Hierna volgt voor elke morfologische onderzoeksvraag een samenvattende beantwoording. In Bijlage 1 zijn de onderliggende analyses gepresenteerd.

Een uitvoerige analyse van de ingewonnen morfologische data (Tabel 1-1) is te vinden in **bijlage 1**.



*Figuur 2-1. De zones op de Roggenplaat met een droogvalduur van 50-80% voor september 2010 (referentiejaar), februari 2020 (direct na suppleren) en de overlappende zones (zowel in september 2010 als in februari 2020). De 7 suppletiecontouren zijn weergegeven op basis van de eerste bodemopname na suppleren (februari 2020). Opgemerkt wordt dat het areaal 50-80% droogvalduur van 2010 iets afwijkt van de waarde in de ontwerpstudie (606 ha; Van der Werf et al., 2016). In deze gehele monitoringstudie wordt namelijk uitgegaan van LiDAR data na correctie met RTK-raaimetingen (Bijlage 1.2.4.).*

### **Evaluatievraag morfologie 1 (paragraaf B1.5)**

#### ***Hoe verandert het areaal droogvalduur in de periode 2017-2024 op de gehele Roggenplaat?***

De ontwikkeling in droogvalduur hangt direct samen met de morfologische ontwikkelingen en de aanleg van de suppleties. In de jaren vóór aanleg van de suppleties (van 2018 tot eind 2019) waren de morfologische veranderingen beperkt, in lijn met de vrij uniforme ontwikkeling (afname in hoogte) over het afgelopen decennium. Met de aanleg van de suppleties is het areaal met een droogvalduur van meer dan 50% toegenomen met ongeveer 96 ha (een toename van 16%). In de jaren na aanleg zijn er in de metingen in deze droogvalduurklasse variaties in de orde van enkele hectaren opgetreden. Het aantal jaren aan LiDAR metingen na suppleren (3) is echter nog te beperkt om precieze trends in droogvalduur te duiden, ook gezien de uitzonderlijke stormen in deze periode en mogelijke meetfouten. De RTK en LiDAR metingen vertonen beide een afname in hoogte van de (met name zuidelijke) suppletie-elementen en tonen lokaal sedimentatie ten noorden van deze elementen. Dit betekent een afname in het areaal van de hoogste droogvalduurklassen van de plaat.

### **Evaluatievraag morfologie 2 (paragraaf B1.6)**

#### ***Hoe ontwikkelen de individuele suppletie-elementen zich morfologisch en is dit afhankelijk van de locatie op de Roggenplaat?***

De suppletie-elementen zijn het sterkst veranderd in het eerste jaar na aanleg. Deze veranderingen variëren echter sterk tussen de verschillende suppleties. Suppleties 1-3 (noordelijk gelegen) liggen bijvoorbeeld één jaar later gemiddeld 2 cm lager, terwijl dit ruim 3 cm is voor suppleties 4, 5 en 7 (zuidelijk gelegen). Dit komt overeen met de verwachting uit de ontwerpfase dat de zuidelijke suppleties sterker zouden eroderen door meer golfwerking. Tussen februari 2020 (net na aanleg) en februari 2022 zijn de noordelijke suppleties 1-3 met 2-3 cm afgenomen in gemiddelde hoogte, terwijl de zuidelijke suppleties 4, 5 en 7 met 5-11 cm in gemiddelde hoogte zijn afgenomen. Omdat het aantal jaren aan data nog beperkt is, is wel nog voorzichtigheid geboden bij het duiden van (trends in) deze ontwikkelingen. De zuidelijke suppleties kennen niet alleen een grotere hoogteafname, ook de volumeafname binnen deze suppletiecontouren was een stuk groter (tot 17% voor suppletie 7). Let wel, dit sediment kan ook direct naast de oorspronkelijke suppletiecontouren terecht zijn gekomen, en is dus niet noodzakelijk een verlies van sediment uit het intergetijdengebied (zie onderliggende kennisvraag 2). Binnen de suppleties was sprake van ruimtelijke variaties in ontwikkeling en



---

vormveranderingen. Bijvoorbeeld, suppletie-element 7 erodeerde aan de loefzijde en de top, terwijl deze aan sedimentatie onderhevig was aan de lijzijde. Lokaal bedroeg de erosie op sommige suppletie-elementen meerdere decimeters.

### **Centrale kennisvraag morfologie (paragraaf B1.7)**

#### ***Welke processen liggen ten grondslag aan de morfologische veranderingen van de Roggenplaat en specifiek de suppleties?***

De Roggenplaat bestaat uit verschillende morfologische eenheden (o.a. gehele plaat, suppleties, schelpenruggen, Middengeultje en microreliëf) die veranderen onder invloed van wind, golven en getij met variaties in de tijd en over de ruimte. Met name tijdens stormen en sluitingen van de Oosterscheldekering vinden bodemveranderingen plaats. Stormimpact is afhankelijk van de specifieke stormkarakteristieken die de waterstanden, golven en wind (en daarmee de wind-gedreven stroming) beïnvloeden. Maar ook de lokale morfologie (van de suppleties) beïnvloedt de mate van morfologische veranderingen, bijvoorbeeld door de locatie (zuidelijke suppleties zijn meer blootgesteld aan golven), hoogteligging, mate van microreliëf en bodemhellingen. Door wind-gedreven stroming tijdens stormen, en mogelijk ook luwte-werking, vindt depositie plaats aan met name de lijzijde (noord-/noordoostzijde) van de suppletie-elementen. De wilde oesterbanken op de Roggenplaat hebben geen aantoonbare invloed op de ontwikkeling van de suppletie-elementen, waarschijnlijk omdat de riffen laag op de plaat liggen en daardoor beperkt golven dempen.

Niet-gesuppleerde gebieden op de Roggenplaat en ook het Middengeultje hebben beperkte veranderingen in morfologische ontwikkeling ondergaan, vorming van lokale afwateringsgeultjes daargelaten. Dit komt mede doordat de stroming op de Roggenplaat en in het Middengeultje beperkt is veranderd door de suppleties. Met de morfologische veranderingen is de gemiddelde mediane korrelgrootte op de suppleties over de jaren afgenomen, al is deze nog steeds substantieel groter dan in de niet-gesuppleerde delen van de plaat. Welke mechanismen deze veranderingen in bodemsamenstelling sturen, is nog niet duidelijk.

Opgemerkt wordt dat met de nieuwe metingen (2023 en 2024) en verdere analyses deze inzichten nog verder worden aangescherpt.

### **Onderliggende kennisvraag morfologie 1 (paragraaf B1.7.1)**

#### ***Wanneer en waar treedt vooral erosie op (bijvoorbeeld bij stormen)?***

Erosie van de suppleties vindt plaats door een samenspel van wind, golfwerking en getij. Stormen spelen hierin een belangrijke rol. Erosie door stormen treedt voornamelijk op bij de randen van de plaat en de (relatief hooggelegen) zuidelijke suppleties door golfwerking. Met name tijdens sluitingen van de kering treden condities op (relatief constante waterstand en grote golven) die erosie bevorderen.

De grootste bodemveranderingen traden op in het eerste jaar na aanleg. Met name de februarimaanden van de jaren 2020 en 2022 waren erg stormachtig met voornamelijk erosie van de zuidelijke suppletie-elementen 4, 5 en 7 als gevolg. Lokaal is ruim 10 cm afslag waargenomen op suppletie 4 tijdens de februaristormen van 2020, en meer ruimtelijk verspreide afslag (tot 5 cm) rondom de plaatranden tijdens stormen in februari 2022. Dergelijke ruimtelijke verschillen in stormafslag worden waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen tussen suppleties (bijv. ligging en mate van microreliëf) en de specifieke stormkarakteristieken (waterstand en wind- en golfrichting). Microreliëf dat na aanleg op de suppleties aanwezig was, was al na 2 jaar grotendeels uitgevlakt. De hoogte van het micro-reliëf op suppletie-element 3 nam bijvoorbeeld over 2 jaar af van 20 cm af naar 5 cm (één-derde van deze afvlakking vond al in februari-maart 2020 plaats). Intentioneel aanleggen van micro-reliëf heeft dus beperkte meerwaarde voor toekomstige suppleties. Naast de storm gedreven veranderingen vond er ook een continue, relatief graduele ontwikkeling plaats. Het is hierdoor waarschijnlijk dat het niet alleen de extreme stormcondities zijn die suppleties veranderen, maar in bepaalde mate ook de kalmere getijden.

---

## **Onderliggende kennisvraag morfologie 2 (paragraaf B1.7.2)**

### ***Hoe verplaatst het sediment zich over de Roggenplaat en rondom de suppleties?***

Rondom de suppleties verplaatst het sediment zich met name in noordoostelijke richting, overeenkomstig met de dominante windrichting. In totaal was de erosie van de suppleties tussen de metingen van februari 2020 en februari 2022 86.000 m<sup>3</sup>. Ongeveer 77% van dit volume (66.000 m<sup>3</sup>) verplaatst, volgens de huidige schatting, minder dan 50 m van de suppleties vandaan. Het is nog onduidelijk waar het overige sediment terecht komt. In hoeverre luwtevorming (minder golven achter de suppleties) sedimentatie achter de suppleties bevordert, zoals ook waargenomen bij de Galgeplaat suppletie, moet nog blijken. Wanneer er naar de individuele suppleties wordt gekeken, vindt er bij suppletie 1 en 6 (tijdelijk) meer depositie plaats dan erosie. Mogelijk domineert hier dus een luwte-effect. De migratie van het geultje tussen suppletie 1 en 5 en data-onnauwkeurigheid zou hierin ook een rol kunnen spelen. Verder onderzoek – wanneer ook de metingen van 2023 en 2024 beschikbaar zijn – moet (voor zover mogelijk) uitwijzen in hoeverre het verlies van sediment naar de omliggende geulen is veranderd door de aanwezigheid van de suppleties.

## **Onderliggende kennisvraag morfologie 3 (paragraaf B1.7.3)**

### ***Hoe is de sedimentsamenstelling op de Roggenplaat en specifiek de suppleties veranderd?***

Het suppletiesediment is substantieel grover dan het sediment dat al op de Roggenplaat aanwezig was. Logischerwijs is de mediane korrelgrootte van het sediment op de suppleties daarom grover (250/350 µm) dan erbuiten (175/225 µm). Over de afgelopen jaren is de korrelgrootte op alle suppleties aan het afnemen, een tijdelijke vergroving voor elementen 4 en 7 in 2021 daargelaten. Ook in de niet-gesuppleerde gebieden vertoont het sediment enige verfijning in de periode na aanleg van de suppleties (orde 10 µm afname in mediane korrelgrootte over 2020-2022, nog onduidelijk of dit een significante, blijvende verandering betreft). In de jaren na aanleg is de fractie silt op de suppleties aan het toenemen, terwijl er direct na aanleg nagenoeg geen silt op de suppleties aanwezig was. Welke mechanismen deze veranderingen in sedimentsamenstelling op de suppleties verklaren, is op basis van deze data (drie opnamen na suppleren) niet vast te stellen. Wel staat vast dat de suppleties nog niet dermate zijn geërodeerd dat het oorspronkelijke plaatmateriaal onder de suppleties is komen bloot te liggen.

## **Onderliggende kennisvraag morfologie 4 (paragraaf B1.7.4)**

### ***Zijn er niet-gesuppleerde gebieden (geulen, intergetijdengebied) die beïnvloed worden door de aanwezigheid van de suppleties, vindt er bijvoorbeeld geulvorming plaats?***

De aanwezigheid van de suppleties lijkt (zoals beoogd met het ontwerp) weinig invloed te hebben op de morfologische veranderingen van de tussenliggende gebieden. De aftakkingen van het Westgeultje tussen de suppleties veranderen nauwelijks, de uiterste aftakking tussen suppletie 4 en 5 daargelaten die een halve meter ondieper is geworden. Gebieden tussen de oostelijke suppleties zijn relatief stabiel. Door de ligging van suppleties 1 en 5 dicht bij elkaar, is in de zone ertussen een geultje ontstaan. Deze migreert met de suppletieranden iets (~10 m/jaar) naar het zuidoosten. In het eerste jaar na aanleg zijn er ook naast individuele suppleties diverse geultjes gevormd. Geultjes zijn gevormd aan de zuidoostkant van suppletie 5 (migreert noordwaarts en verdiept) en aan de zuidkant van suppletie 2 (lijkt alweer te verdwijnen).

De morfologische ontwikkeling die het Middengeultje al vóór suppleren onderging, is vooralsnog onveranderd door de suppleties. De noordoostelijke migratie van de zuidwestelijke geulwand zet ook na aanleg van de suppleties door. Wel is de gemiddelde trend van de verplaatsing iets toegenomen (van 0,9 m/jaar vóór tot 1,3 m/jaar na aanleg van de suppleties). De noordoostelijke geulwand vertoont geen sterke migratie, waardoor het doorstroomoppervlak van de geul is afgenomen. Echter, de totale trend in afname van het doorstroomoppervlak die al voor suppleren bestond is niet

---

significant veranderd. Het doorstroomvolume neemt ook af, maar ook hier is geen sprake van een significante trendbreuk in afnamesnelheid.

#### **Onderliggende kennisvraag morfologie 5 (paragraaf B1.7.5)**

##### ***Hoe is de stroming en afwatering op de Roggenplaat en in de oostelijke geul (het Middengeultje) veranderd door de aanleg van de suppleties?***

Uit metingen en modellering van de stroming komt naar voren dat er geen grootschalige, eenduidige verandering in dieptegemiddelde stroomsnelheid is opgetreden door aanleg van de suppleties. Op sommige locaties, verspreid over de hele plaat, zijn er beperkte verschillen ( $\leq 0,05$  m/s) in stroomsnelheid, terwijl er op andere locaties wel substantiële ( $> 0,1$  m/s) veranderingen zijn waar te nemen. Zo is op de suppleties (met name suppletie 4) de stroming lokaal afgenomen. Toenamen in snelheid vonden vooral plaats tussen of naast de suppleties. Uit de metingen en modellering volgt dat de stroming in het Middengeultje is afgenomen. Mogelijk komt dit doordat er door de aanwezigheid van de suppleties minder water de plaat op en af stroomt (kleinere getijdeprisma). Verder kan deze afname ook samengaan met de afname in doorstroomvolume zoals ook al waargenomen vóór suppleties. De gemeten toename in stroomsnelheid tussen suppleties 1 en 5, en ten oosten van suppletie 5 volgt ook uit de modellering. Deze toename tussen suppleties 1 en 5 is de sterkst gemeten toename ( $+0,4$  m/s) en hangt waarschijnlijk samen met het vernauwen (en daarmee versnellen) van de stroming tussen deze suppleties.

#### **Onderliggende kennisvraag morfologie 6 (paragraaf B1.7.6)**

##### ***Hebben oesterriffen een rol in het vasthouden van (gesuppleerd) sediment op de Roggenplaat?***

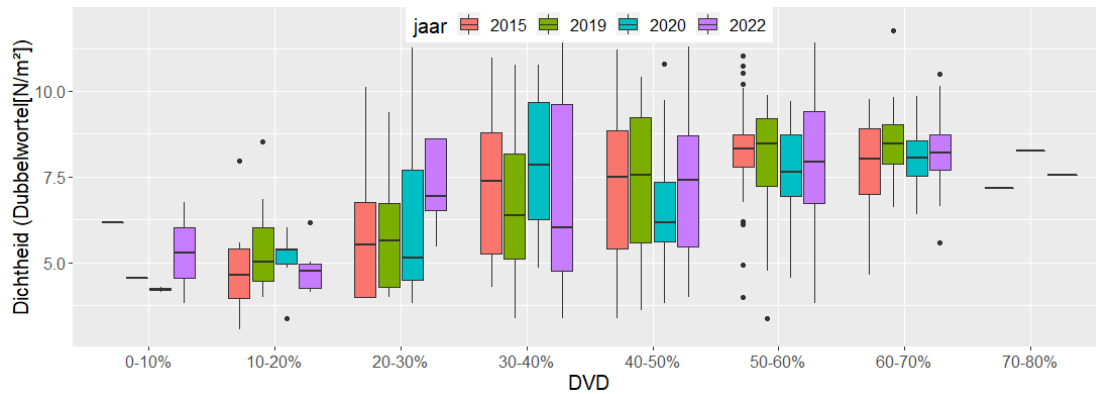
Er is in de morfologische ontwikkelingen (erosie-/sedimentatiepatronen aan de suppletieranden en op de suppleties zelf) geen aanwijzing zichtbaar voor een effect van de oesterriffen op de ontwikkeling van de suppleties. Dit komt waarschijnlijk doordat de top van de riffen ruim een meter lager ligt dan de top van de suppleties en een eventueel schaduw effect (golfdemping) dus beperkt zal zijn voor deze suppleties. Dit wil niet zeggen dat oesterriffen helemaal geen effect hebben op de suppleties. Een eventueel effect is alleen te klein om met de data aan te tonen.

## **2.2 Ontwikkeling van bodemdieren op de Roggenplaat en de suppleties**

Naast het behoud van het areaal met een droogvalduur van 50-80% (Van der Werf et al., 2016), is ook de aanwezigheid van voldoende voedsel op de Roggenplaat voor de vogels om erop te foerageren van belang. De ecologische monitoring is opgezet om de ontwikkeling van de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) op de Roggenplaat in relatie met de suppleties te evalueren.

Hoe de voedselbeschikbaarheid zich ontwikkelt op de Roggenplaat (buiten de suppleties) én op de suppletie elementen is onderwerp van evaluatievragen ecologie 1 en 2. De relaties tussen de omgevingsfactoren zoals droogvalduur, sediment samenstelling en hydrodynamica en het voorkomen en de ontwikkeling van de bodemdieren buiten de suppleties én op de suppletie-elementen, staan centraal voor kennisvragen ecologie 1 en 2. Deze waarnemingen informeren over de manier waarop de suppletie-elementen van invloed kunnen zijn op de voedselbeschikbaarheid. Een uitvoerige analyse van de ingewonnen bodemdierdata (Tabel 1-1) is te vinden in **bijlage 2**.

De controle van de bodemdiorgemeenschappen door de omgevingsfactoren en vervolgens de mogelijke effecten van de suppletie-elementen op de voedselbeschikbaarheid zijn duidelijk aangeduid door de verdeling van de bodemdierdichtheid als functie van de droogvalduur (Figuur 2-2).



Figuur 2-2. Bodemdieren totale dichtheid ( $\sqrt[3]{N/m^2}$ ) als functie van de droogvalduur (DVD) op de Roggenplaat door de jaren heen.

De bodemdieren dichtheden (Figuur 2-2) zoals de biomassa en het aantal soorten, nemen sterk toe voor droogvalduren groter dan 20% met hoogste waarden waargenomen bij droogvalduren hoger dan 50%, wat overeenkomt met het aanleggebied. Naast de droogvalduur speelt de sedimentsamenstelling een belangrijke rol in het voorkomen en ontwikkeling van bodemdieren wat duidelijk benadrukt wordt in de vergelijking tussen de suppletie-elementen (kennisvraag ecologie 2) en in de analyse van de priming experimenten (kennisvraag ecologie 3). Hierna volgt voor elke ecologische onderzoeksvraag een samenvattende beantwoording. In Bijlage 2 zijn de onderliggende analyses gepresenteerd.

### Evaluatievraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 1 (Paragraaf B2.5)

#### **Hoe ontwikkelt de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) zich op de Roggenplaat buiten de suppleties na uitvoering van de suppletie?**

Gelet op de grote invloed van droogvalduur op de bodemdieren en de rol van die factor voor de kwaliteit van de suppleties is de temporele ontwikkeling in de bodemdierengemeenschappen onderzocht na het ordenen van de waarnemingen op basis van droogvalduurklassen.

De laagste dichtheid, biomassa en soortenrijkdom zijn gevonden in de gebieden met de laagste droogvalduur (droogvalduurklassen 0-10% en 10-20%). De hoogste waarden van dichtheid en biomassa komen voor tussen droogvalduurklassen 50-60% en 60-70% waar soortenrijkdom hogere waarden bereikt tussen droogvalduurklassen 30-40% en 40-50%.

Buiten de suppleties blijven de totale dichtheid, biomassa en aantal soorten van de bodemdieren binnen de verschillende droogvalduurklassen op de Roggenplaat door de jaren heen vrij stabiel (Figuur B2-10). Dit is ook het geval voor de taxonomische samenstelling (Figuur B2-11, Figuur B2-12) en de biomassa van relevante prooidieren voor steltlopers (Figuur B2-13).

### Evaluatievraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 2 (Paragraaf B2.6)

#### **Hoe ontwikkelt de bodemdierengemeenschap zich op de afzonderlijke suppletie-elementen?**

Na een sterke afname in dichtheid biomassa en aantal soorten op alle suppleties een jaar (2020) na de suppletie nemen die drie indicatoren weer toe in 2021 en 2022 tot niveaus in de dunne suppleties die goed vergelijkbaar zijn met de waarden in de referentie locaties. De waarden van dichtheid biomassa en aantal soorten zijn hoger in de dunne (vooral S2 en S6) dan in de dikke suppleties.

De eerste jaren na de suppletie zijn vooral gekenmerkt op de suppleties door de numerieke dominantie door polychaeta en malacostraca. Tussen 2020 en 2022 neemt de bijdrage van de bivalvia aan de biomassa op de suppleties weer toe vooral op de dunste suppleties S2 en S6.

---

Op de meeste suppleties blijft in 2022 de bijdrage van de bivalvia aan de biomassa steeds lager dan in de referentie locaties. De relatief dunne suppletie S3 is gekenmerkt door een relatief trage ontwikkeling, lage biomassa en de dominantie door wormen.

#### **Onderliggende kennisvraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 1 (Paragraaf B2.7.1)**

##### ***Is het voorkomen van de bodemdiergemeenschap op de Roggenplaat gerelateerd aan droogvalduur, hydrodynamica en/of sedimentsamenstelling?***

Sedimentsamenstelling, hydrodynamica en droogvalduur zijn van belang bij het voorkomen van de bodemdierengemeenschap in de intergetijdengebieden. Deze omgevingsfactoren hebben sterke onderlinge relaties waardoor niet eenduidig is aan te wijzen welke omgevingsfactor verantwoordelijk is voor een bepaalde verandering in bodemdierengemeenschap. Een multivariate analyse op basis van de soortensamenstelling van de bodemdieren wijst op de droogvalduur (ofwel bodemhoogte) en de mediane korrelgrootte als de twee dominante factoren die het voorkomen van de soorten bodemdieren grotendeels beïnvloedt.

#### **Onderliggende kennisvraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 2 (Paragraaf B2.7.2)**

##### ***Is de ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de suppleties gerelateerd aan veranderingen in droogvalduur, hydrodynamiek, sedimentdynamiek, etc.?***

Er is een positieve relatie tussen de aanlegdikte van de suppleties, de droogvalduur en de korrelgrootte. De 'dunne suppleties', S3, S2, S1 en S6, worden gekenmerkt door een relatief korte droogvalduur en fijnere sedimentsamenstelling dan de 'dikke suppleties' S4, S5 en S7. Dit verschil zorgt waarschijnlijk voor een snellere herkolonisatie op de dunne t.o.v. de dikke suppleties.

De verfijning van de sediment samenstelling waargenomen na de aanleg op de suppleties en ook op de niet-gesuppleerde delen van de plaat zou positief kunnen bijdragen aan het herkolonisatie proces op de suppleties.

#### **Onderliggende kennisvraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 3 (Paragraaf B2.7.3)**

##### ***Kan de herkolonisationsnelheid van een suppletie bevorderd worden door het 'primen' van de suppletie met een levende bodemdierengemeenschap?***

De priming met sediment van de Roggenplaat zelf (inclusief bodemleven) versnelt de herkolonisatie. Een jaar na aanleg zijn soortendichtheden hoger op de 'geprimde' locaties (P12) dan op suppletielocaties zonder priming (S12 in Figuur B2-22). Het aanbrengen van sediment tijdens de priming zorgt voor het fijner worden van het sediment wat, naast het inenten met organismen een positief effect kan hebben op het herstel van de bodemdierengemeenschap.

De kokkelpriming leidt direct, na de suppletie (K0), zoals de priming (P0) tot hogere dichtheden en diversiteit dan op de 'kale' suppletie (S0). Een jaar na de aanleg is het verschil tussen de kokkelpriming (K12) en de suppletie zonder priming (S12) zeer beperkt (Figuur B2-22). Primen met kokkels lijkt hiermee minder efficiënt te zijn in vergelijking tot het primen met eigen sediment (inclusief bodemleven).

## **2.3 Natuurlijke oesterriffen**

Op de Roggenplaat bevinden zich natuurlijke gevormde Japanse oesterriffen, vooral langs de geulen en in het noorden langs de plaatrand. Deze riffen zijn goed functioneerde natuurlijke systemen die een grote soortenrijkdom herbergen en lokaal het sediment beschermen tegen erosie. Om deze redenen zijn de oesterriffen zo veel mogelijk ontzien tijdens de aanleg van de suppleties (Van der Werf et al., 2016). De monitoring ervan (Evaluatievraag natuurlijke oesterriffen 1) draagt bij aan de evaluatie van

---

de natuurwaardeontwikkeling van de plaat. Een volledige analyse van de ingewonnen data (Tabel 1-1) is te vinden in **bijlage 2**.

### **Evaluatievraag natuurlijke oesterriffen 1 (paragraaf B3.3)**

#### ***Hoe ontwikkelen de oesterriffen zich in de periode 2018 – 2024 op de Roggenplaat?***

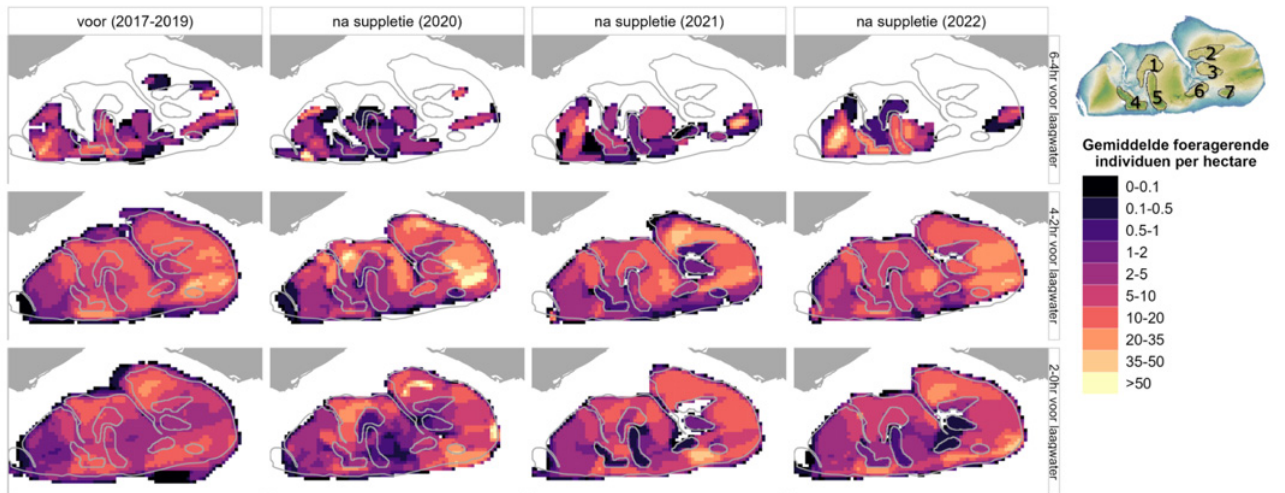
Een deel van de natuurlijke oesterriffen binnen de suppletiecontouren van de suppleties S2, S4 en S5 zijn bedolven onder het zand. De omvang van de overige oesterriffen is stabiel gebleven vanaf de aanleg tot en met 2023.

## 2.4 Vogels

Het uiteindelijke doel van de zandsuppleties van de Roggenplaat is de instandhouding van voldoende foerageergebied voor benthos-etende vogels (i.e. steltlopers en de bergeend). Specifiek gaat het om de soorten steenloper (*Arenaria interpres*), bonte strandloper (*Calidris alpina*), kanoet (*Calidris canutus*), strandplevier (*Charadrius alexandrinus*), bontbekplevier (*Charadrius hiaticula*), scholekster (*Haematopus ostralegus*), rosse grutto (*Limosa lapponica*), wulp (*Numenius arquata*), zilverplevier (*Pluvialis squatarola*), kluut (*Recurvirostra avosetta*), bergeend (*Tadorna tadorna*), zwarte ruiter (*Tringa erythropus*), groenpootruiter (*Tringa nebularia*) en tureluur (*Tringa totanus*). Om de ontwikkelingen in aantallen, soortsaamenstelling en ruimtelijk gebruik van deze en andere benthos-etende soorten in kaart te brengen zijn laagwatertellingen uitgevoerd over de jaren.

Hoe vogelaantallen, ruimtelijke verdeling en soortsaamenstelling zich ontwikkelt op de Roggenplaat, en op de suppleties is onderwerp van evaluatievragen 1 en 2. Hoe vogelaantallen, ruimtelijke verdeling soortsaamenstelling zich in verhouding tot abiotische factoren zoals droogvalduur staat centraal voor kennisvraag 1. Resultaten binnen deze vragen kunnen ons leren waarom vogels bepaalde delen van de plaat meer of juist minder gebruiken.

Een samenvattende figuur voor de vogelobservaties is hieronder te vinden (Figuur 2-3). Hier is te zien hoe de Roggenplaat ruimtelijk werd gebruikt door benthos-etende vogels voor de suppleties (2017-2019) op drie verschillende momenten voor laagwater. Als het water terugtrekt verdelen de vogels zich verder over de Roggenplaat om te foerageren. De jaren na de suppleties veranderen deze patronen deels. Een uitvoerige analyse van de ingewonnen vogeltellingen (Tabel 1-1) is te vinden in **bijlage 4**.



Figuur 2-3. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende benthos-etende vogels op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd (zie gebruikte nummering rechtsboven).

### Evaluatievraag vogels 1 (paragraaf B4.3)

#### **Hoe wordt de Roggenplaat gebruikt door benthos-etende vogels in ruimte en tijd? Welke soorten komen voor en in welke aantallen?**

De Roggenplaat wordt met laagwater bezocht door gemiddeld per teldag rond de 20.000 benthos-etende vogels (steltlopers, bergeenden en meeuwen). Hiernaast foerageren ook een aantal andere vogelsoorten op de Roggenplaat zoals rotganzen (met name op wieren) en visetende vogels zoals lepelaars en reigers. De vogels zijn geteld tussen 2015 en 2022 in maximaal acht maanden per jaar. Tellingen vonden plaat vanaf een boot die iedere twee uur om de Roggenplaat heenvoer. Hierdoor kon driemaal tijdens laagwater tussen 6 en 0 uur voor laagwater geteld worden. De resultaten laten zien dat de aantallen behoorlijk kunnen schommelen per telling en dat de soortensamenstelling verschilt per maand (Figuur B4-4). De zomer (augustus) wordt ieder jaar gekenmerkt door een grote groep kokmeeuwen (6000-9000 individuen) die in de andere maanden bijna afwezig zijn en lage aantallen van de anders frequente bonte strandloper. De scholekster (~5000 individuen) en wulp (~4000 individuen) hebben beiden hun piek in de periode augustus tot en met oktober. De wintermaanden november tot en met januari komen vrij sterk overeen qua soortensamenstelling. In deze maanden is de bonte strandloper de meest voorkomende soort (5000-9000 individuen). Het voorjaar (mei) wordt gekenmerkt door vooral grote aantallen rosse grutto's (~2000 individuen) en zilverplevier (~2000 individuen). Vogels verspreiden zich met terugtrekkend water over de Roggenplaat. Het ruimtelijk gebruik wordt verder toegelicht onder de twee kennisvragen hieronder.

### Onderliggende kennisvraag vogels 1 (paragraaf B4.3.1)

#### **Is de verspreiding van benthos-etende vogels gerelateerd aan factoren zoals droogvalduur, sedimentsamenstelling (vocht) en voedselkwaliteit?**

Verspreiding van steltlopers, bergeenden en meeuwen is gerelateerd aan droogvalduur. Ze beginnen met foerageren vroeg in het getij op de hogere delen van de plaat waar ze dan voorkomen in relatief hoge dichtheden. Vervolgens bewegen ze deels mee met het wegtrekkende water naar lagere delen op de Roggenplaat. Rond de laagwaterperiode (2-0 uur voor laagwater) zijn de dichtheden per hectare lager omdat de plaat dan grotendeels droog ligt en vogels zich meer over de plaat hebben verspreid. Soorten verschillen in hun voorkeur voor droogvalduur per telmoment (Figuur B4-19). Zo zit de zilvermeeuw 2 tot 0 uur voor laagwater op de allerlaagste delen van de plaat. De rosse grutto lijkt ook een sterke voorkeur te hebben voor de allerlaagste gebieden in deze telperiode. De wulp blijft daarentegen in het algemeen relatief hoog op de plaat, maar is vroeg in het getij ook al wel in relatief

---

hoge aantallen op relatief lagere delen aanwezig, die gedurende de eerste telronde nog deels onder water staan. Andere soorten zitten meer 'op een kluitje' vroeg in het getij en verspreiden zich meer over de plaat wanneer dit kan, zoals de bonte strandloper, kanoet en zilverplevier (Figuur B4-7, 8 & 12). Andere variabelen zijn waarschijnlijk ook belangrijk in het verklaren van verspreiding van vogels, zoals sedimentsamenstelling, bodemdiersamenstelling en -dichtheid en mogelijk het vochtgehalte in het zand. Deze variabelen zullen in de eindrapportage aan bod komen.

### **Onderliggende kennisvraag vogels 2 (paragraaf B4.3.2)**

#### ***Hoe worden de suppleties benut door benthos-etende vogels in vergelijking tot niet-gesuppleerde delen van de Roggenplaat?***

Foerageerdruk, aantallen benthos-etende vogels en soort samenstelling op de gehele plaat lijken niet enorm veranderd te zijn na de suppleties (Figuur B4-17). Ook is het patroon tussen foeragerende vogels en droogvalduur grotendeels vergelijkbaar voor en na de suppleties (Figuur B4-16). Maar vogels zijn de plaat na de suppleties wel anders gaan gebruiken in ruimtelijke zin (Figuur 2-3 & B4-20). Vogels vermeden de gesuppleerde delen direct na de aanleg grotendeels. Hierdoor is de foerageerdruk (aantal vogeluren 6-0 uur voor laagwater) in de jaren na de werkzaamheden op plekken waar is gesuppleerd lager dan voorheen, vergeleken met gebieden met een vergelijkbare droogvalduur. De foerageerdruk nam op gesuppleerde delen af na de suppleties eind 2019, met name in droogvalduurcategorieën 40-60% en 60-80%. In 2022 lijkt de foerageerdruk op de suppleties tussen gebieden in de categorie 60-80% wel weer bijgetrokken. Wanneer we inzoomen op de suppleties zelf, is te zien dat sommige suppleties weer min of meer terug zijn op de foerageerdruk van voor de suppleties, zoals suppletie S3, S5, S1 en S4. Dit wordt deels veroorzaakt doordat vogels op sommige suppleties eerder in het getij aanwezig zijn op de suppleties, omdat deze hoger liggen en dus eerder droogvallen (6 tot 4 uur voor laagwater). Later in het getij (2 tot 0 uur voor laagwater) zitten er over het algemeen nog steeds minder vogels op de suppleties, mogelijk doordat een deel van de benthos-etende vogels de waterlijn volgt en hoger gelegen gebieden daarom minder interessant zijn met laagwater. Op suppletie S3 zijn in het laatste jaar (2022) opvallend veel scholeksters en kokmeeuwen waargenomen die op de suppletie foerageren. Suppletie S4 werd in 2022 meer dan voorheen bezocht door drieteenstrandlopers.

## **2.5 Zeehonden**

De gewone zeehonden gevonden op de Roggenplaat behoren tot de Deltapopulatie met als belangrijkste leefgebieden de Voordelta, Westerschelde en de Oosterschelde (Van der Werf et al., 2016). Deze populatie neemt sinds het einde van de jaren negentig sterk toe. De Roggenplaat is de enige belangrijke lig- en zoogplaats van Gewone Zeehond jongen in de Oosterschelde. Daardoor is het van belang om waar te nemen hoe de aanwezigheid van de zeehonden op de plaat door de jaren heen varieert in relatie tot de aanleg van de suppleties. Een uitvoerige analyse van de ingewonnen data (Tabel 1-1) is te vinden in **bijlage 5**.

### **Evaluatievraag zeehonden 1 (paragraaf B5.3)**

#### ***Hoe ontwikkelt de zeehondenpopulatie zich op de Roggenplaat sinds 2018 (in vergelijking met de Oosterschelde populatie)?***

Zeehonden tonen een duidelijke seizoensvariatie aan met hogere aantallen op de Roggenplaat tussen juni en augustus. Er is geen duidelijke jaarlijkse trend gevonden in de hoogte van deze zomerwaarden mogelijk in verband te brengen met de aanleg van de suppleties. De verschillen tussen de Roggenplaat en de rest van de Oosterschelde op basis van maandelijkse dan wel jaarlijkse gemiddelden in zeehonden aantallen zijn niet significant verschillend.



---

# 3 Samenhang tussen de ecomorfologische karakteristieken van de suppleties en het gecreëerde foerageergebied

## 3.1 Inleiding

De monitoring van de Roggenplaat heeft tot dusver veel kennis en data opgeleverd over de morfologie, bodemdieren en vogels van zowel voor, tijdens als na de aanleg van de suppleties. Dit heeft voor elk onderdeel inzichten gegeven in de ontwikkelingen en processen tot en met de eerste drie jaar na aanleg in relatie tot de aanwezigheid van de suppleties (zie Hoofdstuk 2 en de bijlagen). Bijvoorbeeld aangaande het effect van droogvalduur en sedimentsamenstelling op de verspreiding van bodemdieren en vogels. In dit hoofdstuk wordt – met de metingen van de ontwikkeling over de eerste drie jaar na aanleg – ingegaan op de samenhang tussen de verschillende onderzoeksgebieden voor zover dat met de tot nu toe beschikbare data mogelijk is.

Het doel van dit hoofdstuk is om de belangrijkste waarnemingen met betrekking tot de ontwikkelingen van de benthos-etende vogels op de Roggenplaat na de aanleg van de suppletie te geven. Dit met een eerste duiding over de samenhang van de ontwikkelingen van de vogels met de geomorfologie en benthos. Dus wat is waargenomen, hoe kan dat verklaard worden en welke stappen zijn nodig om uiteindelijk tot een integrale duiding van de ontwikkelingen te komen? Benadrukt moet worden dat de ontwikkelingen van de Roggenplaatsuppleties nog gaande zijn en dat in het rapport na de T5 metingen (t/m 2024) de ontwikkelingen en relaties in meer volledigheid en met meer zekerheid kunnen worden geduid. Dit hoofdstuk voorziet daarom ook in een toelichting van de vervolgstappen die voorzien zijn in deze integrerende analyse.

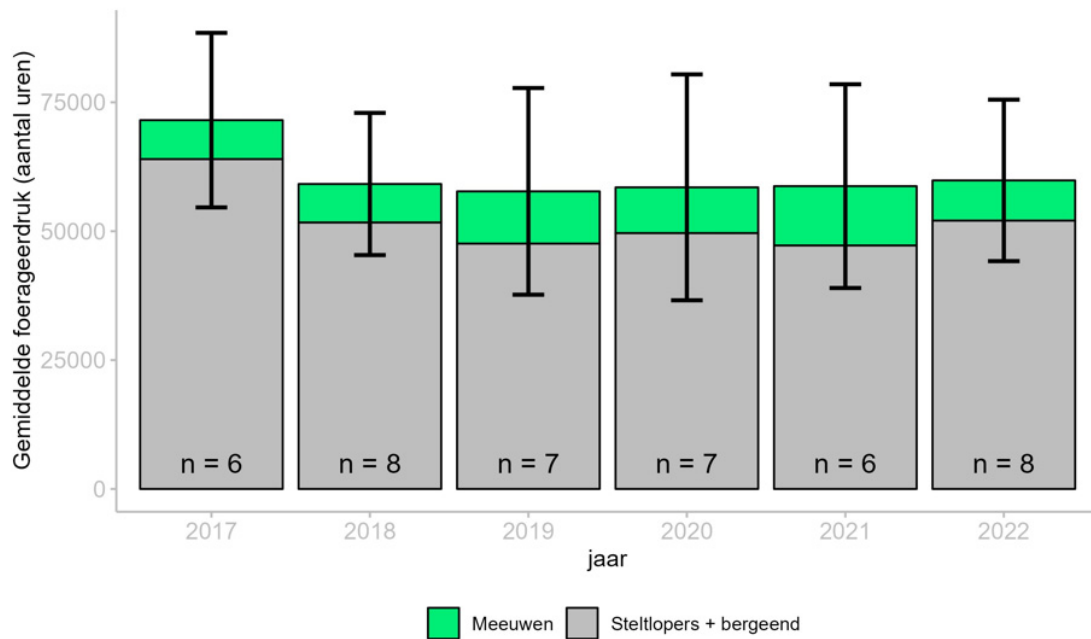
Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd:

- **Sleutelobservaties en voorlopige duiding**, vat de belangrijkste observaties samen vanuit het perspectief van de instandhouding van foerageergebied voor benthos-etende vogels. Hier geven we tevens een voorlopige duiding op basis van een integrale beschouwing van de beschikbare gegevens (dus op basis van Hoofdstuk 2 en de bijlagen).
- **Hypothesen en ontwikkeling van een conceptueel model**, waar we bespreken welke relaties we verder willen gaan onderzoeken, vertrekkend vanuit de beschikbare en nog te verkrijgen data en op basis van huidige inzichten in de literatuur om te bepalen welke factoren van belang zijn voor het vormgeven van een succesvol foerageergebied.
- **Vervolgstappen**, verdere analysestappen die voorzien zijn om de samenhang tussen de verschillende onderzoeksgebieden (morfologie, bodemdieren, vogels) verder te verklaren ten bate van een scherper begrip over hoe succesvol foerageergebied kan worden gerealiseerd.

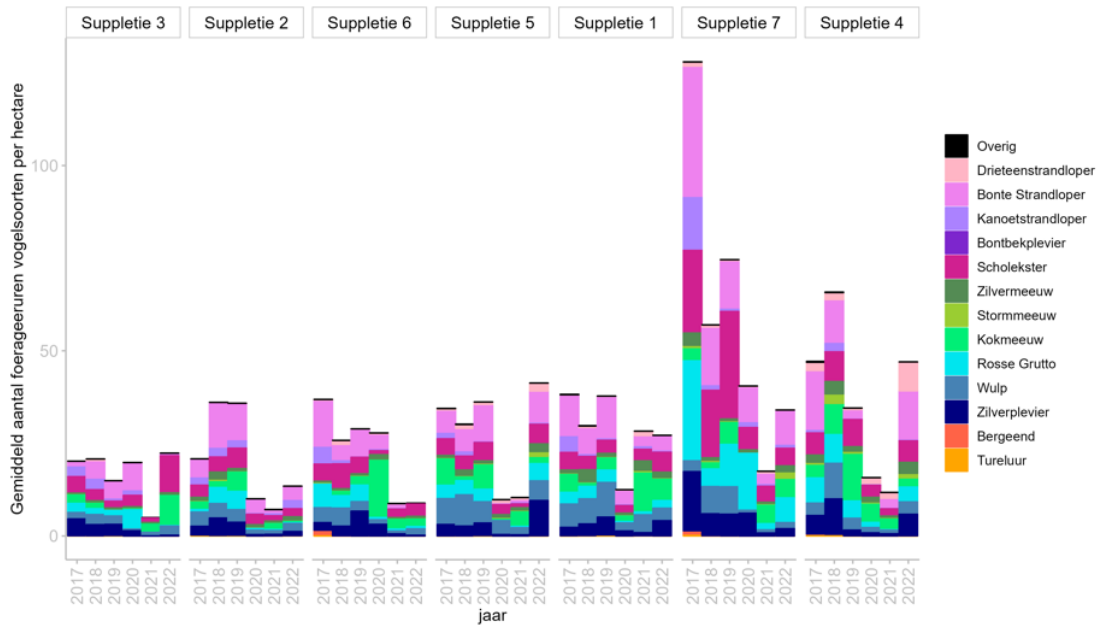
## 3.2 Sleutelobservaties van het foerageergebied en een voorlopige duiding van de samenhang

Het doel van de Roggenplaatsuppletie is het behouden van voldoende hoogwaardige foerageergebieden, gekenmerkt door een rijke macro-benthische fauna (i.e. bodemdierengemeenschap), om benthos-etende vogels als steltlopers en bergeend te behouden. Alle suppletie-elementen ontwikkelen zich sinds de aanleg en deze ontwikkelingen zijn nog steeds gaande. Toch is het totale aantal vogels en de gemiddelde foerageerdruk op de Roggenplaat min of meer stabiel gebleven tijdens en na het aanbrengen van de suppletie-elementen (Figuur 3-1). Verder lijken alle suppleties qua samenstelling en dichtheid van de bodemdierengemeenschap steeds meer op vergelijkbare locaties binnen de referentiegebieden. Dus alhoewel veranderingen in abiotische en biotische omstandigheden nog gaande zijn, kunnen we op basis van de monitoring tot dusver voorzichtig concluderen dat het foerageergebied op de suppleties steeds verder verrijkt.

Over het algemeen is er geen duidelijk effect van de aanleg en aanwezigheid van de suppletie-elementen op de aantallen en soortensamenstelling van de waargenomen benthos-etende vogels, als naar de Roggenplaat in geheel wordt gekeken (par. B4.3, Fig. B4-2). Zowel voor als na aanleg varieert het gebruik van de gehele Roggenplaat als foerageergebied in totale hoeveelheden benthos-etende vogels op de Roggenplaat sterk in de tijd en zijn geen duidelijke veranderingen als gevolg van de suppleties waarneembaar. Het ruimtelijk gebruik van de Roggenplaat door vogels als foerageergebied is wel sterk veranderd (par. B4-3, ). Wat opvalt is dat vogels in de eerste jaren na aanleg de suppleties mijden. De vogels gaan sommige delen buiten de suppleties van de Roggenplaat juist in grotere dichtheden gebruiken (Fig. B4-8). In het laatst geanalyseerde jaar (T3/2022) zijn de suppletie-elementen alweer meer in gebruik, al is de soortensamenstelling nog anders (Figuur 3-2).



*Figuur 3-1. Foerageerdruk (aantal vogeluren 6-0 uur voor laagwater) per dag gemiddeld over het jaar met weergave van de standaarddeviatie. Binnen elke bar staat het aantal maanden (n) dat is gebruikt om het gemiddelde te berekenen. In 2021 is als enige jaar ook een telling uitgevoerd in juni. Omdat aantallen fors lager lagen in deze maand is deze weggelaten in het berekenen van het gemiddelde (zie ook Figuur B4-2). In deze barplot is onderscheid gemaakt tussen steltlopers + bergeend en meeuwensoorten.*



Figuur 3-2. Gemiddeld aantal Foerageeruren per hectare van benthos-etende soorten op de verschillende suppleties, geordend van de dunste naar de dikste suppletie.

Het veranderend gebruik van de Roggenplaat net na aanleg en de recentere gedeeltelijke terugkeer van de vogels op de gesuppleerde delen van de plaat kan mogelijk verklaard worden vanuit de waargenomen ontwikkelingen van de bodemdieren op de gesuppleerde delen. Vogels vermeden in de eerste jaren de suppletie-elementen mogelijk omdat er direct na aanleg nog weinig bodemleven aanwezig was. Echter, in de gebieden buiten de suppleties bleven de totale dichtheid, biomassa en aantal soorten bodemdieren stabiel (Fig. B2-6), ook van de relevante prooidieren (Fig. B2-20). Vogels konden dus uitwijken naar de niet-verstoorde delen van de plaat om daar te foerageren ten tijde dat er op de suppletie-elementen nog onvoldoende herkolonisatie had plaatsgevonden. Inmiddels zijn de bodemdieren deels teruggekeerd, met name op de lagere/dunnere suppleties (par. B2.4.1, Fig. B2-17&18), waardoor het voor de vogels waarschijnlijk interessanter is geworden om die suppletie-elementen te gaan benutten. Herstel van soortenrijkdom is op de suppletie-elementen echter nog niet volledig in vergelijking met referentiegebieden van vergelijkbare droogvalduur. Er worden bijvoorbeeld momenteel (nog) verhoudingsgewijs meer borstelwormen aangetroffen (Fig. B2-18). Wat mogelijk ook deels verklaart waarom het gebruik van suppleties op de Roggenplaat door de vogels niet volledig hersteld is.

Ook de veranderingen in droogvalduur als gevolg van de aanleg van de suppleties zijn een mogelijke verklaring van het veranderde ruimtelijk gebruik door de vogels, omdat een deel van de benthos-etende vogels de waterlijn volgt. Daardoor zijn de hoger gelegen gebieden op de suppleties minder interessant tijdens laagwater. Het gebruik van de foerageerdruk kan deze verschuivingen binnen het getij inzichtelijker maken. De gemiddelde foerageerdruk als functie van de droogvalduur laat een vergelijkbaar patroon voor en na aanleg van de suppleties zien (Fig. B4-15). Voor de meeste vogelsoorten (Fig. B4-18) is het patroon van de foerageerdruk weer vergelijkbaar met het patroon voor aanleg van de suppleties. Maar de kokmeeuw en kanoetstrandloper lijken na de suppleties nog steeds delen met een andere droogvalduur te gebruiken vergeleken met voor de suppleties. De piek aan aantal kokmeeuwen en kanoetstrandlopers zit nu op plekken met een iets lagere droogvalduur (Fig. B4-18). Wat hiervan de oorzaak is, is nog onbekend, maar kan een relatie hebben met de veranderde sedimenteigenschappen (par. B1.7.3, par. B2.4.1) en het nog niet volledig herstellen van het bodemleven op de suppleties. Dergelijke relaties en responsen zullen verder getoetst en onderzocht moeten worden wanneer ook de T4 en T5 metingen beschikbaar zijn. Maar de waarnemingen tot dusver in de verspreidingspatronen van benthos-etende vogels weerspiegelen duidelijk hun adaptieve respons op de temporele en ruimtelijke variabiliteit in droogvalduur en de beschikbaarheid van voedsel op de plaat als gevolg van de suppletie-elementen.

---

De veranderingen in de abiotische omstandigheden hebben een duidelijk effect op het bodemleven (par. B2.4.1) wat dus ook direct het aantal benthos-etende vogels lijkt te beïnvloeden (par. B4.3). De monitoringsdata hebben verder bevestigd dat een te laag slibgehalte een negatief effect heeft op de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap. We zien dat de aanleghoogte/-dikte (direct gerelateerd aan de droogvalduur) een effect op de herkolonisatie heeft. Hoe dunner/lager de suppletie-elementen, des te sneller herkolonisatie op het suppletie-element plaatsvindt. Afwijkingen op deze relatie (met name betrekking op suppletie element 3) kunnen mogelijk veroorzaakt zijn door een grovere sedimentsamenstelling (par. B2.4.1). Ook het suppletie-element waar geëxperimenteerd is met 'priming' door het terugleggen van de toplaag met relatief slibbig, gebiedseigen materiaal laat een volledig herstel van dichtheid en biomassa een jaar na aanleg zien (Fig. B2-22). Dit is wederom een aanwijzing dat de sedimenteigenschappen een sleutelrol kunnen spelen bij het herkoloniseren van de suppleties. De suppleties hadden, met name direct na aanleg, een lagere slibfractie en grotere korrelgrootte dan het omliggende sediment (Fig. B1-48). Wel neemt in de jaren na aanleg de korrelgrootte op de suppletie-elementen af (Fig. B1-52) en neemt het slibgehalte wat toe (Fig. B1-53), waardoor met de tijd de omstandigheden voor herkolonisatie mogelijk wat verbeteren.

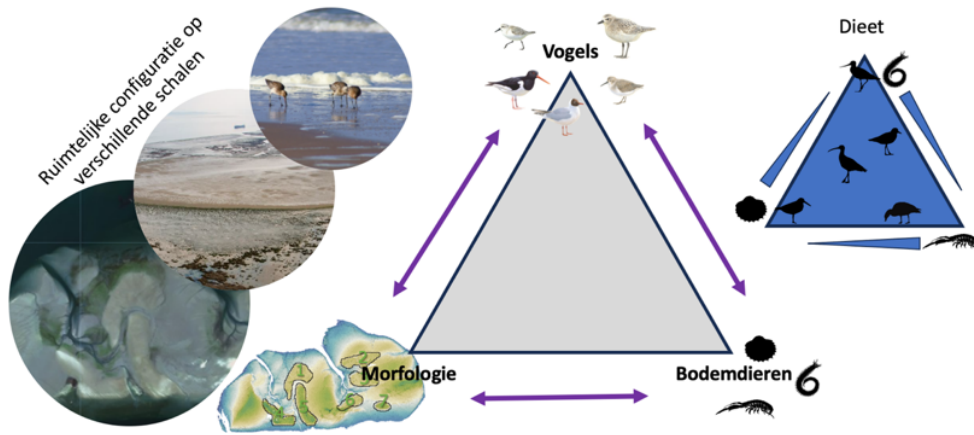
In de eindrapportage waarin de T4 (2023) en de T5 (2024) metingen zijn verwerkt, zullen deze sleutelobservaties en duidingen van de samenhang verder worden uitgewerkt. Daartoe zullen ook inzichten uit de literatuur (volgende paragraaf) verder worden benut.

### 3.3 Hypothesen met betrekking tot de samenhang van ecologische factoren

Het hoofddoel van de suppletie van de Roggenplaat is "Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor de komende 25 jaar" (van der Werf et al. 2016b). In de context van zandhonger en zeespiegelstijging zullen de intergetijdengebieden in de Oosterschelde sterk in ecologische waarde achteruitgaan wanneer niet wordt ingegrepen. Dit impliceert voor het 'behoud van de foerageerfunctie' de volgende twee uitgangspunten:

1. Het op hoogte houden van de platen zodat ze elk getij lang genoeg droogvallen om effectief beschikbaar te blijven voor de foerageeractiviteiten van de vogels.
2. Ervoor zorgen dat de platen in kwaliteit (bodemleven) aantrekkelijk blijven voor de vogels als foerageergebied.

Waar zandsuppleties een directe oplossing bieden voor het eerste uitgangspunt, blijkt het tweede uitgangspunt uitdagender om te realiseren. In de voorstudie voor de aankomende suppletie in het Middengebied van de Oosterschelde (De Vet et al. 2023) werd benadrukt dat de maakbaarheid van het foerageergebied in de Oosterschelde niet vanzelfsprekend is omdat de foerageerfunctie van een gebied zich niet beperkt tot alleen de toegankelijkheid (droogvalduur) voor vogels bij laagwater maar ook afhankelijk is van de aanwezigheid van bodemdieren die vooral gestuurd worden door factoren als droogvalduur, sedimentsamenstelling en vochtigheid van de bodem.



Figuur 3-3. Eerste conceptualisering van de samenhang tussen morfologie, bodemdieren en vogels . De aanwezigheid van vogels wordt bepaald door zowel morfologische kenmerken van de getijdenplaat als de beschikbaarheid van bodemdieren (centraal deel figuur). Morphologische eigenschappen verschillen per schaalniveau (linkerdeel figuur) van lokale bodemeigenschappen (b.v. korrelgrootte, slib- en watergehalte), naar afwisselende landschapsmozaïek (bv met poeltjes, macroalgen en oesterriffen) op schaal van tientallen meters, naar droogvalduur patronen op schaal van de gehele getijdenplaat hebben invloed op de aantrekkelijkheid van het gebied voor vogels. De lokale sedimenteigenschappen bepalen tevens voor een belangrijk deel de aanwezigheid en samenstelling van de bodemdierengemeenschap. De vogelsoort-specifiek morfologische eigenschappen (bv snavelengte en -vorm) in combinatie met penetreerbaarheid van het sediment bepalen de voedselbeschikbaarheid en dieet van de vogels (rechterdeel figuur). Vogels en bodemdieren hebben mogelijk ook een effect terug op de morfologie door hun activiteiten welke zorgen voor bioturbatie van het sediment maar deze interacties maken geen onderdeel van deze monitoringstudie. De relaties welke onderdeel zijn van de monitoring zullen nader worden onderzocht in de vervolgstappen richting de eindrapportage (T5).

Bekend is dat de verspreiding van benthos-etende vogels nauw verbonden is met een samenhang van verschillende factoren (Fig. 3-3), zoals de droogvalduur, de sedimentsamenstelling (welke o.a. van invloed is op het vochtgehalte van de bodem) en de kwantitatieve en kwalitatieve voedselbeschikbaarheid. De getijdendynamiek en hoogteligging dicteren de droogvalduur en daarmee de dagelijkse beschikbaarheid van foerageergebieden voor benthos-etende vogels. In De Vet et al. (2023) zijn de resultaten gerapporteerd van een enquête uitgevoerd onder Nederlandse ornithologen naar hun inzicht en eigen definitie van een goed foerageergebied (expert judgement) op basis van een aangereikte lijst van morfologische karakteristieken ter becommentariëring en/of aanvulling. Aan de hand van de enquête droegen de deelnemers de volgende aandachtspunten aan:

- Belang van de aanwezigheid van hoogwatervluchtplaatsen in de buurt;
- Meanderende dieptelijn zorgt voor een langere waterlijn in combinatie met flauwe helling voor het vergroten van het oppervlak vooral van laaggelegen delen;
- Aanwezigheid van poeltjes en 'open oesterriffen' als microlandschap;
- Slibbig en (daardoor) vochtig sediment zorgen voor specifieke prooien zoals o.a. nonnetjes voor de kanoet maar het moet ook niet te slibbig worden.

Op basis deze inzichten en vanuit de bijdrage van de deelnemers aan de enquête kunnen we dus stellen dat de aanwezigheid van vogels en bodemdieren waar de vogels vervolgens op kunnen foerageren dus sterk samenhangt met de geomorfologie. Dit wordt bevestigd door de resultaten besproken in voorliggende rapportage (zie Hoofdstuk 2 & bijlagen). Denk daarbij aan vorm en structuur van de plaat (morfologie) die een rol spelen bij de ruimtelijke configuratie van het foerageerhabitat en mogelijk ook bij het beïnvloeden van het gedrag en het succes van steltlopers op de plaat. Op kleinere schaal zijn de sedimenteigenschappen weer bepalend voor de geschiktheid van de macro-fauna benthosgemeenschap en het soort-specifieke foerageergedrag- en succes (energie opname en uitgave) van de individuele vogels. Er zijn dus verschillende schalen en mechanismen waarop geomorfologie benthos-etende vogels beïnvloedt, we doorlopen deze van klein- naar grootschalig en de hypothesen die hieruit voortkomen:

---

## Sedimentsamenstelling

Naast de droogvalduur is de sedimentsamenstelling bepalend voor de aanwezigheid van de bodemdiersoorten (van der Meer, 1991; Escaravage et al., 2003; Zwarts et al., 2008; Wijsman et al., 2023) wat in verband gebracht is met het foerageergedrag van vogels (Blomert, 2002; Horn et al., 2020; van Kleunen, 1999; Zwarts, 1988). In de Westerschelde foerageren meer vogels op slibrijk substraat (>25% slib) dan op zandig substraat (van Kleunen, 1999). Dit geldt ook voor de meeste steltlopers in de Oosterschelde zoals de kluut, scholekster, zilverplevier, bontbekplevier en rosse grutto die de voorkeur hebben voor gebieden met meer slib en/of organisch materiaal (van der Kam et al., 1999; van der Zee et al., 2012; van Kleunen, 1999; Zwarts, 1988). Ook aantallen van bonte strandlopers lijken meestal hoger in slibrijke gebieden, alhoewel er ook een relatie is met seizoenen en het voorkomen van de bepaalde prooi-soorten (Blomert, 2002; Nehls & Tiedemann, 1993; van Kleunen, 1999). De foerageertechniek waarmee bergeenden wadslakjes en andere prooi-soorten uit het sediment filteren is vooral efficiënt op slibrijke bodems met een hoog watergehalte (Blomert, 2002). Waar de meeste soorten de voorkeur geven aan gebieden met een relatief hoog slibgehalte kunnen te hoge slibconcentraties het foerageergedrag van sommige vogels verhinderen. Zo mijden de op schelpdieren foeragerende scholeksters en kanoetstrandloper te zachte (slibrijke) bodems en is de drieteenstrandloper juist vaker te vinden op zandigere stukken (Blomert, 2002; Zwarts et al., 1992).

## Vochtgehalte van het sediment

Het vochtgehalte van het sediment tijdens droogval is geen parameter die we direct meten als onderdeel van de monitoring, maar blijkt een positief effect te hebben op de bodemdieren biomassa in intergetijdengebieden (Borsje et al., 2012, Schaap, 2012) en dus op de voedselbeschikbaarheid voor vogels. Daarnaast faciliteert de sediment vochtigheid het detecteren en beetkrijgen van prooi door vogels zoals o.a. de kanoetstrandloper (van der Kam et al., 1999) de bonte strandloper (Colwell & Landrum, 1993; Horn et al., 2019) en de tureluur (van der Kam et al., 1999). Ook de scholekster (Blomert, 2002) kan kokkels makkelijker openen als ze in nat sediment nog een beetje open staan. De voorkeur van vogels voor vochtige bodems verklaart dat vele soorten tijdens het foerageren de waterlijn volgen en/of vaker voorkomen op de lager gelegen en natte delen zoals de rosse grutto, de steenloper, de tureluur en de groenpootruiter die graag in kleiner geulen foerageert (Blomert, 2002; van Kleunen, 1999).

De sedimentvochtigheid is sterk gerelateerd aan sedimentsamenstelling en droogvalduur. Van Dusen et al. (2012) observeren dat het water tijdens droogval langer blijft staan op slibrijke sedimenten dan op zandige sedimenten. Deze bevindingen zijn bevestigd door veldmetingen die zijn beschreven in Drabsch (1999) waar het oppervlaktesediment op platen met een flauwe helling vochtig of zelf bedekt met water kunnen blijven bij laag water als gevolg van de hydraulische conductiviteit van het sediment (capillaire zuigkracht). Die hydraulische conductiviteit wordt vooral door de korrelgrootte bepaald waar een geringe toename in slib grote gevolgen kan hebben op het vermogen van plaatdelen om water vast te houden bij laag water.

De sedimenteigenschappen als gevolg van de samenstelling (i.e., slibgehalte) en vochtigheid beïnvloeden dus hoe de vogels het intergetijdengebied kunnen gebruiken en betreden en het gemak waarmee het voedsel uit de bodem gehaald kan worden (de energie investering/uitgave). Echter, er is relatief weinig inzicht in hoe de sedimenteigenschappen dit energie inname en uitgave in potentie kunnen beïnvloeden. De foerageerefficiëntie wordt mogelijk geoptimaliseerd door het energieverbruik te minimaliseren.

## Droogvalduur en afwatering

De droogvalduur is bepalend voor de aanwezigheid van bodemdiersoorten (van der Meer, 1991; Escaravage et al., 2003; Zwarts et al., 2008; Wijsman et al., 2023). Daarnaast wordt de mogelijkheden voor de vogels om te foerageren bepaald door de hoogteligging en het substraat (met slibgehalte als belangrijkste sediment karakteristieken) en de afwatering daarvan. Dus het getijverschil, de aanwezigheid van getijdengeulen en andere topografie beïnvloeden zeer waarschijnlijk het watergehalte en daarmee de beschikbaarheid van benthos als prooidieren doordat bodemvocht de penetreerbaarheid van het sediment bepaalt. Verschillende hoogtes en

---

substraatsamenstellingen creëren diversiteit in foerageermogelijkheden door de verschillen in penetreerbaarheid en bodemvocht.

Ook de hellingshoek van een plaat werd door Drabsch (1999) aangemerkt als een belangrijke factor bij het 'vasthouden' van het water in de bovenlaag van de plaat omdat het de afwatering beïnvloedt. Een discontinuïteit in het profiel gecreëerd bijvoorbeeld door getijstroming of golven, zorgt voor een verlaging van de hydrostatische druk waardoor het water uit de bovenlaag door deze 'opening' weg kan lekken om afgevoerd te worden via een afwateringsgeul. Daarnaast wordt een flauwe helling ook genoemd in de Vet et al. (2023) als een voordeel voor de vogels die langs de waterlijn foerageren. Een flauwe helling zorgt ervoor dat een groter oppervlak aan foerageergebied op hetzelfde moment beschikbaar is voor deze vogels. Echter zullen deze mogelijke topografische invloeden op het foerageergedrag nader moeten worden onderzocht.

### **Soort-specifieke voedselbeschikbaarheid & microhabitat-voorkeuren**

De mogelijkheden voor de vogels om te foerageren worden niet alleen bepaald door de hoogteligging en het substraat (sediment karakteristieken). Soort-specifieke verschillen tussen vogels en de verticale benthos-samenstelling creëren diverse foerageermogelijkheden. Zo hebben de verschillende vogels verschillende diëten (b.v. Leopold et al. 2004). Deze verschillen komen tot uiting in de morfologische verschillen tussen vogels, bijvoorbeeld tussen lengte en vorm van de snavels (Bocher et al., 2014; Nebel & Elnor 2005; Nebel & Thompson 2011). Maar ook in de ratio tussen pootoppervlakte en gewicht waardoor ze makkelijker of minder gemakkelijk op slib kunnen lopen (van de Kam et al., 2017). Morfologische diversiteit maakt het naast elkaar bestaan van meerdere soorten steltlopers binnen hetzelfde intergetijdenhabitat mogelijk, waarbij elk de kenmerken exploiteert die passen bij hun ecologische en trofische niche (Fig. 3-3). Dus alhoewel we op de Roggenplaat een patroon van foerageergedrag van de vogels als functie van de droogvalduur gemiddeld genomen na suppletie zien dat vergelijkbaar is met het patroon voor suppletie (Fig. B4-15), zijn er echter soort-specifieke uitzonderingen (Fig. B4-18). Deze houden mogelijk verband met de substraatsamenstelling en/of voorkomen en voedselbeschikbaarheid van benthos en de soort-specifieke geomorfologische eisen die verschillende soorten aan het intergetijdengebied stellen.

De benthos-etende vogels lijken voorkeuren voor specifieke droogvalduren te vertonen alvorens ze op de Roggenplaat arriveren om te foerageren (Fig. B4-18). Dit suggereert dat ze hun activiteiten strategisch afstemmen op perioden van optimale toegankelijkheid van benthos als prooidieren. De samenstelling van het sediment, met name het vochtgehalte, speelt een cruciale rol bij het vormgeven van het bodemleven en beïnvloedt vervolgens de overvloed en diversiteit van de prooien. Bepaalde soorten steltlopers lijken voorkeuren voor sediment met een specifiek vochtgehalte te vertonen, omdat dit het gemak van extractie van de prooien uit de bodem beïnvloedt.

### **Ruimtelijke configuratie van de Roggenplaat en de suppletie-elementen**

Naast dat de ruimtelijke configuratie van de Roggenplaat en de aangebrachte suppletie-elementen droogvalduur en de afwatering beïnvloedt, bepalen ze op grote schaal de (visuele) kenmerken van het gebied en daarmee mogelijk de aantrekkelijkheid voor vogels om op de plaat te komen foerageren. De morfologische kenmerken zoals open oesterriffen, poeltjes en meanderende hoogtelijnen beïnvloeden de algehele structuur van het foerageergebied. Deze configuratie beïnvloedt zeer waarschijnlijk de ruimtelijke verspreiding van benthos-etende soorten zoals ze zijn waargenomen. Het aantal vogels is namelijk niet zozeer afgenomen, maar ze hebben zich wel herverdeeld over de plaat (par. B4-3). Dit beïnvloedt mogelijk hun onderlinge interacties en concurrentie om prooidieren. Maar hier is nadere duiding van de verzamelde en nog te verzamelen gegevens nodig. Ook is er tot dus toe niet diepgaand gekeken naar de hoogwatervluchtplaatsen in relatie tot het foerageergebied op de Roggenplaat. Mogelijk houden benthos-etende vogels rekening met de afstand tussen hoogwatervluchtplaatsen en foerageergebieden in hun keuze welke gebieden aan te doen.

Een belangrijke vervolgstap is, om naar aanleiding van bovenstaande eerste duiding en eerste aanzet tot conceptualisering (Fig. 3-3) verder uit te werken. Dat kan bijvoorbeeld aan de hand van het opstellen van een conceptueel model tot een diagram van bekende correlaties en causale relaties. De complexe interacties en in potentie diverse en verschuivende causaliteit die hiermee zichtbaar worden tussen de deelgebieden (vogels, bodemdieren en morfologie) onderstrepen het belang van het in

---

aanmerking nemen van de morfologische context bij het beoordelen van de geschiktheid van getijdenplaten voor benthos-etende vogelpopulaties en het vormgeven van instandhoudingsstrategieën voor de verschillende vogelsoorten. Dus een beter begrip van de samenhang tussen morfologie, benthos en de voegecologie, op basis van een dergelijk conceptueel model, kan voor een verdere verhoging van de effectiviteit van suppleties ten bate van herstel van foerageergebieden zorgen.

### 3.4 Plan van Aanpak voor verdere integratie

De kortlopende ontwikkelingen op de Roggenplaat sinds de aanleg van de suppleties zijn aan sterke veranderingen onderhevig waardoor een volledige en sluitende duiding momenteel niet mogelijk is. Het is bijvoorbeeld onzeker hoe de suppleties zich op middellange en lange termijn zullen ontwikkelen (oftewel zetten de huidige trends door of veranderen deze) en of de eigenschappen uiteindelijk vergelijkbaar zullen worden met de niet-gesuppleerde delen van de Roggenplaat. Om grip te krijgen op de effectiviteit van de suppleties zal de monitoring en evaluatie in ieder geval nog de periode tot en met T5/2024 beslaan en mogelijk ook op langere termijn (in beperktere vorm) opvolging vereisen.

Een cruciale vervolgstap omvat de verdere integratie tussen de deelgebieden morfologie, bodemdieren en vogels. Hoewel oorzaak-gevolg ketens voor morfologie en bodemdieren deels in kaart zijn gebracht, blijven voor vogels de soort-specifieke oorzaak-gevolg ketens grotendeels onbepaald. Het stappenplan voor verdere integratie omvat:

- Organiseren van discussies/uitwisselingsmomenten tussen de partners.
- Nadere uitwerking van een conceptueel begrip van het foerageergebruik van de Roggenplaat(suppleties) en de (a)biotische processen die deze sturen.
- Onderzoeken van causale verbanden tussen vogels, bodemdieren en morfologie op basis van hotspots (gebieden met hoge foerageerintensiteit) en coolspots (gebieden met lage foerageerintensiteit) in relatie tot de verzamelde en gemeten omgevingsvariabelen.
- Opstellen van voorstellen voor aanvullende metingen (voor de Roggenplaat en/of toekomstige suppleties) ter toetsing van hypothesen over de samenhang tussen morfologie, bodemdieren en voegecologie.

### 3.5 Afronding evaluatiefase: monitoring 2023<sub>T4</sub> & 2024<sub>T5</sub>

De T3-rapportage is een tussenrapportage, en de volgende en tevens eindrapportage wordt verwacht in 2025. Voor de komende jaren zijn verschillende vervolgwerkzaamheden gepland, waaronder analyses van nieuwe metingen (2023 en 2024) en nieuwe benaderingen voor de analyse van reeds verzamelde gegevens.

Specifiek voor morfologische analyses zullen metingen uit 2023 en 2024 waardevol zijn om trends te beoordelen en veranderingen in ontwikkelingen van suppletie-elementen te analyseren. Daarnaast wordt de Delft3D-modellering benut om ruimtelijke kaarten van gemodelleerde snelheden en golven te gebruiken bij het verklaren van ecologische en morfologische waarnemingen.

Voor de monitoring van bodemleven en vogels worden grote veranderingen verwacht op basis van ervaring met eerdere suppleties. De metingen van 2023 en 2024 zullen van grote meerwaarde zijn voor het begrip van de effecten van suppleties op bodemleven en vogels. Een analyse van alle afzonderlijke onderdelen en integrale synthese (zoals in par. 3.4 beschreven) zal worden uitgevoerd. Met name de studie naar de aantrekkelijkheid van foerageergebieden voor benthos-etende vogels (steltlopers en bergeend) in relatie tot morfologische en ecologische eigenschappen zullen tot naar alle waarschijnlijkheid tot waardevolle overwegingen voor de vormgeving van toekomstige suppletieprojecten leiden.



---

## 4 Kennisleemtes en aanbevelingen

Hoewel er zeer uitgebreide metingen ten grondslag liggen aan deze studie, zijn er logischerwijs ook kennisleemtes die hiermee niet in deze studie kunnen worden ondervangen. In onderstaande opsomming wordt op deze specifieke kennisleemtes ingegaan en worden aanbevelingen gedaan om deze kennisleemtes met toekomstig onderzoek te ondervangen.

De metingen van dit monitoringsproject zijn beperkt tot vijf jaar na aanleg. Hoewel hiermee een groot deel van de onderzoeksvragen kan worden beantwoord, is het een gegeven dat bepaalde processen (bijvoorbeeld herkolonisatie van het bodemleven, morfologische ontwikkeling van de suppletie-elementen en verandering korrelgrootten) langer dan vijf jaar beslaan. **Echter, hoe suppleties in de Oosterschelde zich over langere perioden ontwikkelen, is nog vrijwel onbekend.** Dat komt doordat deze projecten normaliter tot vijf jaar worden gemonitord, terwijl de projectdoelstelling van suppleties zoals op de Roggenplaat een periode van 25 jaar beslaat (t.o.v. referentiejaar 2010 voor de Roggenplaat). Daarom is onze aanbeveling om ook na 2024 de ecologische en morfologische ontwikkeling van de Roggenplaatsuppletie te blijven volgen, zij het met een kleinere opzet door het meten van minder processen en met een groter tijdsinterval (voor zo ver de waargenomen veranderingen dit toelaten). Idealiter wordt hierbij ook de langjarige ontwikkeling van de eerder aangelegde suppleties op de andere platen beschouwd (De Vet et al., 2023). Door de reeds bestaande systeem-brede metingen (bijvoorbeeld LiDAR en RTK raaien) strategisch aan te passen (voor zo ver nodig), kan de aanvullende meetinspanning beperkt blijven.

De korrelgroottedata in voorliggende studie hebben inzicht gegeven in de veranderingen in korrelgrootte en slibgehalte op de suppleties en daarbuiten. **Welke processen deze veranderingen in korrelgrootte en slibgehalte sturen, is echter nog onvoldoende bekend.** Met de uitgevoerde metingen in dit project is het beperkt mogelijk de processen te identificeren die deze veranderingen sturen (vijfmaal een jaarlijkse meting na suppleren). Omdat er aanwijzingen zijn dat de korrelgrootte(ontwikkeling) en slibgehalte op suppleties invloed heeft op de herkolonisatie van het bodemleven, is het aan te bevelen om de bodemsamenstelling op een toekomstige suppletie uitgebreider te monitoren. Gedacht kan bijvoorbeeld worden aan metingen van korrelgrootte en slibgehalte langs een raai met een hoge ruimtelijke resolutie zodat ook veranderingen in sedimentsamenstelling in verschillende zones (loefzijde, top, lijzijde) van een suppletie in meer detail kunnen worden geanalyseerd. Langs een dergelijke raai zouden dan gelijktijdig ook bodemveranderingen met akoestische SED-sensoren kunnen worden gemeten, om veranderingen in bodemsamenstelling te kunnen linken aan hydrodynamiek en stormimpact. Aanvullend daarop kan experimenteel werk nodig zijn om mechanistische inzichten te krijgen ter verklaring van de gevonden causale verbanden.

Morfologische metingen in deze studie hebben inzichten gegeven over de ontwikkeling van de suppletie-elementen. **Details van welke processen de morfologische ontwikkeling sturen en in hoeverre bodemtransport of suspensie transport dominant is, zijn nog niet volledig bekend.** Dergelijke inzichten in het sedimenttransport zijn relevant voor het beter begrijpen van de veranderingen in bodemsamenstelling en ruimtelijke verspreiding van het suppletiesediment. Bijvoorbeeld, de verhouding tussen bodem- en suspensietransport kan inzicht geven in hoeverre het sediment in de nabijheid van de suppleties blijft. Met het beter begrijpen van deze processen, zouden suppleties uiteindelijk effectiever kunnen worden ontworpen. Dergelijke metingen zijn echter zeer complex om uit te voeren en meer fundamenteel wetenschappelijk van aard. Daarom wordt aanbevolen om, wanneer kansen zich voordoen, dergelijke metingen in de Oosterschelde in te passen in wetenschappelijke onderzoeksprojecten. Ook zou met het modelleren van sedimenttransporten stappen kunnen worden gezet in deze kennisontwikkeling.

De vochtigheid van het sediment is een kritische variabele voor de aanwezigheid van bodemdieren als ook de voedselbeschikbaarheid (sediment penetreerbaarheid) en wordt grotendeels bepaald bij laagwater door het vermogen van sediment om watervast te houden als gevolg van de capillaire werking (zuigkracht) van het sediment. Het zou van grote meerwaarde zijn wanneer **een gestandaardiseerd in situ meting van het vochtgehalte van sediment gekoppeld kan worden**

---

**aan de kwantitatief bodemdieren bemonstering, waarbij de factoren die bepalend zijn voor de sediment vochtigheid bij laag water beter beschreven worden.** Het waterretentie-vermogen is bovendien een directe functie van de korrelgrootte wat bijzonder relevant kan zijn voor het huidige project rekening gehouden met de afwijkende korrelgrootte en slibgehalte waargenomen op de suppletie.

Het wordt aanbevolen om **gericht onderzoek uit te voeren naar de relatie tussen het voorkomen van diverse vogelsoorten en abiotische factoren, met bijzondere aandacht voor sedimentvochtigheid.** Bijvoorbeeld is het cruciaal om de soort-specifieke biomechanische interacties tussen vogels en sediment te bestuderen, vooral hoe deze interacties het gebruik van de plaat en de foerageerdruk beïnvloeden. Het ontwikkelen van deze inzichten kan niet alleen bijdragen aan een dieper begrip van de ecologische dynamiek, maar ook leiden tot effectievere strategieën voor het behoud en beheer van de getijdenplaat en haar vogelgemeenschap.

Een laatste aanbeveling is om als relevant kennisstaat **de samenhang tussen lokale observaties en eigenschappen op grotere ruimtelijke schalen, zoals suppletie-elementen, getijdenplaat en overstijgende landschappelijke context nader te bestuderen.** De landschappelijke aantrekkelijkheid voor vogels is het bijvoorbeeld essentieel om de koppeling tussen getijdenplaat, suppletie en 'plot'-observaties op het gebied van morfologie, bodemdieren en soort-specifieke eigenschappen te begrijpen (zie Fig. 3-3). Visuele kenmerken van foerageergebieden en hoogwatervluchtplaats op landschappelijke schaal kunnen ook belangrijk zijn voor de aantrekkelijkheid van het getijdengebied naast zeer lokale eigenschappen van het sediment. Deze samenhang biedt mogelijk inzicht in de oorzaken voor het voorkomen van vogels, maar er zijn momenteel nog geen passende (statistische) methodieken om deze relaties op verschillende schalen effectief te onderzoeken. Nieuwe analytische benaderingen zijn daarom nodig voor een grondige analyse van de verzamelde monitoringdata.

De focus van deze studie – en daarmee bovenstaande kennisleemtes en aanbevelingen – ligt specifiek op de monitoring van de Roggenplaatsuppletie. Deze suppletie maakt echter onderdeel uit van een doorgaande suppletie-cyclus in de Oosterschelde waarin ook al twee volgende suppleties zijn voorzien (Middengebied Oosterschelde in de 2<sup>e</sup> tranche PAGW en Kom van de Oosterschelde in de 3<sup>e</sup> tranche PAGW). Voor project-overstijgende kennisleemtes en aanbevelingen wordt ook verwezen naar Hoofdstuk 5 van de voorstudie van de suppletie in het Middengebied van de Galgeplaat (de Vet et al., 2023). De nieuwe inzichten die voort kunnen komen uit onderzoek opgezet om deze aanvullende kennisleemtes te vullen vormen naar alle waarschijnlijkheid een cruciale basis voor overwegingen en aanbevelingen voor de vormgeving van toekomstige suppletieprojecten.

---

# Literatuur

- Bakker, W., Ens, B.J., Dokter, A., van der Kolk, H.J., Rappoldt, K., van de Pol, M., Troost, K., van der Veer, H.W., Bijleveld, A.I., van der Meer, J., Oosterbeek, K., Jongejans, E., Allen, A.M. (2021). Connecting foraging and roosting areas reveals how food stocks explain shorebird numbers. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 259, 107458
- Blomert, A.M., 2002. De samenhang tussen bodemgesteldheid, droogligtijd en foerageerdichtheid van vogels binnen de intergetijdenzone. A&W-rapport 330
- Bocher, P., Robin, F., Kojadinovic, J., Delaporte, P., Rousseau, P., Dupuy, C., & Bustamante, P., 2014. Trophic resource partitioning within a shorebird community feeding on intertidal mudflat habitats. *Journal of Sea Research*, 92, 115-124.
- Borsje, B.W., Cronin, K., Holzhauer, H., De Mesel, I., Ysebaert, T., Hibma, A., 2012. Biogeomorphological Interactions on a Nourished Tidal Flat: Lessons Learnt on Building With Nature. *Terra et Aqua*, 126, page 3-12.
- Colwell, M.A., Landrum, S.L., 1993. Nonrandom shorebird distribution and fine-scale variation in prey abundance. *Condor* 95, 94-103.
- De Ronde, J.G., J.P.M. Mulder, L.A. Van Duren, T.J.W. Ysebaert (2013). Eindadvies ANT Oosterschelde, Deltares rapport 1207722-000-ZKS-0010.
- De Vet, P.L.M., B.C. van Prooijen, I. Colosimo, N. Steiner, T. Ysebaert, P.M.J. Herman, Z.B. Wang (2020). Variations in storm-induced bed level dynamics across intertidal flats. *Scientific Reports*, 12877.
- De Vet, P.L.M., B.C. van Prooijen, R.A. Schrijvershof, J.J. van der Werf, T. Ysebaert, M.C. Schrijver, Z.B. Wang (2018). The importance of combined tidal and meteorological forces for the flow and sediment transport on intertidal shoals. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 123, 2464- 2480.
- De Vet, P.L.M., B.C. van Prooijen, Z.B. Wang (2017). The differences in morphological development between the intertidal flats of the Eastern and Western Scheldt. *Geomorphology*, 281,31-42.
- De Vet, L., Walles, B., Vermeer, N., Van der Werf, J., Van Donk, S., Escaravage, V., 2023. Voorstudie Suppletie Middengebied Oosterschelde: Systemkennis en aanbevelingen voor het ontwerpproces. Rapport 11208553-002-ZKS-0004, Deltares & Wageningen Marine Research.
- De Vlas, J., Brinkman, A.G., Buschbaum, C., Dankers, N., Herlyn, M., Kristensen, P.S., Millat, G., Ruth, M., Steenbergen, J., Wehrmann, A., 2005. Intertidal Blue Mussel Beds. Trilateral Monitoring and Assessment Group, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Drabsch, J., M., Parnell, K., E., T., Hume, M., Dolphin, T. J. 1999. The Capillary Fringe and the Water Table in an Intertidal Estuarine Sand Flat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1999) 48, 215-222.
- Green, M. O., Coco, G. (2014). Review of wave-driven sediment resuspension and transport in estuaries. *Reviews of Geophysics*, 52, 77-117.
- Horn, S., de la Vega, C., Asmus, R., Schwemmer, P., Enners, L., Garthe, S., Haslob, H., Binder, K., Asmus, H., 2019. Impact of birds on intertidal food webs assessed with ecological network analysis. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 219, 107-119.

- 
- Horn, S., Schwemmer, P., Mercker, M., Enners, L., Asmus, R., Garthe, S., Asmus, H., 2020. Species composition of foraging birds in association with benthic fauna in four intertidal habitats of the Wadden Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 233, 106537.
- Hu, Z., W. Lenting, D. van der Wal, T.J. Bouma (2015). Continuous monitoring bed-level dynamics on a intertidal flat: introducing novel, stand-alone, high-resolution SED-sensors. *Geomorphology* 245: 223-230
- Jentink, R. (2016). Ontwikkelingen suppletie Galgeplaat. Ontwikkelingen op basis van de metingen 2015 en 2016. Rijkswaterstaat Centrale Informatie Voorzieningen. Versienummer M151103488-01.
- Le Hir, P., Roberts, W., Cazaillet, O., Christie, M., Bassoullet, P., & Bacher, C. (2000). Characterization of intertidal flat hydrodynamics. *Continental Shelf Research*, 20(12-13), 1433-1459.
- Nebel, & Elner. 2005. Functional association of bill morphology and foraging behaviour in calidrid sandpipers. *Animal Biology*, 55(3), 235-243.
- Nebel, S., & Thompson, G. J., 2011. The evolution of sexual bill-size dimorphism in shorebirds: a morphometric test of the resource partitioning hypothesis. *Evolutionary Ecology Research*, 13(1), 35-44.
- Nehls, G., Tiedemann, R., 1993. What determines the densities of feeding birds on tidal flats? A case study on dunlin, calidris alpina, in the Wadden Sea. *Netherlands J. Sea Res.* 31, 375-384.
- Rappoldt C, Kersten M, Ens BJ (2006). Scholeksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde; Modelberekeningen voor de periode 1990 - 2045 aan het effect van zandhonger en zeespiegelstijging op het aantal scholeksters. EcoCurves (Haren) en SOVON Vogelonderzoek Nederland (Beek-Ubbergen), EcoCurves rapport 2, SOVON onderzoeksrapport 2006/12
- Schaap, J., 2012. Benthos herstel Suppletie: Onderzoek naar het herstel van de benthische macrofauna na de proefsuppletie op de Galgeplaat en bepaling van mogelijke factoren die de herkolonisationsnelheid beïnvloeden.
- Troost, K., Van Asch, M., Brummelhuis, E.B.M., Van den Ende, D., Perdon, J., Van Zweeden, C., Van Zwol, J., Van der Pool, J., Van Es, Y., 2022. Handboek bestandsopnames schelpdieren WOT. Versie 4, december 2022. WUR-Wageningen Marine Research, CVO rapport 22.017.
- Troost, K.; van Asch, M.; Cornelisse, S.; Glorius, S.; van den Ende, D.; van Es, Y.; Keur, M.; Perdon, K.J.; van der Pool, J.; Suykerbuyk, W.; van Zweeden, C.; van Zwol, J., 2023. Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2022. WUR-Wageningen Marine Research. CVO rapport: 23.009.
- Van den Berg, J.H. (1986). Aspects of sediment-and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (the Netherlands). PhD thesis. Technical University of Delft.
- Van der Kam, J., Ens, B., Piersma, T., Zwarts, L., 1999. Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Schuyt & Co, Haarlem, the Netherlands
- Van de Kam, J., Ens, B., Piersma, T., & Zwarts, L., 2017. Shorebirds: an illustrated behavioural ecology. Brill.
- van der Werf, J., M. Boersema, A. Nolte, R. Schrijvershof, J. Stronkhorst, L. De Vet, B. Walles, T. Ysebaert (2016a). Variantenstudie Roggenplaat suppletie. Centre of Expertise Delta Technology, Deltares rapport 1220324-000-ZKS-0008.

- 
- Van der Werf, J., M. Boersema, A. Nolte, R. Schrijvershof, J. Stronkhorst, L. De Vet, B. Walles, T. Ysebaert (2016b). Definitief ontwerp Roggenplaat suppletie. Centre of Expertise Delta Technology, Deltares rapport 1220324-000-ZKS-0009.
- Van der Werf, J., Reinders, J., van Rooijen, A. (2013). Evaluatie Galgeplaat proefsuppletie 2008-2012. Delft.
- Van der Werf, J., de Vet, L., Salvador de Paiva, J., van Ooijen, T., Bax, V., van de Lageweg, W., van Dalen, J., van Belzen, J., Grandjean, T., Bouma, T., Wiesebron, L., Walles, B., Cheng, C., Ysebaert, T. (2021). Buitendijkse Maatregelen. Knuitershoek en Baalhoek. Voortgangsrapportage 7.
- Van der Zee, E.M., van der Heide, T., Donadi, S., Eklöf, J.S., Eriksson, B.K., Oloff, H., van der Veer, H.W., Piersma, T., 2012. Spatially Extended Habitat Modification by Intertidal Reef-Building Bivalves has Implications for Consumer-Resource Interactions. *Ecosystems* 15, 664–673.
- Van Dusen, B.M., Fegley, S.R., Peterson, C.H., 2012. Prey Distribution, Physical Habitat Features, and Guild Traits Interact to Produce Contrasting Shorebird Assemblages among Foraging Patches. *PLoS ONE* 7(12).
- Van Kleunen, A., 1999. Verspreiding en habitatvoorkeur van eenden en steltlopers in Ooster- en Westerschelde. Werkdoc. RIKZ/OS/2000.806X.
- Walles, B., J. Salvador de Paiva, B.C. van Prooijen, T. Ysebaert en A.C. Smaal (2015). The ecosystem engineer *crassostrea gigas* affects tidal flat morphology beyond the boundary of their reef structures. *Estuaries and Coasts*, 38:941-950. Doi 10.1007/s12237-014-9860-z
- Walles B., S. van Donk, A. Hamer, J. Wijsman, T. Ysebaert, E. Ruranga, L. de Vet, J. van der Werf, A. Slager (2021a). Roggenplaatsuppletie (Oosterschelde): ontwikkeling 2015 – 2019 (T0). C017/21, Wageningen Marine Research.
- Walles B., S. van Donk, A. Hamer, J. Wijsman, T. Ysebaert, E. Ruranga, L. de Vet, J. van der Werf, A. Slager (2021b). Roggenplaatsuppletie (Oosterschelde): ontwikkelingen voor (T0: 2015 – 2019) en het eerste jaar na aanleg (T1: 2020) van de suppleties. C038/21, Wageningen Marine Research.
- Wijsman, J.W.M., 2023. Risicomonitoring suppletie Roggenplaat: Monitoring effecten van de suppletie op nabijgelegen mosselkweekpercelen. Rapport C014/23, WMR
- Wijsman, J.W.M., M. Kraan (2017). Plan van aanpak risicomonitoring Roggenplaatsuppletie; Monitoring effecten op de nabijgelegen mosselkweekpercelen. Wageningen Marine Research, Rapport nummer: C037.17, 51 pagina's.
- Wijsman, J.W.M., Prins, T.C., Moons S.J.J., Herman P.M.J. (2023). Changed sediment composition prevents recovery of macrobenthic community four years after a shoreface nourishment at the Holland coast, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 293.
- Ysebaert, T., J. van der Werf, L. de Vet, T. Bouma (2016). Monitoringsplan Roggenplaat suppletie. Centre of Expertise Delta Technology, Wageningen Marine Research rapport.
- Ysebaert, T., J. van der Werf, M. Boersema, R. Schrijvershof, J. Stronkhorst, L. de Vet, A.O. Debrot, T. Bouma (2016). T0-rapportage Roggenplaat suppletie. Centre of Expertise Delta Technology, Imares rapport.
- Zwarts, L., 1988. Numbers and distribution of coastal waders in Guinea-Bissau. *Ardea* 76

---

Zwarts L (2009). Voedsel voor wadvogels in de Oosterschelde: nazomer 2009. A&W rapport 1346: 1-79.

Zwarts, L., Blomert, A.-M., Wanink, J.H., 1992. Annual and seasonal variation in the food supply harvestable by knot *Calidris canutus* staging in the Wadden Sea in late summer. Mar. Ecol. Prog. Ser. 83, 129-139

---

# Verantwoording

Rapport C006/24

Projectnummer: 4313100081

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. Ir. J.W.W. Wijsman  
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 21 Februari 2024

Akkoord: Dr. C.J. Wiebinga  
Business Manager Projecten

Handtekening:



Datum: 21 Februari 2024

---

# Bijlage 1 Morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat en de suppleties

<b>Bijlage 1</b>	<b>Morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat en de suppleties</b>	<b>39</b>
B1.1	Inleiding	40
B1.1.1.	Opbouw hoofdstuk	40
B1.1.2.	Onderzoeksvragen	40
B1.1.3.	Mate van relevantie van de verschillende morfologische onderzoeksvragen met betrekking tot de projectdoelstelling	41
B1.2	Methodologie	42
B1.2.1.	Studiegebied	42
B1.2.2.	Een overzicht van de uitgevoerde metingen en activiteiten	42
B1.2.3.	Hydrodynamische modellering	48
B1.2.4.	LiDAR correctie op basis van RTK raaien	49
B1.2.5.	Afbakening suppletie-elementen	50
B1.3	Achtergrond: historische ontwikkeling Roggenplaat vóór suppleren (tot 2019)	51
B1.4	Achtergrond: wind-, golf-, en waterstandcondities tijdens de monitoringscampagne	57
B1.4.1.	Windcondities	57
B1.4.2.	Golfcondities	59
B1.4.3.	Waterstandcondities en sluitingen kering	60
B1.5	Evaluatie ontwikkeling Roggenplaatcomplex	63
B1.6	Evaluatie ontwikkeling suppletie-elementen	68
B1.6.1.	Eigenschappen suppletie-elementen	68
B1.6.2.	Morfologische ontwikkeling van de suppletie-elementen	70
B1.7	Verdiepend morfologisch procesbegrip	76
B1.7.1.	Wanneer en waar erosie optreedt	77
B1.7.2.	Sedimentverplaatsingen over de plaat en rondom suppleties	82
B1.7.3.	Veranderingen in sedimentsamenstelling	88
B1.7.4.	Invloed op niet-gesuppleerde gebieden	94
B1.7.5.	Veranderingen in stroming	103
B1.7.6.	Effect van oesterriffen op de morfologische ontwikkelingen	108



---

## B1.1 Inleiding

### B1.1.1. Opbouw hoofdstuk

In deze bijlage worden de analyses getoond van de morfologische toestand en ontwikkeling van de Roggenplaat en de suppletie-elementen (de termen suppletie-elementen en suppleties worden hierna door elkaar gebruikt) op basis van de uitgevoerde metingen sinds 2015 (vijf jaar vóór suppleren) tot en met 2022 (drie jaar na suppleren). Allereerst wordt in paragraaf B1.2 de methodologie van de analyses van dit hoofdstuk uiteengezet. Hierna volgen twee paragrafen met achtergrondinformatie. Paragraaf B1.3 geeft een samenvatting van de historische ontwikkeling van de Roggenplaat. Paragraaf B1.4 toont de meteorologische en hydrodynamische condities tijdens de monitoringsperiode. Hierna komt de beantwoording van de onderzoeksvragen (geformuleerd in paragraaf B1.1.2) aan bod. De evaluatievragen worden behandeld in paragrafen B1.5 en B1.6, die een evaluerend karakter hebben. Daarna worden in paragraaf B1.7 de analyses ter beantwoording van de kennisvragen doorlopen, die een verklarend doel dienen. Paragraaf B1.1.3 toont de samenhang tussen de verschillende onderzoeksvragen en de relatie van deze vragen met de primaire projectdoelstelling.

### B1.1.2. Onderzoeksvragen

Onderstaande morfologische onderzoeksvragen komen aan bod in deze bijlage. Deze zijn, beperkte herformuleringen daargelaten, conform het monitoringsplan (Ysebaert et al., 2016). Daarnaast zijn er een aantal aanvullende onderliggende kennisvragen opgenomen (aangeduid met "toevoeging") die de beantwoording van de centrale kennisvraag verder mogelijk maken.

#### **Evaluatievragen:**

1. Hoe verandert het areaal droogvalduur in de periode 2017-2024 op de gehele Roggenplaat? (paragraaf B1.5)
2. Hoe ontwikkelen de individuele suppletie-elementen zich morfologisch en is dit afhankelijk van de locatie op de Roggenplaat? (paragraaf B1.6)

#### **Centrale kennisvraag:**

Welke processen liggen ten grondslag aan de morfologische veranderingen van de Roggenplaat en specifiek de suppleties? (paragraaf B1.7)

#### **Onderliggende kennisvragen:**

1. Wanneer en waar treedt vooral erosie op (bijvoorbeeld bij stormen)? (paragraaf B1.7.1)
2. Hoe verplaatst het sediment zich over de Roggenplaat en rondom de suppleties? (paragraaf B1.7.2)
3. Hoe is de sedimentsamenstelling op de Roggenplaat en specifiek de suppleties veranderd? (paragraaf B1.7.3)
4. Zijn er niet-gesuppleerde gebieden (geulen, intergetijdengebied) die beïnvloed worden door de aanwezigheid van de suppleties, vindt er bijvoorbeeld geulvorming plaats? (paragraaf B1.7.4)
5. Hoe is de stroming en afwatering op de Roggenplaat en in de oostelijke geul (het Middengeultje) veranderd door de aanleg van de suppleties? (paragraaf B1.7.5)
6. Hebben oesterriffen een rol in het vasthouden van (gesuppleerd) sediment op de Roggenplaat? (paragraaf B1.7.6)

Opgemerkt wordt dat de kennisvragen gerelateerd aan de sediment- en suspensietransportmetingen (paragraaf 5.3 in Ysebaert et al., 2016) niet zijn opgenomen omdat deze metingen zijn komen te vervallen.

---

### B1.1.3. Mate van relevantie van de verschillende morfologische onderzoeksvragen met betrekking tot de projectdoelstelling

Het primaire doel van de Roggenplaatsuppletie is het behoud van de foerageerfunctie van het Roggenplaat/Neeltje Jans-complex voor 25 jaar ten opzichte van het referentiejaar 2010. In de ontwerpfase (Van der Werf et al., 2016) is deze doelstelling geconcretiseerd tot het behoud van het areaal met een droogvalduur van 50-80%. In hoeverre de suppletie hierin slaagt wordt – voor zover met de nu beschikbare data mogelijk is – beoordeeld met de evaluatievragen (paragrafen B1.5 en B1.6). Weten hoe en wanneer het sediment over de suppleties en plaat beweegt, is ook relevant in dit kader (kennisvragen 1 en 2; paragrafen B1.7.1 en B1.7.2). Daarnaast is, zoals ook benadrukt in de ontwerpstudie (Van der Werf et al., 2016), ook de kwaliteit van het areaal sturend in de mate van ecologisch herstel. Hierin speelt de bodemsamenstelling (korrelgrootte) een belangrijke factor (kennisvraag 3; paragraaf B1.7.3).

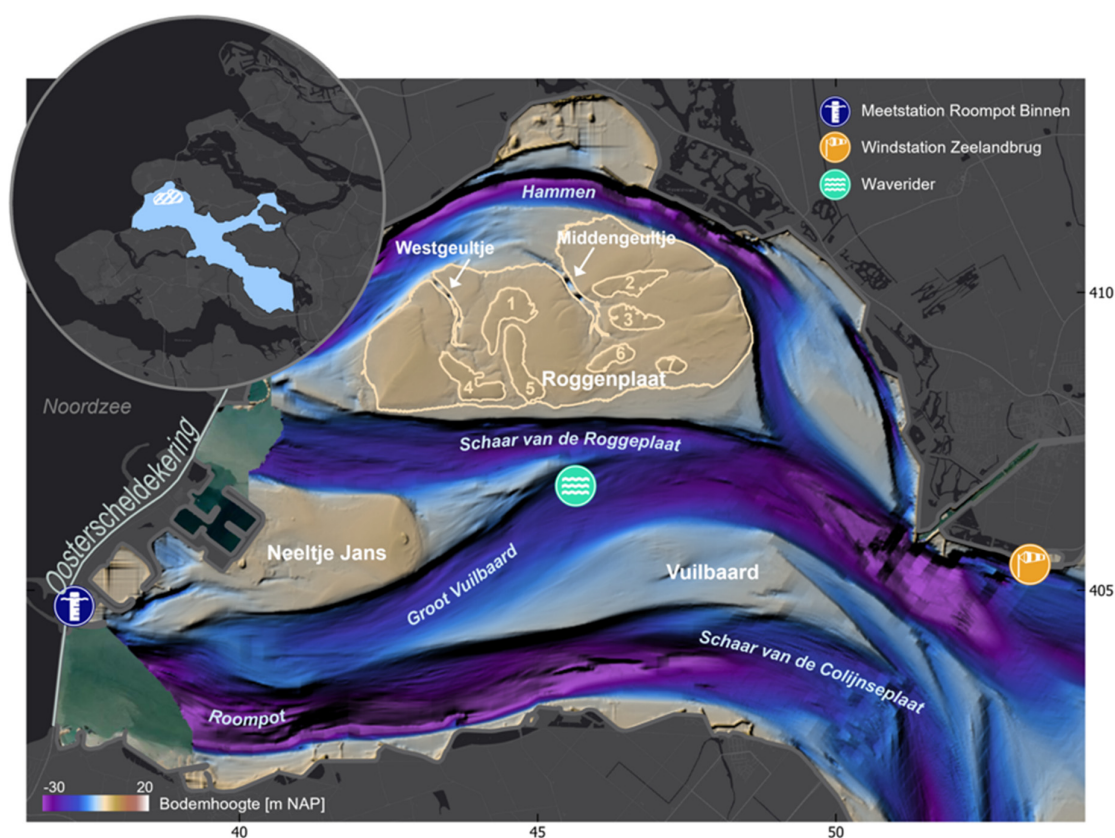
Niet het primaire doel, maar wel relevant voor het succes van het suppletieproject, is weten of de suppletie de hydromorfologie van de Roggenplaat heeft veranderd. Hiertoe zijn de veranderingen in de morfologie (kennisvraag 4; paragraaf B1.7.4) en stroming (kennisvraag 5; paragraaf B1.7.5) van de plaat en het Middengeultje beschouwd. Aanvullend is ook beoordeeld of de natuurlijke oesterriffen op de plaat een invloed hebben op de ontwikkeling van de suppleties (kennisvraag 6; paragraaf B1.7.6). Dit zodat hier in toekomstige suppletieontwerpen op kan worden geanticiperd.

Benadrukt wordt dat de mate van detail van de beantwoording van elke onderzoeksvraag niet alleen afhankelijk is van het belang van de specifieke vraag, maar ook van de databeschikbaarheid. Bijvoorbeeld, voor de evaluatievragen is de tot nu toe drie jaar aan beschikbare data nog te beperkt om te kunnen concluderen of de projectdoelstellingen behaald zullen worden. Nieuwe metingen (2023 en 2024) en verdere analyses zullen de beantwoording van deze vragen verder mogelijk maken. Voor bijvoorbeeld de stroomsnelheden zijn de metingen al wel compleet omdat daarvoor de grootste veranderingen direct na aanleg optreden). Kortom, de mate van detail van de beantwoording van de onderzoeksvragen is niet noodzakelijk een directe weerspiegeling van het belang van deze vragen.

## B1.2 Methodologie

### B1.2.1. Studiegebied

De Roggenplaat is het grootste intergetijdengebied in de Oosterschelde (Figuur B1-1). Het is één van de kerngebieden wat betreft vogelgebruik en staat bovenaan op de prioriteitenlijst voor de in stand te houden kerngebieden (De Ronde et al., 2013). In het najaar van 2019 heeft Rijkswaterstaat de Roggenplaat (1440 ha) met ruim 1,13 miljoen m<sup>3</sup> zand (in-situ volume) gesuppleerd, verdeeld over zeven suppletie-elementen, om ervoor te zorgen dat deze zandplaat zijn foerageerfunctie voor vogels en rustplek voor zeehonden behoudt. De suppletie-elementen bedekken samen 211 hectare van de plaat en hebben een gemiddelde dikte van 30-80 cm. Suppletie-elementen verschillen in hoogte en dikte. Gestreefd is vooral het areaal 50-80% droogvalduur met deze suppletie-elementen te doen toenemen (Van der Werf et al., 2016), aangezien vooral deze hoogteligging waardevolle toevoeging van het foerageergebied levert. Deze suppletie is uniek in zijn omvang, vormgeving en ligging. Niet eerder is er in Nederland, voor het behoud van ecologische waarden, een dermate grote hoeveelheid sediment direct op een intergetijdengebied gesuppleerd.



Figuur B1-1. Overzichtsfiguur van de Roggenplaat en omgeving op basis van de 2021 Vaklodingen. De laagwatercontour (-1.2 m NAP) van de Roggenplaat is weergegeven, evenals de contouren van de zeven suppleties. De locatie van het waterstandsstation Roompot Binnen, het windmeetstation Zeelandbrug en de golfmeetlocatie Waverider zijn weergegeven. De namen van geulen en platen zijn aangegeven.

### B1.2.2. Een overzicht van de uitgevoerde metingen en activiteiten

De monitoringsactiviteiten staan beschreven in de monitoringsplannen (Ysebaert et al. 2016, Wijsman & Kraan 2017). De monitoring maakt gebruik van lopende monitoring (o.a. de Rijkswaterstaat Vaklodingen) maar bestaat grotendeels uit nieuwe, project-specifieke monitoring. In Tabel B1-1 staat aangegeven welke project-specifieke morfologische metingen zijn uitgevoerd vóór (T0; januari 2015 t/m september 2019), tijdens (oktober t/m december 2019) en één (T1; 2020), twee (T2; 2021) en

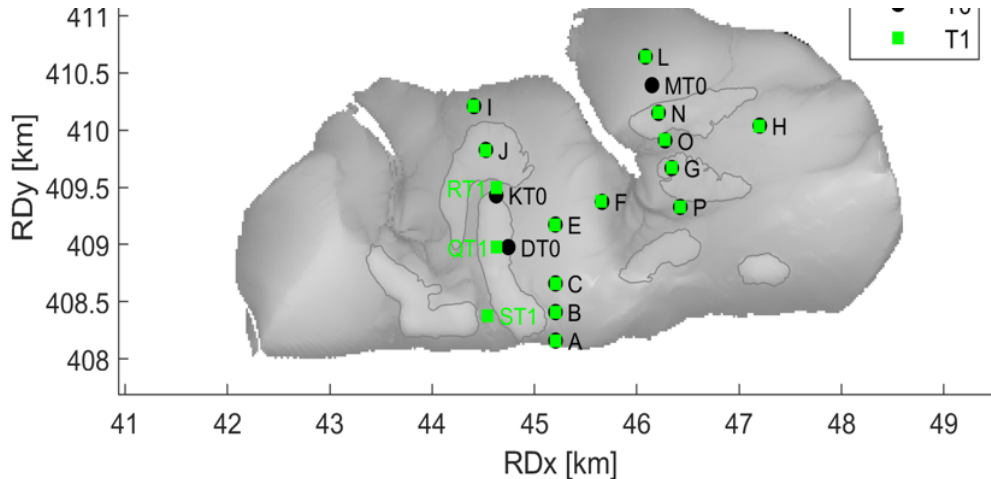
drie (T3; 2022) jaar na aanleg van de suppleties. Nadere details over deze metingen zijn opgenomen in de volgende paragrafen.

Tabel B1-1. Monitoringsactiviteiten tussen januari 2015 en december 2022 (voor, tijdens en na aanleg van de suppletie). Per onderdeel staat aangegeven wanneer welke metingen uitgevoerd zijn. \* is bemonsterd maar niet verwerkt. De RTK metingen zijn verspreid over verschillende meetdagen die soms in twee opvolgende maanden vallen. Ten behoeve van de overzichtelijkheid is in die gevallen maar één maand gemarkeerd. Met de RTK metingen zijn ook de zakkbaken ingemeten. De LiDAR opname uit 2016 voldeed niet aan de kwaliteitseisen en is daarom buiten beschouwing gelaten.

Hydromorfologische metingen		T0																								
		2015												2016												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>op de plaat</b>	stroommetingen																									
	golfmetingen																									
	sed sensoren																									
	LiDAR																									
	RTK																									
<b>in het Middengeultje</b>	sedimentsamenstelling																									
	multibeam																									
	stroommetingen																									
	<b>Waverider</b>	golfmetingen																								
Hydromorfologische metingen		T0																								
		2017												2018												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>op de plaat</b>	stroommetingen																									
	golfmetingen																									
	sed sensoren																									
	LiDAR																									
	RTK																									
<b>in het Middengeultje</b>	sedimentsamenstelling																									
	multibeam																									
	stroommetingen																									
	<b>Waverider</b>	golfmetingen																								
Hydromorfologische metingen		T0												T1												
		2019												2020												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>op de plaat</b>	stroommetingen																									
	golfmetingen																									
	sed sensoren																									
	LiDAR																									
	RTK																									
<b>in het Middengeultje</b>	sedimentsamenstelling																									
	multibeam																									
	stroommetingen																									
	<b>Waverider</b>	golfmetingen																								
Hydromorfologische metingen		T2												T3												
		2021												2022												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>op de plaat</b>	stroommetingen																									
	golfmetingen																									
	sed sensoren																									
	LiDAR																									
	RTK																									
<b>in het Middengeultje</b>	sedimentsamenstelling																									
	multibeam																									
	stroommetingen																									
	<b>Waverider</b>	golfmetingen																								

## Hydromorfologische metingen op de plaat

Om te observeren hoe de suppletie-elementen de stroming op de plaat beïnvloeden, zijn op 16 meetpunten verspreid over de Roggenplaat **stroommetingen** uitgevoerd (Figuur B1-2). De stroommetingen zijn gedaan met behulp van Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs). De metingen zijn uitgevoerd tussen 24 februari en 25 maart 2015 (T0 metingen) en 16 maart en 13 april 2021 (T1 metingen). Meetpunt M is alleen in T0 en meetpunt S is alleen in T1 gemeten. Meetpunt K in T0 is in T1 (daar hernoemd naar meetpunt R) iets verschoven zodat deze tussen suppleties 1 en 5 in lag. Meetpunt D in T0 is in T1 (daar hernoemd naar meetpunt Q) iets verschoven zodat deze boven op suppletie 4 lag. Dit omdat tijdens T0 de precieze locatie van de suppleties nog niet bekend was.



Figuur B1-2. Locatie van de ADCPs op de plaat (T0 = 2015 | T1 = 2021). Meetpunten die identiek waren in T0 en T1 hebben geen toevoeging, voor afwijkende meetpunten is aangegeven of deze in T0 of in T1 gemeten zijn.

Naast stroommetingen zijn er vanaf november 2019 continue **golfmetingen** uitgevoerd op de Roggenplaat. Deze metingen zijn uitgevoerd met druksensoren (OSSİ waveloggers) en met sommige van de SED-sensoren (ingebouwde sensor, voor zover de registratie van de waterdruk aanstond). De locatie van deze sensoren is aangegeven in Figuur B1-3. Deze metingen zijn benut voor de model afstelling (kalibratie van de golfdissipatie over de plaat).

Op een aantal locaties op de Roggenplaat zijn **SED-sensoren** geplaatst na aanleg van de suppleties (Figuur B1-3). SED-sensoren (Surface Elevation Dynamics sensoren) meten continue veranderingen in hoogte en kunnen inzicht verschaffen onder welke (weers)omstandigheden veranderingen in bodemhoogte optreden (Hu et al., 2015). Inmiddels bestaan er 2 versies van deze SED-sensoren: Optische en Akoestische. De Optische sensoren (eerste meetprincipe) meten alleen zonder bovenstaand water en hebben om de 2 mm een sensor die de lichtinval meet. Met een meetinterval van 30 minuten wordt een zeer gedetailleerde verandering van de bodemhoogte gemeten. De akoestische sensoren (verbeterd instrument) meten alleen onder water en geven een akoestische puls die weer door de sensor wordt opgevangen. Hierdoor wordt er nog nauwkeuriger gemeten, mede omdat de bodemontwikkeling niet beïnvloed wordt door het instrument op de meetlocatie (deze akoestische sensoren staan met twee paaltjes in de grond en meten tussen deze paaltjes). Omdat deze onder water meten, vindt de meting plaats wanneer er daadwerkelijke verandering van bodemhoogte optreedt.

## Legend

- A-SED
- SED
- Wavelogger
- Benthos locations
- Roggenplaat2019QS

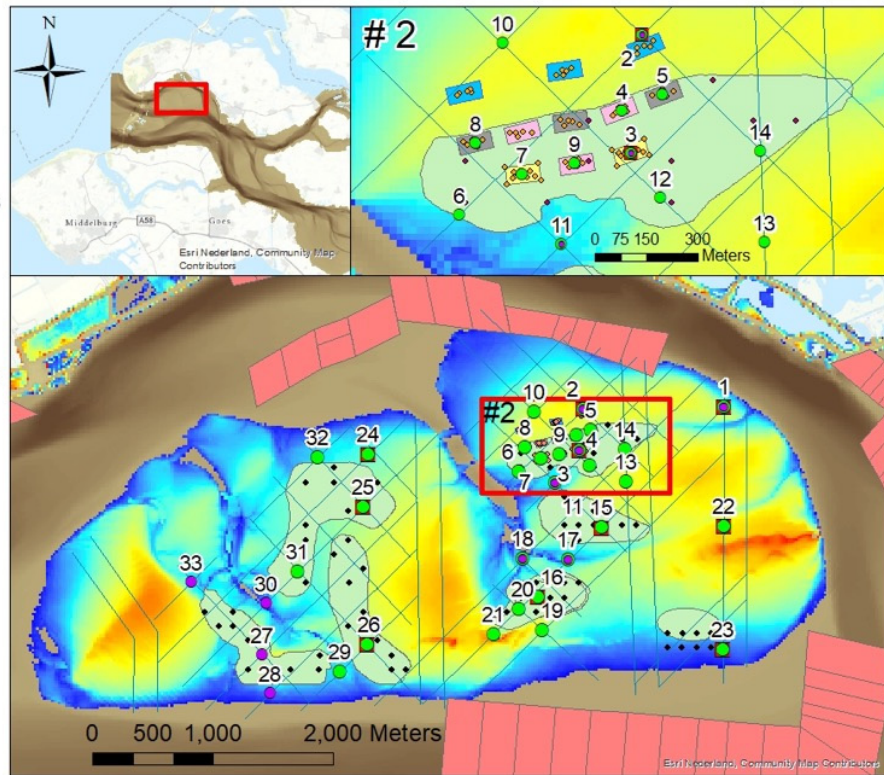
- RTK transects
- Priming\_Plots
- Suppletion\_Plots
- Reference\_Plots
- CocklePrimed\_Plots
- Suppletions
- Aquaculture

## Oosterschelde

cm NAP  
High : 125  
Low : -125



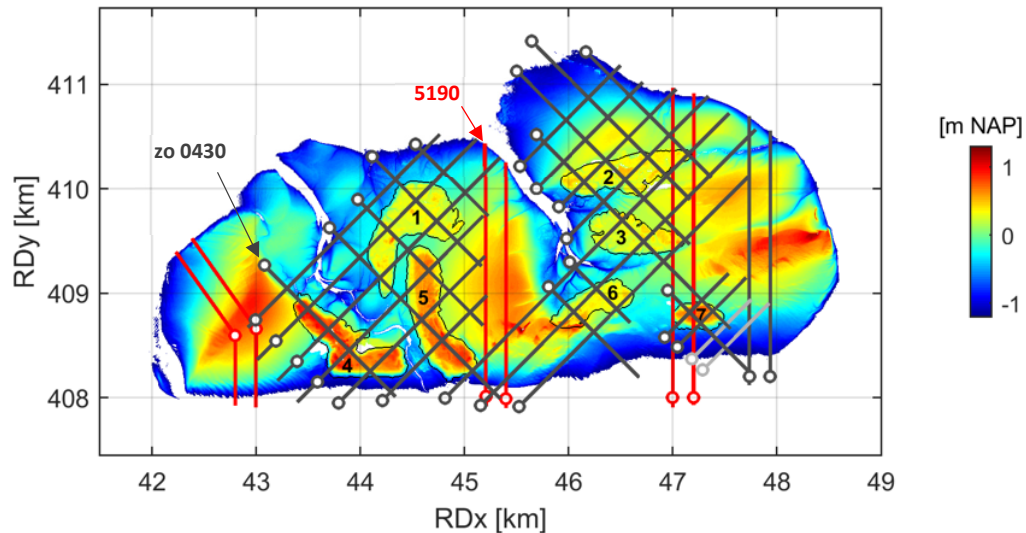
Jeroen van Dalen  
2019-11-14



Figuur B1-3. Locatie van SED sensoren, akoestische SED sensoren (A-SED) en waveloggers op de Roggenplaat. Op de inzet van suppletie 2 (rechtsboven) zijn de verschillende plots met een kleur aangegeven: Grijs = geprimed met toplaag omgevings sediment, Roze = 'kale' suppletie, Blauw = Referentie/onverstoord gebied en Geel = 'kale' suppletie geprimed met individuele kokkels. Daarnaast zijn alle punten waar Benthos en de veldscreening (QS) genomen wordt weergegeven.

Hoogtekaarten zijn verkregen middels laseraltimetrie (**LiDAR**). Dit is een meting van de afstand tussen een vliegtuig of helikopter en het grondoppervlak waarmee, in combinatie met de plaatsbepaling van het vliegtuig, de hoogte van het grondoppervlak kan worden gemeten. De hoogtekaarten verkregen middels laseraltimetrie geven de hoogte weer ten opzichte van NAP op een 2 m bij 2 m rooster met een verticale nauwkeurigheid van  $\pm 15$  cm van individuele meetpunten. Er zijn hoogtekaarten verkregen in 2016, 2018, 2019, tweemaal in 2020, 2021 en 2022. De hoogtekaart uit 2016 voldoet niet aan de kwaliteitseisen en wordt hier buiten beschouwing gelaten (zie ook Walles et al., 2021a). In de LiDAR-metingen van oktober 2020 ontbreekt een substantieel deel van de Roggenplaat (o.a. rond de noordelijke punt van de plaat). De dekking van de zeven suppletie-elementen is wel bijna volledig in deze LiDAR opname. Omdat de meetfouten van de LiDAR dermate groot zijn dat deze een nauwkeurige analyse van de morfologische veranderingen (van de suppleties) in de weg staan, zijn deze meetfouten gedeeltelijke gecorrigeerd aan de hand van de nauwkeurigere RTK raaien (correctiemethode is toegelicht in paragraaf B1.2.4).

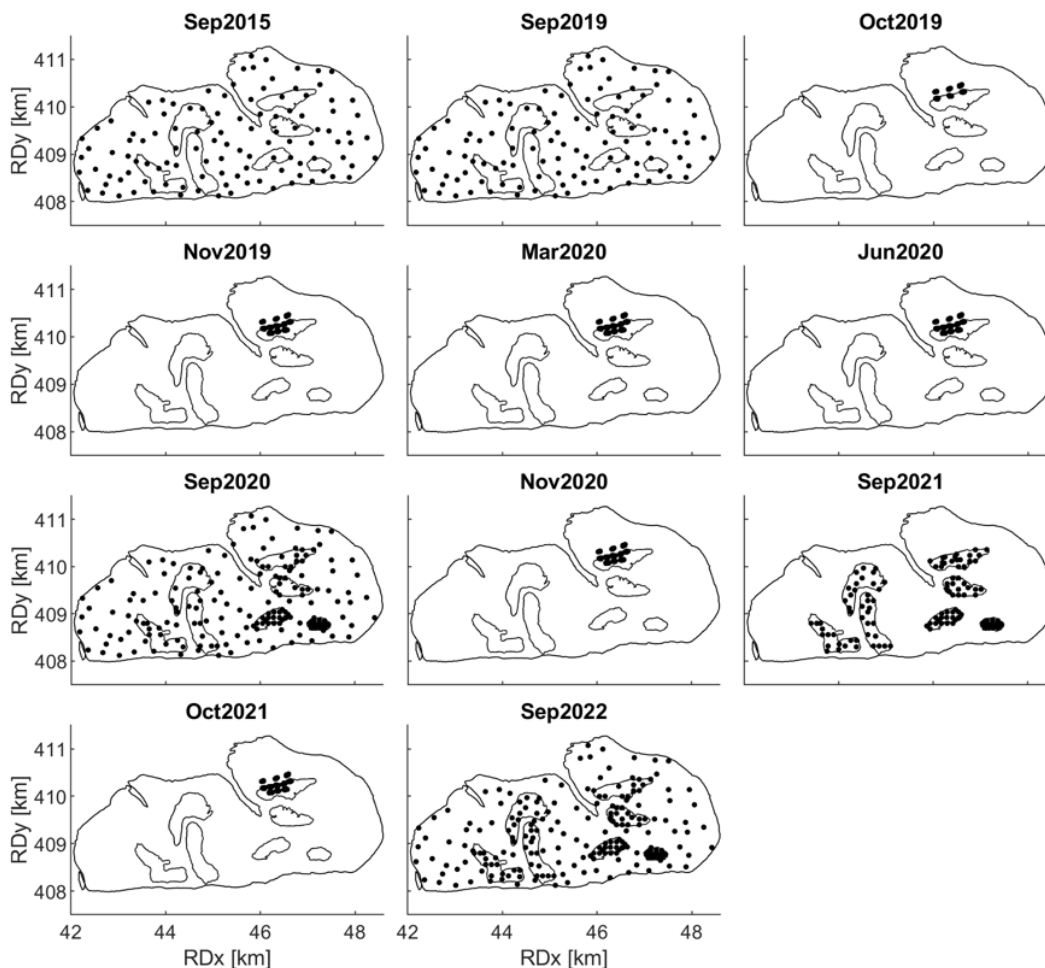
**RTK** (Real Time Kinematic - dGPS) metingen worden uitgevoerd in het kader van de RWS lange termijn monitoring van de slikken en platen van de Oosterschelde. Naast de afstandscorrecties voor de satellieten wordt ook extra draaggolfinformatie doorgezonden vanaf de basisontvanger zodat een nauwkeurigheid van 2 cm kan worden behaald. RTK metingen gebeuren bij laagwater en worden lopend uitgevoerd door langs een raai op vastgestelde afstanden de hoogte te meten. Op de Roggenplaat liggen zes reguliere raaien (waarvan de twee meest westelijke geknikte raaien formeel elk uit twee losse raaien bestaan) die jaarlijks eenmaal (in de periode april – september) opgemeten worden sinds 1988. In het kader van de Roggenplaat-suppletie zijn aanvullend 31 RTK raaien uitgezet die sinds 2018 vier keer per jaar gemeten worden (Figuur B1-4). Specifiek is gekeken naar locaties waar erosie en sedimentatie optreden en hoe het sediment zich verplaatst over de Roggenplaat.



*Figuur B1-4. Reguliere RTK raaien (rood) en aanvullende RTK raaien (donkergrijs) op de Roggenplaat. De cirkels geven het nulpunt van elke raai aan. De twee lichtgrijze raaien in het zuidoosten zijn wel in de T0 periode (mei en september 2019) gemeten, maar niet meer na suppleren (aangezien de suppletie buiten deze raaien is gerealiseerd). Op de achtergrond zijn de LiDAR data van februari 2020 weergegeven (boven laagwater). De contouren en de nummering van de suppletie-elementen is aangegeven.*

Om eventuele zetting van de suppleties te kunnen monitoren, heeft Boskalis bij de uitvoering **zakbaken** aangelegd onder de suppleties. Dit zijn platen van 1 x 1 m met een paal die boven de suppleties uitreikt. 32 zakbaken konden in het veld nog teruggevonden na de realisatiefase en deze zijn sindsdien met de meting van de RTK raaien ingemeten (middels een aanvullende, lokale RTK-dGPS meting). Opgemerkt wordt dat de kwaliteit van de hoogtemeting met de zakbaken beperkt is, omdat diverse zakbaken scheefstand vertonen (beïnvloedt hoogtemeting) en een dergelijke langdurige monitoringscampagne niet beoogd was bij de positionering van deze zakbaken.

**Sedimentsamenstelling** is een van de bepalende factoren voor bodemfauna en dus ook voor de foerageerfunctie voor kust- en strandvogels. Sedimentsamenstelling en het slibgehalte is bemonsterd in september 2015 (113 locaties), september 2019 (113 locaties), oktober 2019 (30 locaties), november 2019 (61 locaties), maart 2020 (61 locaties), juni 2020 (61 locaties), september 2020 (185 locaties), november 2020 (61 locaties), september 2021 (120 locaties), oktober 2021 (61 locaties) en september 2022 (209 locaties), zie Figuur B1-5. Bemonstering heeft ook plaatsgevonden in september 2018, maar die metingen zijn niet verwerkt (sedimentmonsters zijn veilig gesteld, maar vooralsnog is er geen reden om deze te analyseren). De bemonstering is uitgevoerd door het NIOZ wanneer alleen bij suppletie 2 is bemonsterd, de andere bemonsteringen zijn door Wageningen Marine Research uitgevoerd. Met een spuit (3 cm Ø) is een vast volume van de bovenste 3 cm van het sediment bemonsterd. Direct bij terugkomst in het lab zijn de monsters in een diepvries (-20°C) geplaatst. Vervolgens zijn ze gevriesdroogd en is de korrelgrootteverdeling geanalyseerd met behulp van laserdiffractie (Malvern Particle Analyzer P2000). Hieruit wordt de mediane korrelgrootte verkregen (D50) en de verdeling grof zand, middel fijn zand, fijn zand, zeer fijn zand en slib. De slibfractie betreft de fractie < 63 µm.



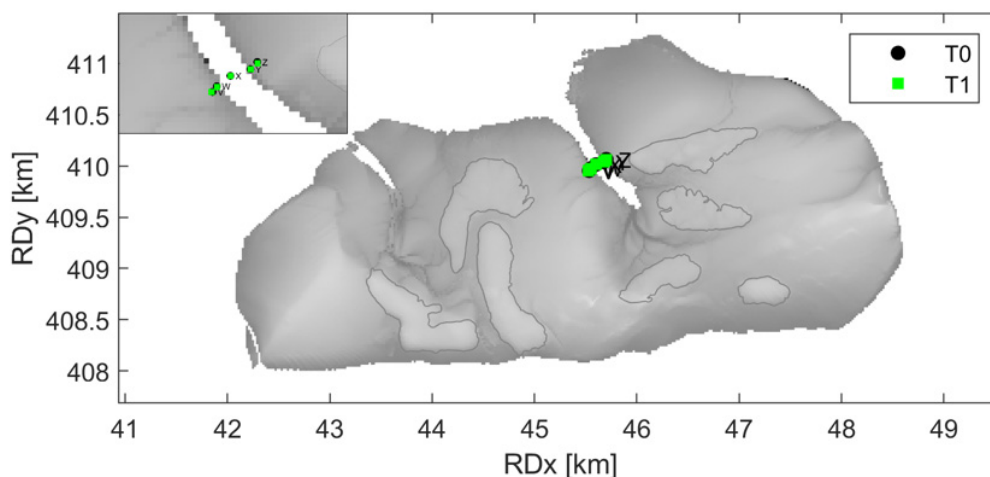
Figuur B1-5. Meetlocaties sedimentsamenstelling.

### Hydromorfologische metingen in het Middengeultje

In de Roggenplaat zijn twee grote afwateringsgeulen aanwezig (Middengeultje en Westgeultje, Figuur B1-1). Deze geulen vormen een belangrijk onderdeel van de morfologie van de Roggenplaat en beïnvloeden de stroming op de plaat. Beide geulen zijn voor dit project met **Multibeam** ingemeten in mei 2015. Voor het Middengeultje is de meting in april 2019 en december 2019 herhaald, na aanleg van de suppleties elk kwartaal (Tabel B1-1) en sinds 2021 is het meetdomein uitgebreid met het gebied direct voor de uitstroombening van het Middengeultje. De metingen zijn beschikbaar op een 1 m bij 1 m rooster, hebben een verticale nauwkeurigheid van ongeveer 10 cm en zijn daarmee geschikt om te bepalen of het Middengeultje migreert en/of in omvang verandert. Voor het Westgeultje is één meting beschikbaar waardoor morfologische ontwikkelingen in de tijd niet gevolgd kunnen worden. De resultaten hiervan zijn de vinden in Walles et al. (2021a).

Om te observeren hoe de suppletie-elementen de stroming in het Middengeultje beïnvloeden, zijn op 5 meetpunten in de geul **stroommetingen** uitgevoerd (Figuur B1-6). De metingen zijn gedaan met behulp van Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs). Voor het middelste meetpunt is een meetframe ingezet dat vanuit een schip is gepositioneerd. De metingen zijn zowel in de T0 situatie (2017) als in de T1 situatie (2021) voor één maand uitgevoerd.





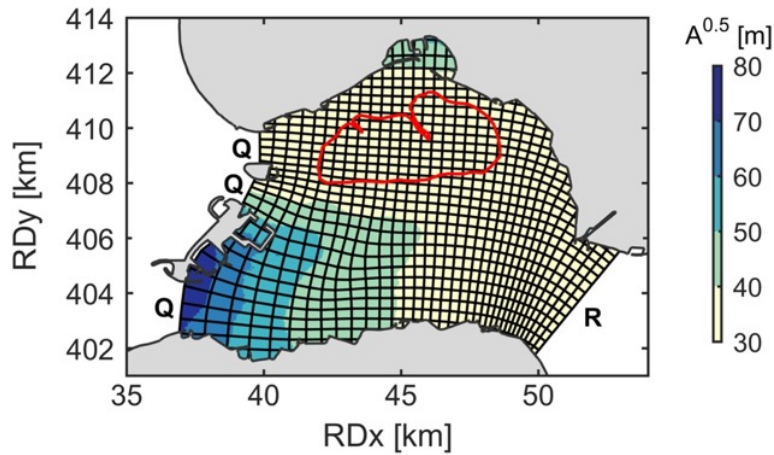
Figuur B1-6. Locatie van de ADCPs in het Middengeultje (T0 = 2017 | T1 = 2021).

### Systeem-brede wind-, golf- en waterstandsmetingen

Wind- golf- en waterstandsmetingen zijn over de gehele monitoringsperioden (vóór en na suppleren) gemeten op vaste stations. Golfkarakteristieken zijn gemeten door de **Waverider** die gepositioneerd is aan de zuidrand van de Roggenplaat (Figuur B1-1). Hiervoor is de Waverider Schelphoek in 2015 verplaatst naar de zuidrand van de Roggenplaat. **Waterstanden** zijn elke 10 minuten gemeten op de reguliere waterstandsstations Roompot Binnen (binnenzijde Oosterscheldekering, zie Figuur B1-1) en Buiten (zeezijde Oosterscheldekering), waarvoor ook astronomische waterstanden beschikbaar zijn. De **windkarakteristieken** (snelheid en richting) zijn gemeten door station Zeelandbrug, zie Figuur B1-1.

#### B1.2.3. Hydrodynamische modellering

In de ontwerpfase is een **Delft3D model** opgezet om de invloed van verschillende suppletieontwerpen op de hydro-morfologie te kunnen bepalen (Van der Werf et al., 2016). Het domein van dit model is in Figuur B1-7 weergegeven. In deze monitoringstudie is het model opnieuw ingezet om ruimtelijke veranderingen in stroomsnelheden door de suppletie af te schatten. Dit ter ondersteuning van de interpretatie van de stroomsnelheidsmetingen die een beperkte ruimtelijke dekking hebben. Hiertoe is het model gedraaid met de 2019 bodemligging (vóór suppleren) en de 2020 bodemligging (na suppleren). Wat betreft de Vaklodingen data (benut voor het gehele domein, behalve de Roggenplaat, het Westgeultje en het Middengeultje) is alleen data beschikbaar van 2019, die zijn dus ook gebruikt in de 2020 simulatie. Beide simulaties zijn uitgevoerd met de hydrodynamische randvoorwaarden van 15 januari tot 14 februari 2015 (twee representatieve spring-doodtij cycli). Op deze manier zijn verschillen in stroomsnelheden tussen beide simulaties alleen het gevolg van verschillen in bodemligging (aanwezigheid/afwezigheid suppleties). Voor een verdere beschrijving van het model wordt verwezen naar Van der Werf et al. (2016b).



Figuur B1-7. Modeldomein van het Roggenplaat Delft3D model. Het rooster is in zwart aangegeven (1% van de roosterlijnen zijn getoond t.b.v. de leesbaarheid van het figuur) met de roosterresolutie in kleur. De laagwaterlijnen van de Roggenplaat is getoond in rood. De debietranden over de Oosterscheldekering zijn aangegeven met Q en de Riemann rand langs de Zeelandbrug met R. Figuur is overgenomen uit De Vet et al. (2018).

#### B1.2.4. LiDAR correctie op basis van RTK raaien

De LiDAR opnamen bevatten meetfouten die dermate groot zijn dat deze precieze analyses van volumeveranderingen in de weg staan (verticale nauwkeurigheid van  $\pm 15$  cm van individuele meetpunten). Voor de suppleties kan dit zelfs betekenen dat metingen volumetoename aangeven, terwijl de suppleties in werkelijkheid eroderen. Ter indicatie, elke centimeter (absolute) afwijking leidt bij een areaal van 211 ha (het gesuppleerde areaal) tot een meetfout van  $21.100 \text{ m}^3$  (2% van het totale gesuppleerde volume). Er was bij het ontwerp van de monitoring al geanticipeerd op meetfouten, dit was namelijk één van de motivaties voor de uitgebreide RTK metingen. De RTK toont nauwkeurigere ontwikkelingen met tijdsinformatie en de RTK biedt de mogelijkheid om de LiDAR data te corrigeren.

De LiDAR data zijn dus gevalideerd en gecorrigeerd met behulp van de metingen van de RTK raaien om de nauwkeurigheid van de bepaling van de morfologische ontwikkelingen te verhogen. Hiertoe is de verandering in bodemhoogte gemeten met laseraltimetrie vergeleken met de metingen langs de RTK raaien. Echter, waar de LiDAR data gebiedsdekkend zijn, dekken de RTK raaien maar een deel van de Roggenplaat. Bovendien hebben de opnamen een ander meetmoment in de tijd. Om de twee tijdseries te kunnen vergelijken zijn de RTK raaien opgedeeld in segmenten van 50 m (constante locatie in de tijd). De afmeting van 50 m is groot genoeg voor voldoende metingen binnen elk segment en klein genoeg voor het weergeven van de ruimtelijke variatie in ontwikkeling over de morfologische elementen. Binnen elk segment is de gemiddelde bodemligging bepaald. Vervolgens is ook de gemiddelde bodemligging binnen hetzelfde segment op basis van de LiDAR data bepaald. Wat het verschil in meetmomenten tussen de LiDAR en RTK betreft, is er gewerkt met lineaire interpolatie van de RTK data in de tijd, zodat de schatting van de afwijking tussen beide datasets zo goed als mogelijk is.

Er is gewerkt met twee type correcties: een plaat-brede correctie en een nauwkeurigere, suppletie-specifieke correctie. De RTK dekking is namelijk het hoogst op de suppleties. Daarom is gekozen om voor maximale nauwkeurigheid te gaan als de ontwikkeling van individuele suppletie-elementen wordt beschouwd. Voor alle andere analyses die niet suppletie-specifiek zijn, is een plaat-brede correctie toegepast. Tabel B1-2 laat zien welke correctie voor welke evaluatie- en kennisvraag is gebruikt (zie paragraaf B1.1.2 voor de onderzoeksvragen).

Voor de plaat-brede correctie is gewerkt met het gemiddelde verschil in gemiddelde bodemligging (=meetfout) tussen de LiDAR en RTK data in de gebieden buiten de suppleties. De LiDAR data (buiten én binnen de suppleties) zijn met behulp van deze waarde gecorrigeerd. Hieruit volgt dat de meetfout van de plaat-brede correctie beperkt was tot maximaal 2,6 cm (Tabel B1-3). Vervolgens zijn de LiDAR data hiervoor gecorrigeerd.

Voor de aanvullende suppletie-specifieke correctie is de plaat-breed gecorrigeerde LiDAR data als uitgangspunt genomen. Vervolgens is het dan nog resulterende verschil in gemiddelde bodemligging (=meetfout) tussen de LiDAR en RTK data binnen de suppleties bepaald. De LiDAR data binnen de suppleties zijn met behulp van deze waarde gecorrigeerd. Uitzondering hierop is de eerste LiDAR opname (februari 2020). De RTK meting vóór deze LiDAR opname was nog vóór suppleren en in de eerste RTK meting na deze LiDAR opname waren de suppleties al substantieel ontwikkeld (paragraaf B1.7.1). De LiDAR opname van februari 2020 is daarom gecorrigeerd met het verschil in gemiddelde bodemligging (=meetfout) tussen de LiDAR en RTK data binnen een band van 50 tot 100 m rondom de suppleties. De gedachte hierachter is dat deze zone dicht genoeg bij de suppleties ligt om representatief te zijn voor de suppleties, maar ver genoeg van de suppleties verwijderd is om vrij te zijn van initiële invloeden van de suppleties. De grootte van de aanvullende suppletie-specifieke correctie was beperkt tot maximaal -2,2 cm (Tabel B1-3).

Tabel B1-2. Overzicht welke LiDAR-correctie (suppletie-specifiek of plaat-breed) is gebruikt voor welke evaluatie- of kennisvraag. Indien n.v.t., is er geen LiDAR gebruikt voor de vraag. Zie paragraaf B1.1.2 voor de onderzoeksvragen.

Type correctie	Evaluatievraag		Kennisvraag						
	1	2	1	2	3	4	5	6	
Suppletie-specifiek			n.v.t.		n.v.t.			n.v.t.	
Plaat-breed			n.v.t.		n.v.t.			n.v.t.	

Tabel B1-3. Overzicht van de meetfout [cm] per LiDAR opname voor de suppletie-specifieke correctie en de plaat-brede correctie. De suppletie-specifieke correctie is uitgevoerd bovenop de plaat-brede correctie. Bijvoorbeeld, voor suppletie 1 betekent dit dat voor februari 2022 de ruwe LiDAR metingen netto met 1,6 cm zijn gecorrigeerd (de plaat-brede correctie was voor dit geval een overschatting).

	14-mrt-2018	1-apr-2019	7-feb-2020	31-okt-2020	1-apr-2021	26-feb-2022	
<b>Suppletie-specifiek</b>	1		-0,1	0,6	-0,8	-1,0	
	2		-2,2	-1,2	-1,5	1,0	
	3			0,6	-1,1	-1,4	-0,2
	4			0,4	-1,1	1,1	-0,7
	5			1,1	-1,0	0,5	-1,2
	6			0,6	-2,1	0,0	0,7
	7			0,8	-1,6	-0,6	-0,3
<b>Plaat-breed</b>	2,4	0,5	2,2	1,5	0,1	2,6	

### B1.2.5. Afbakening suppletie-elementen

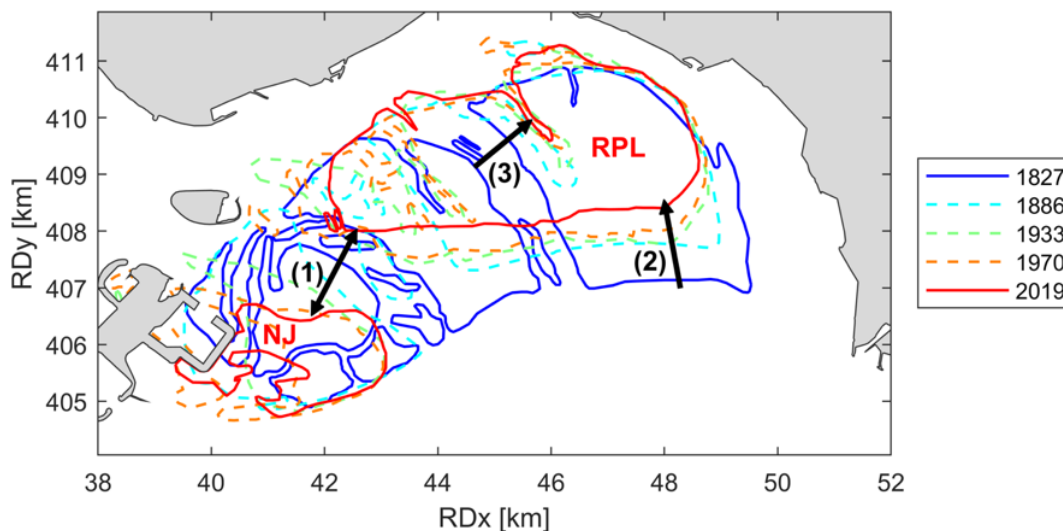
Voor een robuuste bepaling van de ontwikkeling van de suppletie-elementen is een precieze definitie van de contouren van de elementen essentieel. De contouren zijn in deze studie op de volgende manier vastgesteld. Contourlijnen zijn getrokken rondom de suppletie-elementen waarvoor de toename in bodemhoogte tussen april 2019 (voor aanleg) en februari 2020 (na aanleg) meer dan 20 cm betrof (overschrijdt ruim de meetonauwkeurigheden). De priming vakken die onderdeel zijn van suppletie-element 2 zijn ook bij de contouren betrokken, ondanks dat de toename in bodemhoogte hier lokaal minder dan 20 cm was. Vervolgens zijn deze contourlijnen met 10 m – de horizontale afstand corresponderend bij 20 cm hoogteverschil bij een helling van 1 op 50 (beoogde aanleg helling)

– naar buiten toe uitgebreid. Dit geeft een goede benadering van de contouren van de voet van de suppleties die niet gedomineerd wordt door meetfouten in de LiDAR data of beïnvloed wordt door centimeters aan autonome ontwikkeling.

### B1.3 Achtergrond: historische ontwikkeling Roggenplaat vóór suppleren (tot 2019)

Bij de beantwoording van de onderzoeksvragen zijn de analyses gefocust op de ontwikkeling van de Roggenplaat(suppleties) van enkele jaren vóór aanleg tot drie jaar na aanleg. Omdat ook de lange-termijn ontwikkeling relevant is voor de hedendaagse ontwikkelingen van de plaat en suppleties, is in deze paragraaf een samenvatting gegeven van de morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat over de afgelopen decennia. Deze paragraaf is grotendeels gebaseerd op paragraaf 4.2 van de rapportage van de T0 situatie van de Roggenplaat (Walles et al., 2021a).

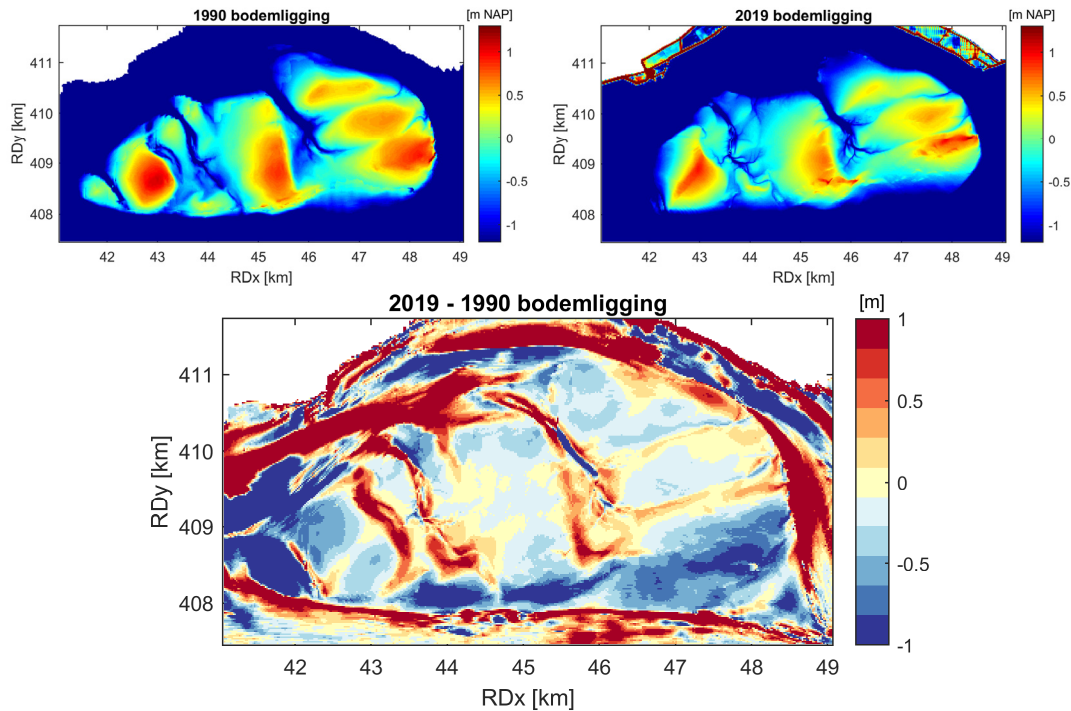
Figuur B1-8 toont de ontwikkeling van de laagwaterlijn van de Roggenplaat van 1827 tot 2019 op basis van historische kaarten afkomstig uit Van den Berg (1986), aangevuld met de 2019 Vaklodingen. Hieruit blijkt dat de Roggenplaat kleiner en meer aangesloten is geworden (kortere waterlijn). Het zuidelijke, en dan met name het zuidwestelijke gedeelte is het meeste veranderd. De noordelijke plaatrand is vrij stabiel. De noordelijk gelegen getijgeul de Hammen houdt een sterke noordelijke verplaatsing van de Roggenplaat mogelijk tegen, omdat de ligging van de geul en de kust van Schouwen vastligt. Deze figuur laat zien dat de Roggenplaat lang voor de aanleg van de Oosterscheldekering in 1986 onderhevig was aan significante morfologische veranderingen. In Figuur B1-8 zijn drie grootschalige ontwikkelingen gemarkeerd: (1) het afsplitsen van Neeltje Jans en de Roggenplaat, (2) de noordelijke migratie van de zuidelijke plaatrand (erosie) en (3) de noordoostelijke migratie van het Middengeultje (oorspronkelijk een volledige kortsluitgeul, nu een kleinere afwateringsgeul).



Figuur B1-8. Ontwikkeling laagwaterlijn Roggenplaat tussen 1827 en 2019, overgenomen uit De Vet et al. (2018) en geactualiseerd met de 2019 situatie. De hedendaagse ligging van het vaste land is grijs gemarkeerd. Aangegeven is de afsplitsing van Neeltje Jans (1), de noordelijke migratie van de zuidelijke plaatrand (2) en de migratie van het Middengeultje (3).

Figuur B1-9 toont de bodemligging in 1990 en 2019, en het verschil hiertussen. Deze zijn gebaseerd op de Vaklodingen (een combinatie van echolodingen en LiDAR data). De algehele plaaterosie is goed zichtbaar; met name het oppervlakte van de gebieden hoger dan +0,5 m NAP is sterk verminderd tussen 1990 en 2019. Verder is de zuidrand sterk geërodeerd (in lijn met de ontwikkeling voor 1990,

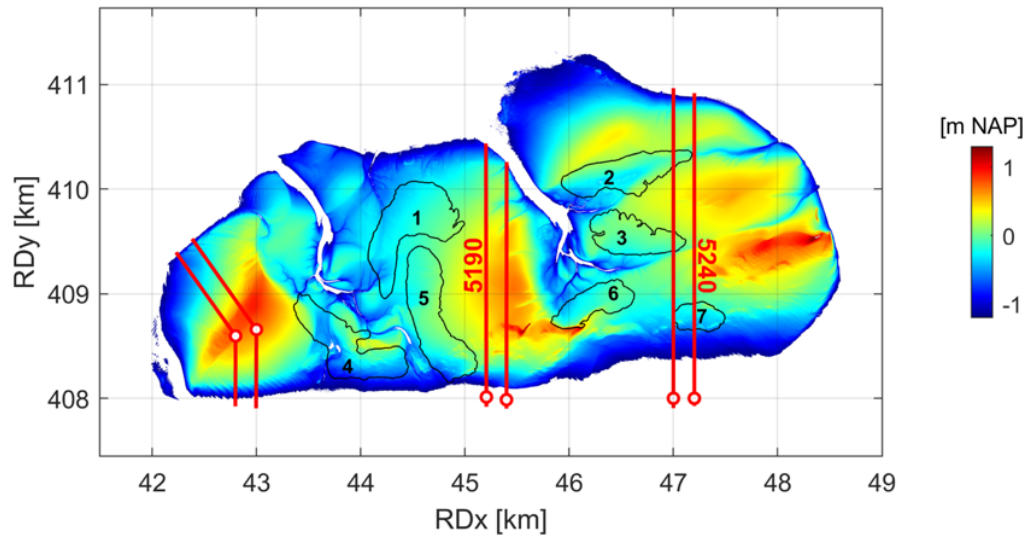
zie Figuur B1-8) en lijken de geulen en plaatdelen zich in noordoostelijke richting te verplaatsen (in lijn met de noordoostelijke migratie van het Middengeultje).



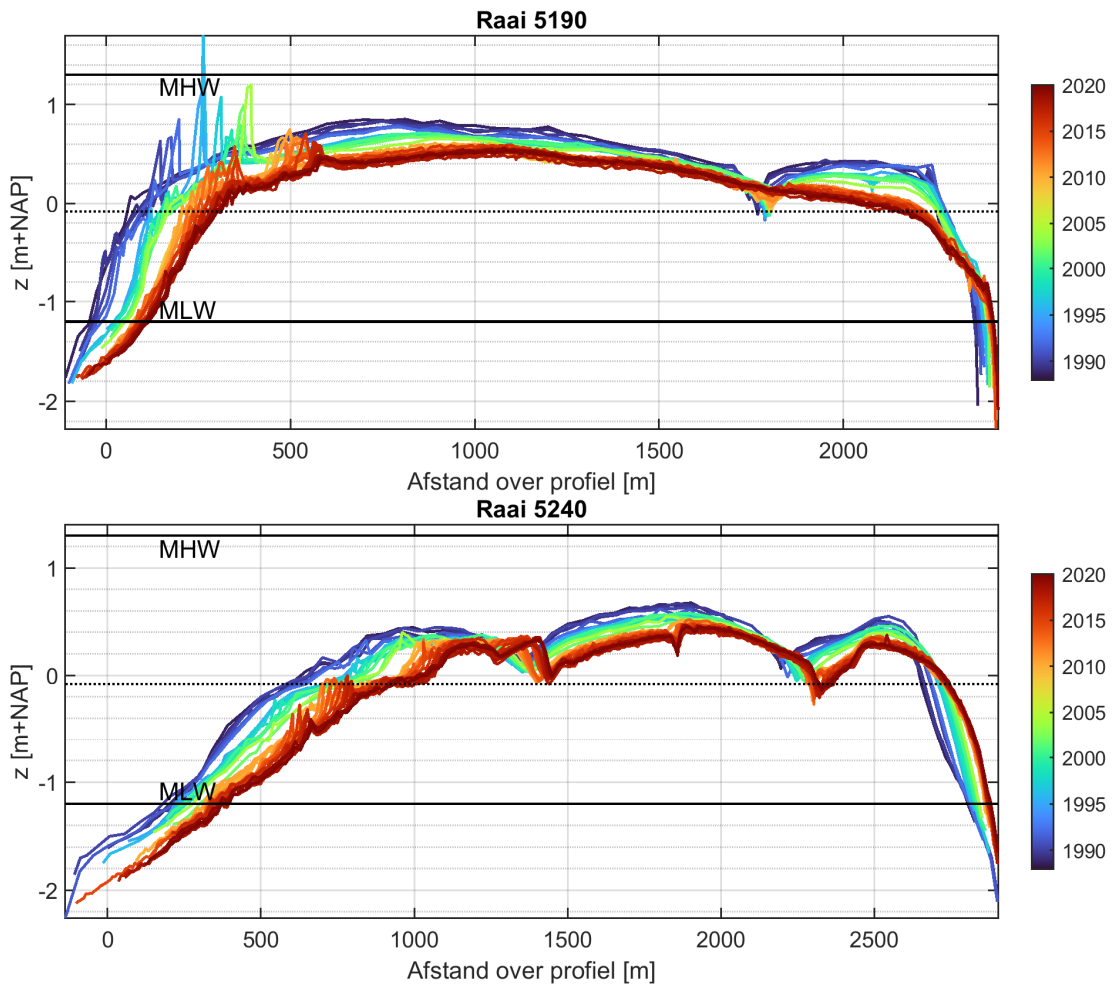
*Figuur B1-9. Bodemligging Roggenplaat in 1990 en 2019 op basis van de Vaklodingen, en het verschil hiertussen. De geulen zijn veel dieper dan de kleurschaal aangeeft. Een positief verschil in bodemligging is sedimentatie (rood) en een negatief verschil in bodemligging is erosie (blauw).*

In aanvulling op de Vaklodingen wordt de bodemligging sinds 1988 langs 6 raaien over de Roggenplaat met RTK-dGPS gemeten (Figuur B1-10). Deze metingen worden ongeveer jaarlijks uitgevoerd en zijn nauwkeuriger ( $\pm 0,03$  m) dan de Vaklodingen ( $\pm 0,25$  m). De meetfouten in deze datasets zijn het gevolg van een combinatie van willekeurige en structurele fouten. Figuur B1-11 toont de bodemligging langs raaien 5190 (midden Roggenplaat) en 5240 (oostelijk deel). Ook hieruit blijkt de sterke erosie van de zuidelijke plaatrand. Deze is tussen 1988 en 2019 ongeveer 200 m verschoven in noordelijke richting. Het midden van de plaat erodeert met  $\sim 0,2-0,5$  m over deze periode. De noordelijke plaatrand ligt vrij stabiel en vertoont een milde noordelijke migratie over deze periode (sedimentatie).

Vanaf de 1990 meting zijn er schelpenruggen op de zuidelijke rand van raai 5190 zichtbaar die in noordwaartse richting verplaatsen. Er ontstaan twee schelpenruggen. In 2019 zijn de schelpenruggen afgenomen in grootte. De oostelijke raai (5240) laat duidelijk de hogere gedeelten/ruggen van de Roggenplaat zien die ook in noordelijke richting verplaatsen (een sterkere migratie van het profiel dan waargenomen in raai 5190). Dit kan duiden op een netto sedimenttransport met een sterke noordwaartse component, in lijn met de overheersende zuidwestelijke windrichting. In De Vet et al. (2018) is aangetoond dat de wind tijdens stormen inderdaad in belangrijke mate de richting van de sedimenttransporten stuurt (middels wind-gedreven stroming en windgolven). En het is juist tijdens de stormen wanneer het sedimenttransport op de Roggenplaat hoofdzakelijk plaatsvindt. Voor de zuidelijke zone kan het sediment ook (gedeeltelijk) in zuidelijke richting worden verplaatst tijdens stormen. De laatste jaren, 2010-2019, lijkt de bodemligging minder sterk te veranderen dan de jaren ervoor.



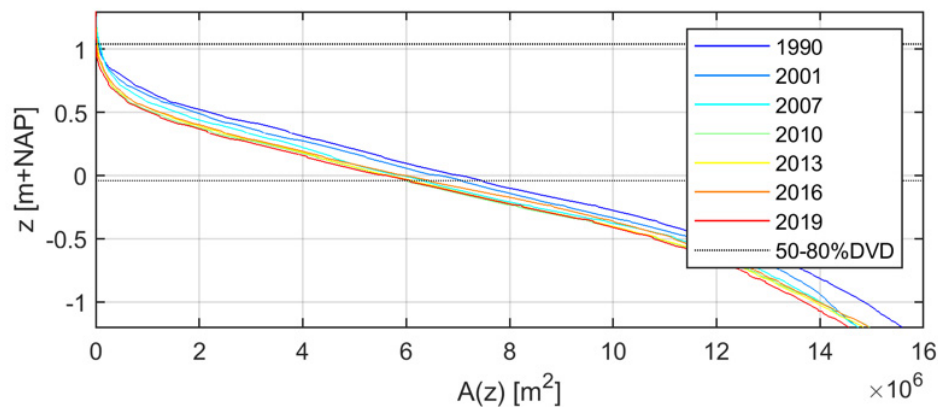
Figuur B1-10. RTK raaien op de Roggenplaat die sinds 1988 ongeveer jaarlijks zijn ingemeten. Voor raai 5190 en raai 5240 is de data weergegeven in Figuur B1-11. De cirkels geven het nulpunt van elke raai aan. Op de achtergrond zijn de LiDAR data van april 2019 (vóór suppleren) weergegeven (boven laagwater). Ter referentie, zijn de contouren en nummering van de suppletie-elementen aangegeven (realisatie eind 2019).



Figuur B1-11. Bodemligging langs RTK raaien 5190 en 5240 tot vóór de realisatie van de suppletie (eind 2019). De afstand neemt toe in noordelijke richting. De gemiddeld-laagwater (MLW) en -hoogwater (MHW) lijnen zijn aangegeven, net als de gemiddeld water lijn (stippellijn). Zie Figuur B1-10 voor de ligging van de raaien.

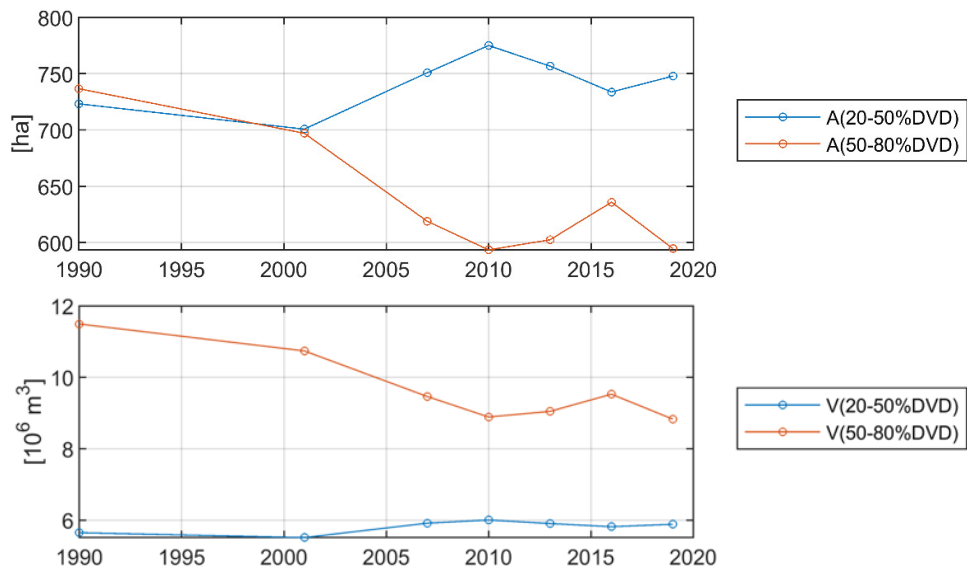
Volgens De Ronde et al. (2013) is de erosie tussen 1990 en 2010 het sterkste in het noorden en zuiden van de plaat (24 mm/jaar). Het westelijk gedeelte erodeert 14 mm/jaar en het grote middengedeelte 5 mm/jaar. De Ronde et al. (2013) koppelen de sterke erosie van de zuidrand aan golfwerking. Dit gedeelte is onderhevig aan golven uit de dominante zuidwestelijke richting. Gemiddeld erodeerde de Roggenplaat de afgelopen decennia 0,7-1,0 cm/jaar (gebaseerd op de RTK data en de Vaklodingen). De laatste paar jaren lijkt de erosietrend iets af te vlakken (De Vet et al., 2017), maar dit is momenteel nog in onderzoek.

Hypsometrische curves zijn een manier om de morfologische ontwikkeling van de Roggenplaat te bestuderen. Deze curves tonen een cumulatieve verdeling van het plaatoppervlakte als functie van de hoogte. Figuur B1-12 laat deze op basis van de Vaklodingen data zien voor de periode 1990-2019. Hierin zijn verticaal niveaus ingetekend die corresponderen met een 50% droogvalduur (NAP-0,04 m) en 80% droogvalduur (NAP+1,04 m) op basis van de waterstanden die in 2013 bij station Roompot Binnen zijn gemeten (representatief voor de recente jaren). Uit deze figuur blijkt dat de hoogteverandering op de Roggenplaat vrij uniform verloopt; na 2010 lijken de veranderingen wel kleiner. Een uitzondering hierop is de relatief snelle erosie van de plaatranden (dieper dan ca. NAP - 0,8 m), wat ook zichtbaar is in de ruimtelijke verdeling van de erosie. Verder laat deze figuur zien dat er nauwelijks areaal op de Roggenplaat is (en was) dat meer dan 80% van de tijd droogvalt (nog slechts 1 ha in 2019). Dit betekent dat het totale areaal dat meer dan 50% van de tijd droogvalt nauwelijks identiek is aan het areaal met een 50-80% droogvalduur.



Figuur B1-12. Hypsometrische curves van de Roggenplaat voor de jaren 1990, 2001, 2007, 2010, 2013, 2016 en 2019 op basis van de Vaklodingen data (geen LiDAR in 1990).

De foerageerfunctie van de Roggenplaat wordt in belangrijke mate bepaald door de droogvalduur (DVD). Van 1990 naar 2019 is het areaal en volume 20-50% DVD toegenomen, terwijl tegelijkertijd het areaal en volume 50-80% DVD is afgenomen (Figuur B1-13, Tabel B1-4 en Tabel B1-5). Afwijkingen in de trend, bijvoorbeeld in 2016, kunnen duiden op meetfouten. Het zand wordt dus in hoofdlijnen van de hogere naar de lagere delen verplaatst. De afname is sterker dan de toename, in lijn met de algehele erosie van de Roggenplaat. In 2019 ligt 594 ha van de Roggenplaat tussen de 50 en 80% van de tijd droog (Tabel B1-5). Het grootste deel hiervan (429 ha) zit overigens in de 50-60% droogvalduurklasse. Van 1990 tot aan 2019 is er ca. 2,7 miljoen kuub aan zand tussen de 50-80% DVD klasse verloren gegaan (Tabel B1-5).



Figuur B1-13. Ontwikkeling areaal (boven) en volume (onder) 20-50% en 50-80% DVD (droogvalduur) op basis van de Vaklodingen data.

Tabel B1-4. Aandeel van de Roggenplaat (in ha) dat een bepaald percentage van de tijd droogvalt voor verschillende jaren in de periode 1990 – 2019 op basis van de Vaklodingen data (geen LiDAR in 1990).

	1990	2001	2007	2010	2013	2016	2019
A(>10%DVD)	1546	1462	1459	1480	1467	1479	1440
A(>20%DVD)	1462	1402	1377	1370	1362	1371	1343
A(>30%DVD)	1334	1293	1258	1233	1232	1243	1214
A(>40%DVD)	1111	1066	1027	990	998	1033	990
A(>50%DVD)	739	702	626	595	605	637	595
A(>60%DVD)	318	268	233	175	189	198	166
A(>70%DVD)	55	40	35	22	22	24	17
A(>80%DVD)	2	5	7	2	3	1	1
A(>90%DVD)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel B1-5. Areaal en volume van verschillende droogvalduurklassen op de Roggenplaat in 1990 en 2019 op basis van de Vaklodingen data (geen LiDAR in 1990). De volumes in deze klassen zijn berekend ten opzichte van de gemiddeld laagwaterlijn. Mede hierdoor is het volume in de 10-20% droogvalduurklasse in deze analyse zeer beperkt. Dit is ook de verklaring voor het feit dat het volume in de 50-80% droogvalduurklasse substantieel groter is dan in de 20-50% droogvalduurklasse, ondanks dat het oppervlakte van de 50-80% klasse vergelijkbaar (1990) of kleiner (2019) is dan de lagergelegen 20-50% klasse.



---

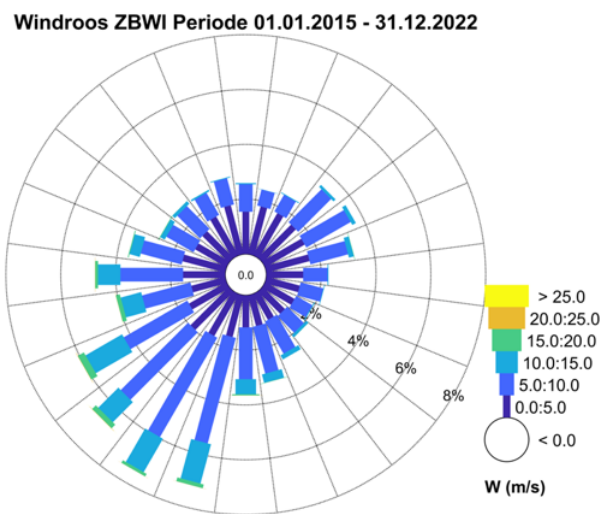
Droogvalduurklasse	1990		2019	
	Areaal ha (%)	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Areaal ha (%)	Volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
10-20	84 (5%)	0,1	97 (7%)	0,1
20-50	723 (47%)	5,7	748 (52%)	5,9
50-80	737 (48%)	11,5	594 (41%)	8,8
80-100	2 (0%)	0,1	1 (0%)	0,0

## B1.4 Achtergrond: wind-, golf-, en waterstandcondities tijdens de monitoringscampagne

In deze paragraaf worden de wind-, golf-, en waterstandcondities geschetst die gedurende de monitoringscampagne (T0 t/m T3) zijn opgetreden. In deze beschouwing worden jaargemiddelde condities behandeld en worden de stormevenementen eruit uitgelicht, met speciale aandacht voor de sluitingen van de Oosterscheldekering. Deze informatie faciliteert de beantwoording van de diverse morfologische onderzoeksvragen. De stroming op de Roggenplaat valt buiten de focus van deze paragraaf, omdat daar een specifieke onderzoeksvraag aan is gewijd (paragraaf B1.7.5).

### B1.4.1. Windcondities

De windmetingen bij de Zeelandbrug (voor de locatie zie Figuur B1-1) worden in deze studie als representatief beschouwd voor de Roggenplaat. De windrichting is nautisch gedefinieerd, dat wil zeggen 0° correspondeert met een wind afkomstig uit het noorden. De windroos (Figuur B1-14) toont dat het windklimaat op deze locatie wordt gedomineerd door zuidwestelijke wind.



*Figuur B1-14. Windroos van metingen bij windstation Zeelandbrug (ZBWI) van 1 januari 2015 tot 31 december 2022. De locatie van het windstation is in Figuur B1-1 weergegeven.*

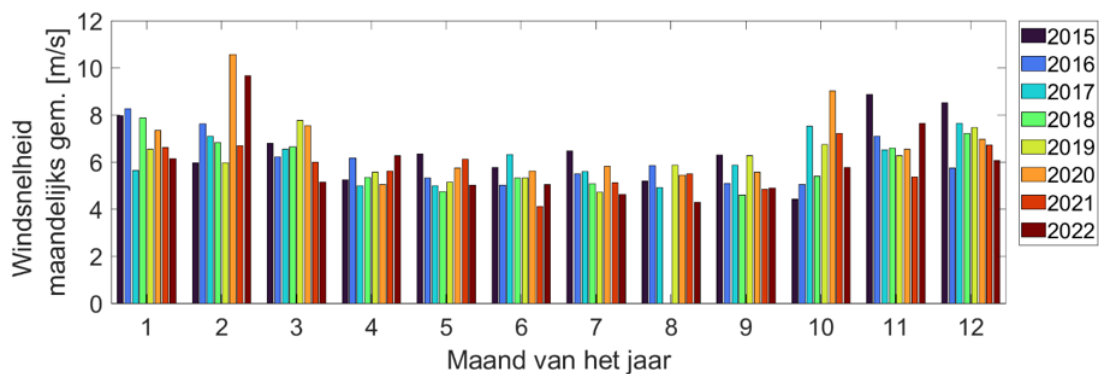
Ter illustratie, in deze periode zijn windsnelheden 42% van de tijd onder de 5 m/s, 46% van de tijd tussen de 5 en 10 m/s, en ruim 12% van de tijd meer dan 10 m/s (Tabel B1-6). De maximale gemeten snelheid was in deze periode 26,2 m/s op 19 februari 2022.

*Tabel B1-6. Percentage van voorkomen van de windsnelheden. Deze percentages zijn zowel getoond voor de gehele monitoringscampagne als twee stormrijke perioden (februari 2020 en 2022).*

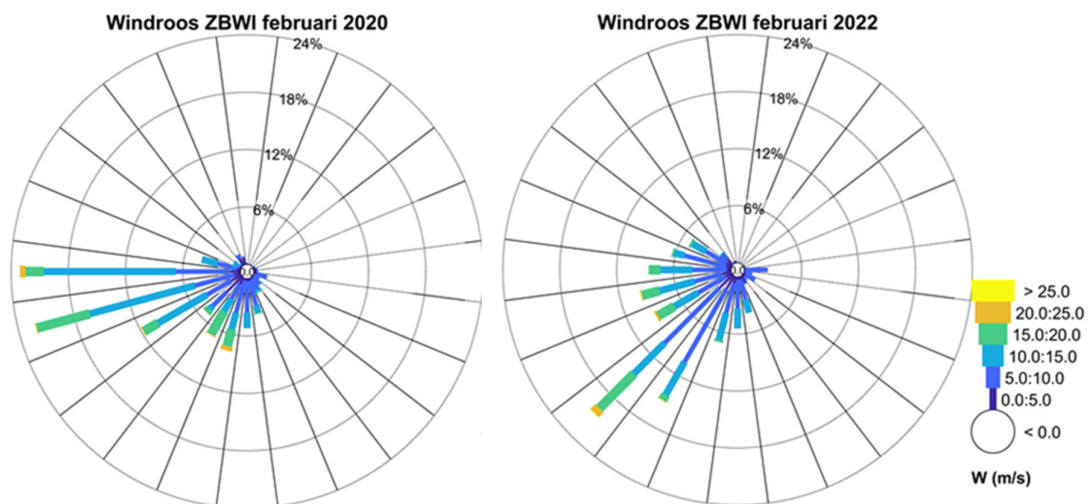
Windsnelheden	% van voorkomen jan 2015-dec 2022	% van voorkomen februari 2020	% van voorkomen februari 2022
0-5 m/s	41,6 %	10,7 %	10,6 %
5-10 m/s	46,1 %	33,2 %	48,4 %
10-15 m/s	11,1 %	40,0 %	28,0 %
15-20 m/s	1,3 %	14,7 %	11,6 %
20-25 m/s	< 1 %	1,4 %	1,1 %

Gemiddelde windsnelheden per maand variëren tussen 5 m/s in de zomermaanden en 7 m/s tijdens de wintermaanden (Figuur B1-15). De maanden februari van 2020 en 2022 waren relatief stormachtig, met gemiddeld 3 m/s grotere windsnelheden dan in andere februarimaanden (zie de specifieke windrozen in Figuur B1-16, en windklassen in Tabel B1-6). Waar over de hele periode 2015-2020 de windsnelheid 1% van de tijd 15-20 m/s bedroeg, was dit in februari 2020 15% van de tijd en in februari 2022 12% van de tijd.

In februari 2020 zijn er vier stormen opgetreden; op 9 februari storm Ciara, op 11 februari een westerstorm, op 16 februari storm Dennis en op 24 februari nogmaals een westerstorm. In februari 2022 zijn er 5 zuidwesterstormen opgetreden; op 31 januari storm Corrie, op 6 februari een westerstorm, op 16 februari storm Dudley, op 18 februari Eunice en op 20 februari Franklin. Dit was een uitzonderlijk stormachtige periode. De KNMI geeft aan dat storm Eunice in de top 3 staat van de zwaarste stormen in ruim vijftig jaar. Daarbij komt het feit dat deze laatste 3 stormen kort na elkaar optraden (een drielingstorm genoemd), de laatste keer dat dit voorkwam was in 1928.



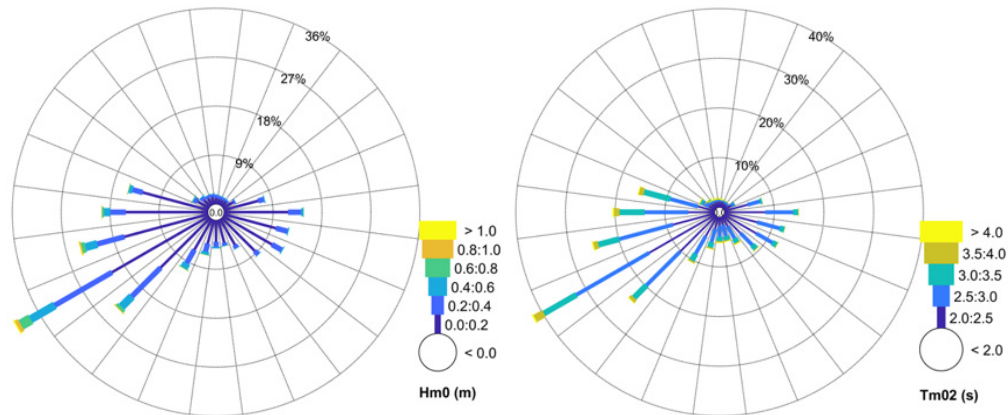
Figuur B1-15. Gemiddelde windsnelheden per maand bij windstation Zeelandbrug (voor de locatie zie Figuur B1-1).



Figuur B1-16. Windroos van februari 2020 (links) en februari 2022 (rechts) bij windstation Zeelandbrug (voor de locatie zie Figuur B1-1).

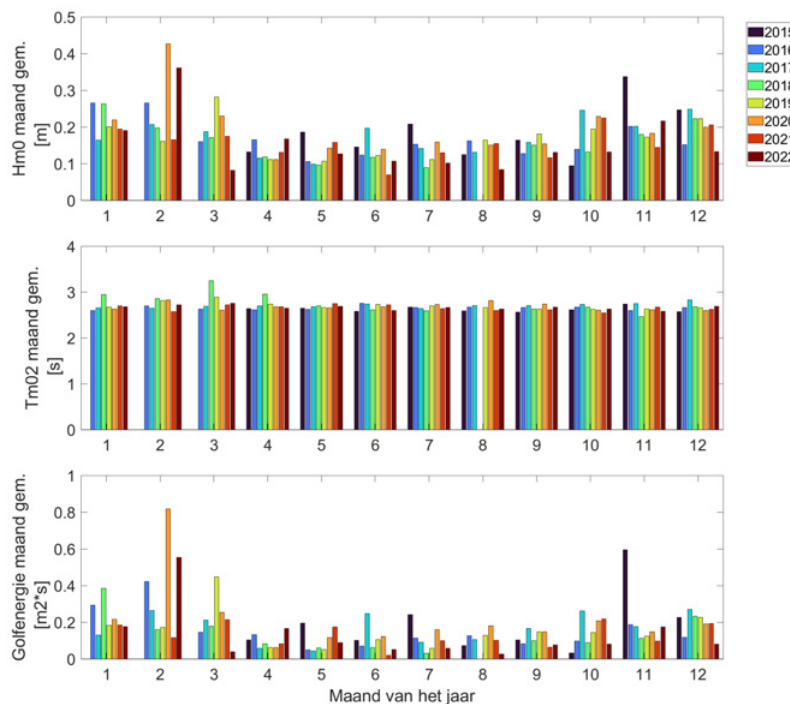
### B1.4.2. Golfcondities

De golfmetingen worden weergegeven in de vorm van golfrozen van representatieve eigenschappen; de significante golfhoogte  $Hm0$  en golfperiode  $Tm02$  (Figuur B1-17). Deze laten zien dat lokaal opgewekte windgolven dominant zijn, aangezien de golfhoogte grotendeels lager is dan 0,4 m met relatief korte golfperiodes van minder dan 4 s. De golfrichtingen zijn typisch uit oostelijke of zuidwestelijke richting. Golven uit noordelijke richting zijn relatief klein in de geulen ten zuiden van de Roggenplaat doordat de Roggenplaat golven uit deze richting grotendeels tegenhoudt.



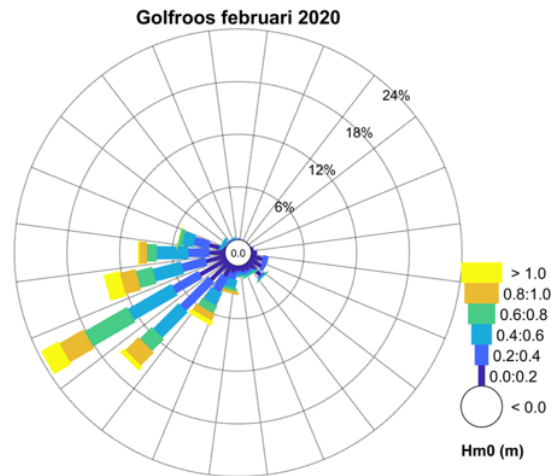
Figuur B1-17. Golfrozen voor de periode van 1 januari 2015 tot 31 december 2022 gemeten op de locatie van de Waverider zoals aangegeven in Figuur B1-1. Links, significante golfhoogte  $Hm0$  (m), rechts, golfperiode  $Tm02$  (s).

De maandgemiddelde golfcondities zijn weergegeven in Figuur B1-18, en tonen een typische golfhoogte van 20 cm, en golfperiodes van rond de 2,5-3 s. Tijdens de T1 periode zijn er twee stormachtige maanden zichtbaar, februari 2020 en februari 2022 (conform de windcondities in paragraaf B1.4.1), met een verdubbeling van de gemiddelde golfhoogte en meer dan driemaal de gemiddelde golfenergie ( $Hm0^2 \times Tm02$ ). Deze twee stormachtige perioden worden hieronder verder toegelicht.



Figuur B1-18. Gemiddelde significante golfhoogte (m), golfperiode (s) en golfenergie ( $m^2s$ ) gemeten op de locatie zoals aangegeven in Figuur B1-1.

Tijdens de februaristormen van 2020 zijn er door de Waverider ten zuiden van de Roggenplaat golfhoogten gemeten van 1-1,5 m. De golfperioden waren kleiner dan 5 s, en kwamen uit westzuidwestelijke richting (~230-270 graden). De golfroos voor februari 2020 is weergegeven in Figuur B1-19.

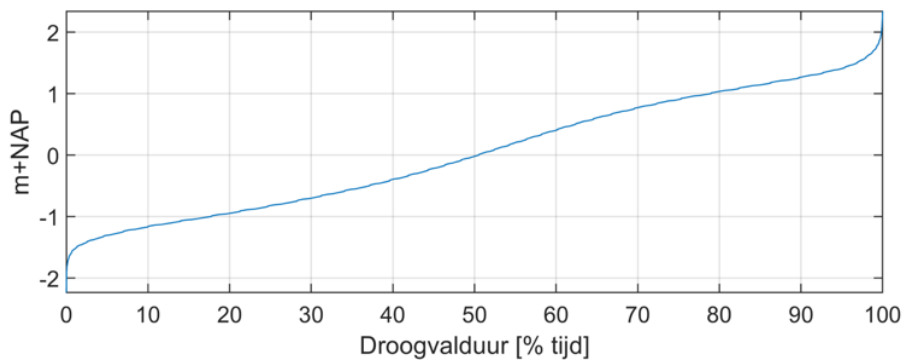


Figuur B1-19. Golfroos van februari 2020 gemeten op de locatie zoals aangegeven in Figuur B1-1.

Omdat de Waverider gedurende de tweede helft van februari 2022 niet gefunctioneerd heeft (onderhoud; o.a. tijdens de drielingstorm is er niet gemeten), is er voor die maand geen golfroos opgesteld. Tijdens Corrie functioneerde de Waverider wel en zijn er golfhoogten gemeten tot 0,9 m. Tijdens de daaropvolgende westerstorm (6 februari 2022) was de golfhoogte maximaal 1,3 m, waren de golfperioden tot 4 s, en kwamen de golven uit een westzuidwestelijke richting (~240 graden).

#### B1.4.3. Waterstandcondities en sluitingen kering

Waterstanden zijn gemeten zeewaarts (Roompot Buiten) en landwaarts (Roompot Binnen) van de Oosterscheldekering (voor de locaties zie Figuur B1-1). De waterstanden variëren door astronomische en meteorologische invloeden. Rond de Roggenplaat is de gemiddelde laagwaterstand -1,2 m NAP en de gemiddelde hoogwaterstand +1,3 m NAP. De droogvalduurcurve is weergegeven in Figuur B1-20 en de corresponderende droogvalduurwaarden zijn getoond in Tabel B1-7. Deze waarden zijn tijdens de ontwerpstudie afgeleid op basis van de waterstandmetingen bij Roompot Binnen in 2013 (Van der Werf et al., 2016).

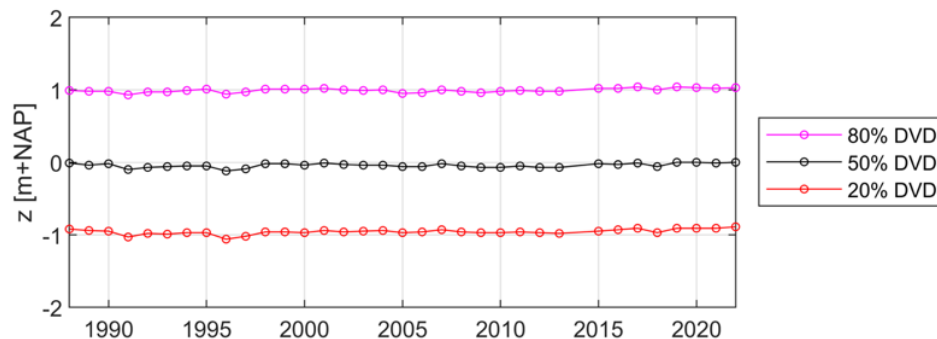


Figuur B1-20. De droogvalduurcurve gebaseerd op de waterstanden gemeten in 2013 bij Roompot Binnen (zie Figuur B1-1 voor de locatie van het meetstation).

Tabel B1-7. Een overzicht van de droogvalduurwaarden (t.o.v. NAP) bepaald voor 2013 bij Roompot Binnen.

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-1,17 m	-0,95 m	-0,70 m	-0,40 m	-0,04 m	0,40 m	0,77 m	1,04 m	1,27 m

Opgemerkt wordt dat de gemiddelde getijdekaracteristieken in werkelijkheid over de jaren variëren, zie Figuur B1-21. Variaties over de jaren zijn onder meer het gevolg van zeespiegelstijging en de 18,6-jarige cyclus (veroorzaakt door de afwijking van het baanvlak van de maan ten opzichte van dat van de aarde). De tijdvariaties in droogvalduurwaarden zijn echter maximaal ~0,1 m (Figuur B1-21). Door in deze studie vast te houden aan de droogvalduurwaarden op basis van de 2013 waterstanden bij Roompot Binnen (consistent met de ontwerpstudie) wordt volledig gefocust op de morfologische veranderingen en zijn directe vergelijkingen met de berekeningen van de ontwerpstudie (Van der Werf et al., 2016) mogelijk.

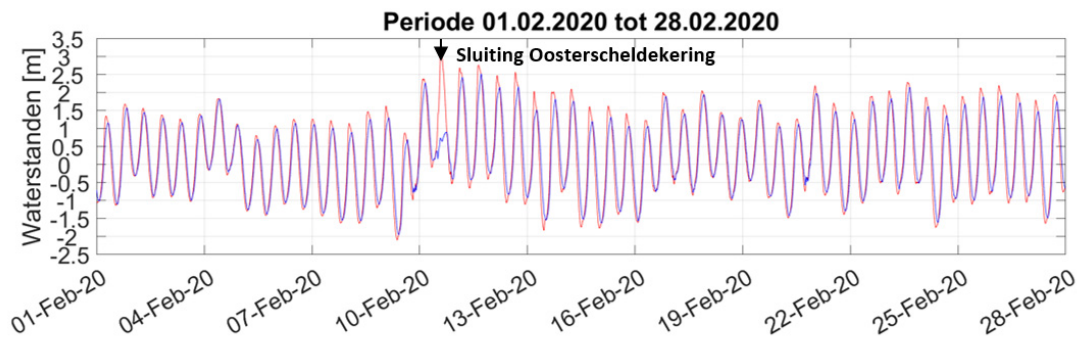


Figuur B1-21. Ontwikkeling waterstanden bij Roompot Binnen die corresponderen met 20%, 50% en 80% droogvalduur.

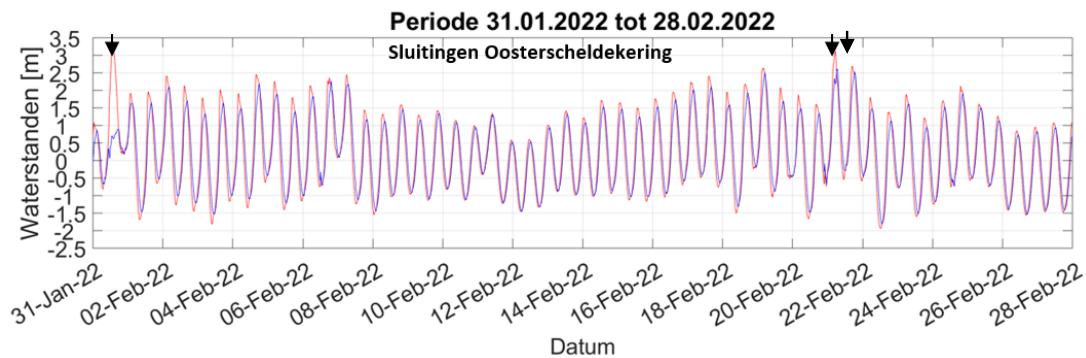
De Oosterscheldekering is gedurende de monitoringsperiode (2015 t/m 2022) op de volgende dagen gesloten geweest:

- 3 januari 2018
- 10 februari 2020
- 31 januari 2022
- 21 februari 2022 (late sluiting, streefpeil binnen met 1,5 m overschreden)

De sluitingen na aanleg van de suppletie (eind 2019) worden hierna in meer detail besproken. In februari 2020 is de Oosterscheldekering gesloten op 10 februari naar aanleiding van de verwachte hoogwaterstand van +3,05 m NAP bij Roompot Buiten (Figuur B1-22). Tijdens de sluiting waren de waterstanden binnen de Oosterschelde tussen de +0,4 m NAP en +1,0 m NAP. Begin 2022 is de Oosterscheldekering tweemaal gesloten binnen één maand vanwege verwachte waterstanden van +3,1 m NAP op 31 januari en +2,80 m NAP (uiteindelijk +3,11 m NAP gemeten, en is op dat moment (later dan normaliter) overgegaan tot sluiting) op 21 februari (Figuur B1-23). De waterstanden binnen waren respectievelijk rond de +0,8 m NAP en de +2,5 m NAP. Vanwege de late sluiting op 21 februari 2022 is het reguliere streefpeil (+1,0 m NAP) binnen de Oosterschelde niet behaald (1,5 m overschrijding).



Figuur B1-22. Waterstanden tussen 1 februari 2020 en 28 februari 2020, gemeten bij Roompot Buiten (rood) en Roompot Binnen (blauw). Met de sluiting van de Oosterschelde aangegeven op 10 februari.



Figuur B1-23. Waterstanden tussen 29 januari 2022 en 28 februari 2022, gemeten bij Roompot Buiten (rood) en Roompot Binnen (blauw). Met de sluitingen van de Oosterscheldekering aangegeven op 31 januari en 21 februari.

## B1.5 Evaluatie ontwikkeling Roggenplaatcomplex

In deze paragraaf staat evaluatievraag 1 centraal:

### Evaluatievraag morfologie 1

Hoe verandert het areaal droogvalduur in de periode 2017-2024 op de gehele Roggenplaat?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

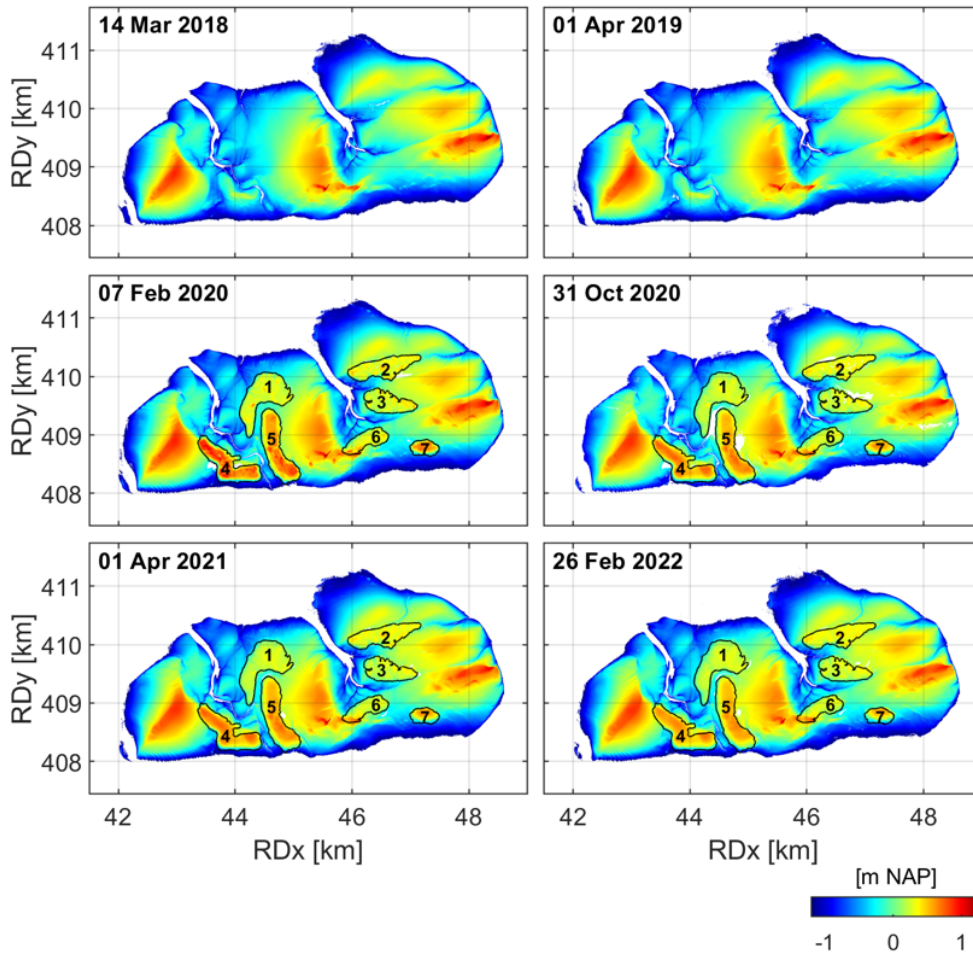
De ontwikkeling in droogvalduur hangt direct samen met de morfologische ontwikkelingen en de aanleg van de suppleties. In de jaren vóór aanleg van de suppleties (van 2018 tot eind 2019) waren de morfologische veranderingen beperkt, in lijn met de vrij uniforme ontwikkeling (afname in hoogte) over het afgelopen decennium. Met de aanleg van de suppleties is het areaal met een droogvalduur van meer dan 50% toegenomen met ongeveer 96 ha (een toename van 16%). In de jaren na aanleg zijn er in de metingen in deze droogvalduurklasse variaties in de orde van enkele hectaren opgetreden. Vooral nog is de ontwikkeling in het areaal met een droogvalduur van meer dan 50% na suppleren beperkt tot enkele hectaren. Het aantal jaren aan LiDAR metingen na suppleren (3) is echter nog te beperkt om precieze trends in droogvalduur te duiden, ook gezien de uitzonderlijke stormen in deze periode en mogelijke meetfouten. De RTK en LiDAR metingen vertonen beide een afname in hoogte van de (met name zuidelijke) suppletie-elementen en tonen lokaal sedimentatie ten noorden van deze elementen. Dit betekent een afname in het areaal van de hoogste droogvalduurklassen van de plaat.

### Droogvalduur

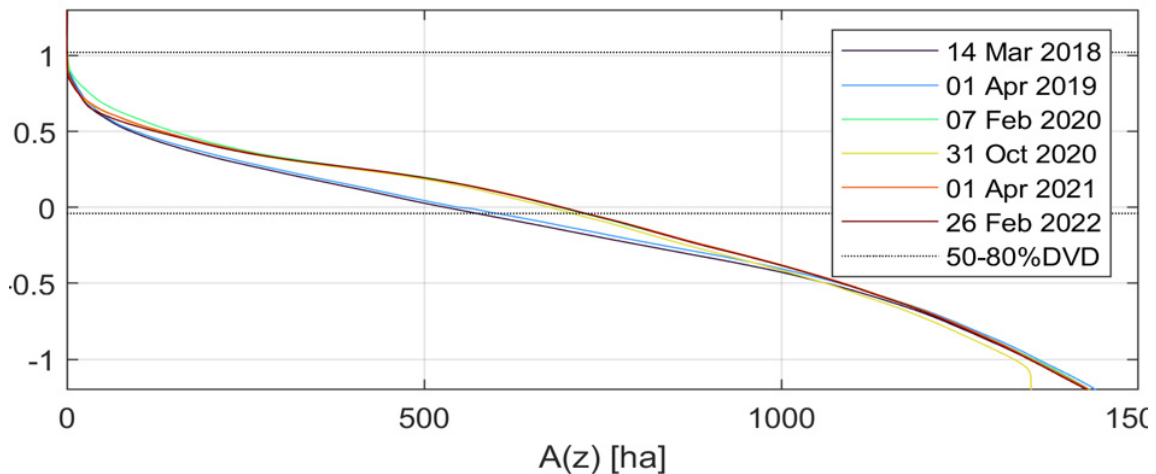
Het areaal droogvalduur van de gehele Roggenplaat is een centrale doelindicator voor dit suppletieproject. De ontwikkeling van het areaal droogvalduur is direct gekoppeld aan de morfologische ontwikkeling van de plaat. De (plaat-breed gecorrigeerde, zie paragraaf B1.2.4) LiDAR opnamen tonen aan dat de hoogteveranderingen tussen 2018 en 2019, vóór de plaatsing van de suppletie-elementen, zeer beperkt zijn (Figuur B1-24). Dit komt ook tot uitdrukking in de zeer vergelijkbare hypsometrische curves voor die jaren (Figuur B1-25). Dit is in lijn met de vrij uniforme ontwikkeling van de hoogteveranderingen op de Roggenplaat tussen 1990 en 2019 (paragraaf B1.3; Walles et al. 2021a). De realisatie van de suppletie-elementen resulteerde in een substantiële verandering van de hypsometrische curves. Het areaal met een droogvalduur van meer dan 50% is bijvoorbeeld tussen april 2019 en februari 2020 met ongeveer 121 ha toegenomen (20%). De LiDAR opnamen in de jaren na de plaatsing van de suppletie-elementen tonen dat er daarna variaties optreden in de orde van enkele hectaren (zie ook Tabel B1-8). Het areaal met een droogvalduur van meer dan 80% is geheel verloren gegaan (was 1 ha direct na suppleren). De vergelijking van het areaal met een droogvalduur van meer dan 50% in februari 2020 (gelijk na suppleren) en april 2021 laat een kleine stijging van het areaal zien (4 ha). Tussen april 2021 en februari 2022 neemt het areaal met 2 ha af. Omdat 91 ha van de Roggenplaat in de metingen van oktober 2020 ten opzichte van 2019 ontbrak, is de daar waargenomen substantiële afname in areaal niet in bovenstaande overwegingen in beschouwing genomen.

Opgemerkt wordt dat het aantal jaren aan LiDAR metingen na suppleren (3) nog te beperkt is om waar te nemen of er doorzettende trends in droogvalduur optreden. Waargenomen areaalveranderingen over deze relatief korte periode hoeven niet alleen doorzettende trends te zijn maar kunnen ook te maken hebben met uitzonderlijke stormen in deze periode (paragraaf B1.4) en meetfouten (paragraaf B1.2).





Figuur B1-24. Hoogtekaarten op basis van LiDAR data van de Roggenplaat van 2018, 2019, 2020, 2021 en 2022. De LiDAR opnamen zijn gecorrigeerd met de plaat-breed correctiefactor op basis van de RTK metingen (zie paragraaf B1.2.4). De contouren en nummering van de suppletie-elementen zijn in de hoogtekaarten vanaf 2020 aangegeven.



Figuur B1-25. Hypsometrische curves van de Roggenplaat (links) voor de jaren 2018 t/m 2022 op basis van de plaat-breed gecorrigeerde LiDAR data. De ondergrens van de hypsometrische curves is gemiddeld laagwater, de bovengrens is gemiddeld hoogwater. Door het ontbreken van een substantieel deel van de Roggenplaat in de metingen van oktober 2020 (91 ha t.o.v. 2019) toont de curve van oktober 2020 een totaal areaal dat kleiner is dan het areaal in februari 2020 (te zien aan het horizontale verschil rechtsonder in de curve).

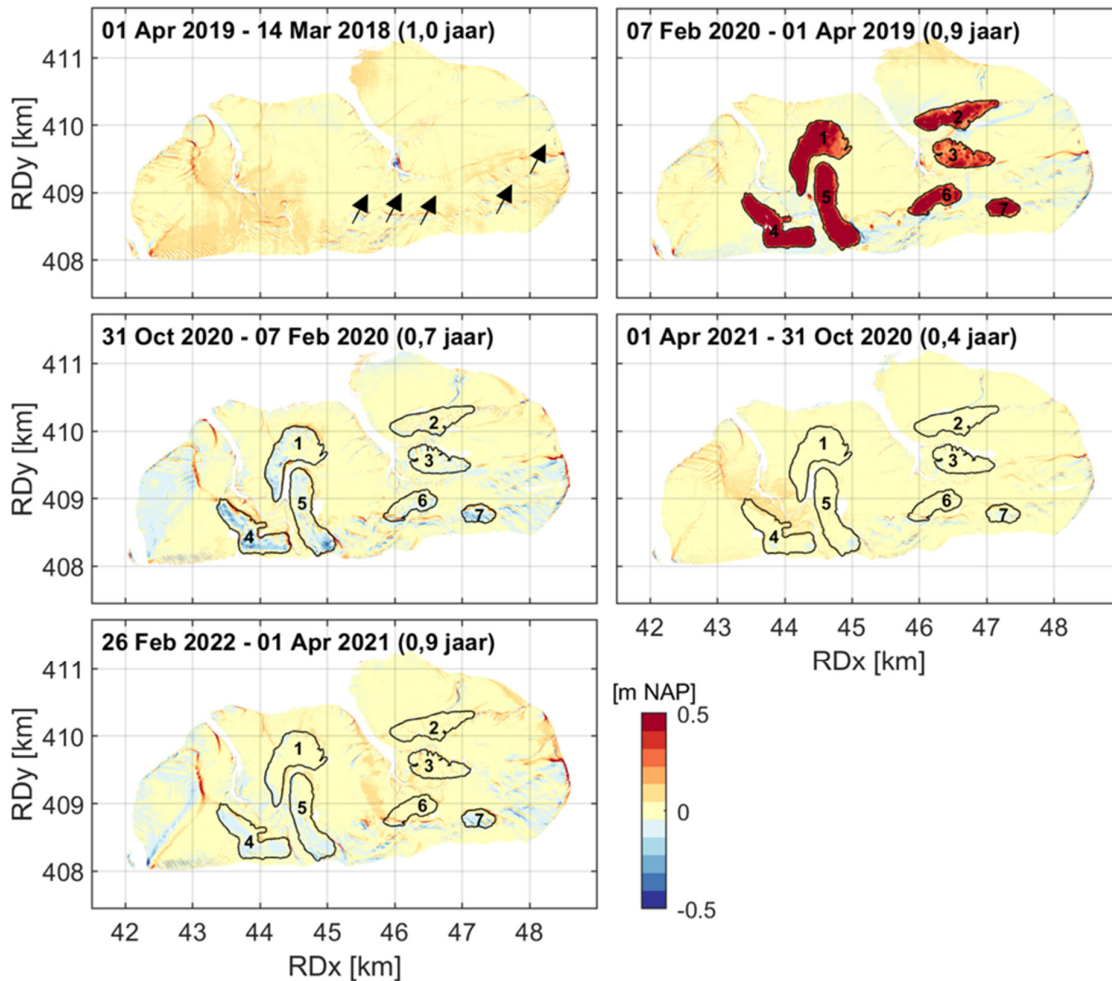
Tabel B1-8. Het areaal (ha) van verschillende droogvalduurklassen voor 2018 t/m 2022 op basis van de (plaat-breed gecorrigeerde) LiDAR data. Afwijkingen met Tabel B1-4 komen doordat in die tabel de Vaklodingen data is beschouwd die ook 1990 beslaat (maar beschikbaar is voor alle jaren in onderstaande tabel). Doordat 91 ha van de plaat ontbreekt in de metingen van oktober 2020 t.o.v. 2019 (gemarkeerd met \* in onderstaande tabel), is de afname in areaal in deze opname mogelijk niet fysisch (zie ook Figuur B1-25).

DVD-klasse	Mrt-2018	Apr-2019	Feb-2020	Okt-2020	Apr-2021	Feb-2022
20-50%	760	745	617	606	611	609
50-60%	416	431	489	489	501	508
60-70%	142	152	204	204	210	203
70-80%	15	18	29	15	16	14
80-90%	1	1	1	0	0	0
>50%	574	602	723	708*	727	725
>80%	1	1	1	0	0	0

### Lokale morfologische ontwikkelingen

De veranderingen in morfologie zijn nader onderzocht met verschilkaarten (Figuur B1-26). Er zijn in het zuidoosten van het Middengeultje tientallen centimeters aan veranderingen zichtbaar die duiden op een migratie van één van de aftakkingen van het Middengeultje. Deze veranderingen zijn in paragraaf B1.7.4 nader onderzocht met de Multibeam data. Verder migreren de bodemvormen (o.a. schelpenruggen) op de Roggenplaat naar het noordoosten tussen 2018 en 2019 (gemarkeerd met de pijlen in Figuur B1-26). Deze migratie is in lijn met de ontwikkeling zoals in de afgelopen decennia waargenomen (paragraaf B1.3) en is ook in de 2020, 2021 en 2022 metingen (na aanleg van de suppleties) zichtbaar. Migrerende bodemvormen resulteren in beginsel niet in substantiële veranderingen in droogvalduurarealen op de plaat, omdat sedimentatie aan de ene kant samen gaat met erosie aan de andere kant.

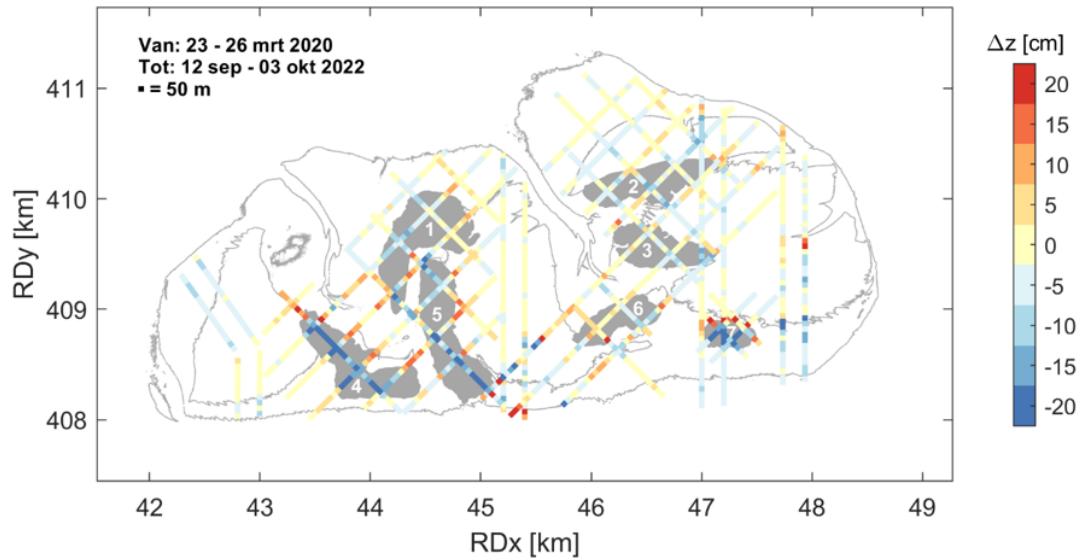
In de verschilkaart tussen april 2019 en februari 2020 domineren de zeven suppletie-elementen. De toename in bodemhoogte overschrijdt de kleurschaal substantieel (meer dan 0,5 m verhoging, zie Figuur B1-29 voor de dikte van de suppletie-elementen). Dit staat logischerwijs in direct verband met de eerder benoemde 20% toename in areaal met een droogvalduur van meer dan 50%. Wanneer we kijken naar de verandering in areaal binnen verschillende droogvalduurklassen (Tabel B1-5), zien we dat het areaal in alle subklassen boven de 50% DVD (50-60%, 60-70%, en 70-80%) toenam tussen april 2019 en februari 2020. Het areaal met een droogvalduur van 20-50% nam daarentegen met af (-17%). Na suppleren is in de verschilkaarten (Figuur B1-26) een afname in hoogte van de suppletie-elementen zichtbaar. Dit impliceert logischerwijs een afname in het areaal van de hoogste droogvalduurklassen. Deze afname vindt met name plaats in de droogvalduurklasse van 70-80% (Tabel B1-5). De ontwikkeling van de suppletie-elementen wordt nader bestudeerd in paragraaf B1.6.



Figuur B1-26. Verschilkaarten van de (plaat-breed gecorrigeerde) LiDAR data van de Roggenplaat. In de eerste verschilkaart (2019-2018) tonen de pijlen de autonome migratierichting van de bodemvormen. De contouren en nummering van de suppletie-elementen zijn vanaf 2020 aangegeven.

In Figuur B1-27 zijn de veranderingen in bodemhoogte van maart 2020 tot september/oktober 2022, gemeten langs de RTK raaien, ruimtelijk weergegeven. De hogere nauwkeurigheid van de RTK-dGPS raaien ( $\pm 3$  cm) ten opzichte van de LiDAR data ( $\pm 15$  cm) maakt een analyse van kleinere bodemveranderingen mogelijk, vandaar de meer gedetailleerde kleurschaal in Figuur B1-27 dan in Figuur B1-26.

Globaal gezien onderbouwen de RTK raaimetingen (Figuur B1-27) de patronen in de verschilkaarten van de LiDAR data (Figuur B1-26) en is zichtbaar dat de grootste veranderingen op of nabij de suppleties plaatsvinden. Suppletie-element 7 toont bijvoorbeeld een daling in hoogte en sedimentatie ten noorden van dit element. Ook de raaimetingen laten zien dat elementen 4, 5 en 7 de grootste lokale daling in bodemhoogte ondervonden. Direct ten noordwesten van suppletie-element 5 is lokaal erosie zichtbaar (vorming afwateringsgeultje; zie voor verdere analyse paragraaf B1.7.4). Bij afgaand water blijft tussen suppletie-elementen 1 en 5 lokaal water staan (veldwaarneming). Dat verklaart ook het gebrek aan LiDAR data (Figuur B1-26) op deze plek. In paragraaf B1.6 wordt nader ingegaan op de ontwikkeling van de suppletie-elementen.



Figuur B1-27. Verschil in bodemhoogte tussen maart 2020 (eerste meting na aanleg, in 4 dagen gemeten) en september/oktober 2022 (laatste volledige meting van 2022, in 3 weken gemeten) op basis van alle RTK raaien, geprojecteerd op een bovenaanzicht van de Roggenplaat. De RTK raaien zijn opgedeeld in segmenten van 50 m. Binnen elk segment is de gemiddelde bodemligging van het deel van de raai binnen het segment bepaald. De contouren van de Roggenplaat bij gemiddeld laagwater en gemiddeld water en de ingevulde contouren van de suppletie-elementen zijn, op basis van de LiDAR data van februari 2020, weergegeven.

---

## B1.6 Evaluatie ontwikkeling suppletie-elementen

In deze paragraaf staat evaluatievraag 2 centraal:

### Evaluatievraag morfologie 2

Hoe ontwikkelen de individuele suppletie-elementen zich morfologisch en is dit afhankelijk van de locatie op de Roggenplaat?

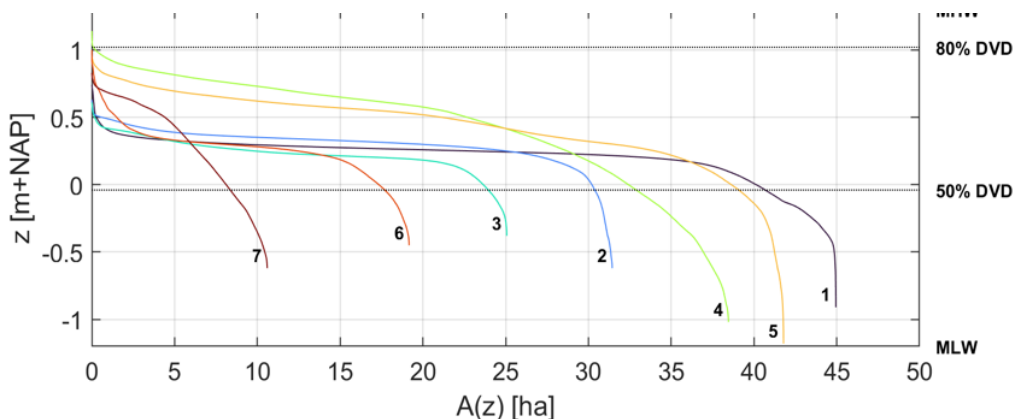
#### *Voorlopige samenvattende beantwoording:*

De suppletie-elementen zijn het sterkst veranderd in het eerste jaar na aanleg. Deze veranderingen variëren echter sterk tussen de verschillende suppleties. Suppleties 1-3 (noordelijk gelegen) liggen bijvoorbeeld één jaar later gemiddeld 2 cm lager, terwijl dit ruim 3 cm was voor suppleties 4, 5 en 7 (zuidelijk gelegen). Dit komt overeen met de verwachting uit de ontwerpfase dat de zuidelijke suppleties sterker zouden eroderen door meer golfwerking. Tussen februari 2020 (net na aanleg) en februari 2022 zijn de noordelijke suppleties 1-3 met 2-3 cm afgenomen in gemiddelde hoogte, terwijl de zuidelijke suppleties 4, 5 en 7 met 5-11 cm in gemiddelde hoogte zijn afgenomen. Omdat het aantal jaren aan data nog beperkt is, is wel nog voorzichtigheid geboden bij het duiden van (trends in) deze ontwikkelingen. De zuidelijke suppleties kennen niet alleen een grotere hoogteafname, ook de volumeverandering binnen deze suppletiecontouren was een stuk groter (tot 17% voor suppletie 7). Let wel, dit sediment kan ook direct naast de oorspronkelijke suppletiecontouren terecht zijn gekomen, en is dus niet noodzakelijk een verlies van sediment uit het intergetijdengebied (zie onderliggende kennisvraag 2). Binnen de suppleties was sprake van ruimtelijke variaties in ontwikkeling en vormveranderingen. Bijvoorbeeld, suppletie-element 7 erodeerde aan de loefzijde en de top, terwijl deze aan sedimentatie onderhevig was aan de lijzijde. Lokaal bedroeg de erosie op sommige suppletie-elementen meerdere decimeters.

In de LiDAR hoogtekaarten van 2020 (Figuur B1-24), waar tevens de nummering van de elementen in is aangegeven, zijn de aangebrachte suppletie-elementen duidelijk te identificeren. Waar in de vorige paragraaf de focus lag op de ontwikkeling van de plaat, wordt in deze paragraaf de morfologie van de suppletie-elementen nader beschouwd. Opgemerkt wordt dat de observaties momenteel beperkt zijn tot drie jaar aan monitoringsdata. Dit beperkt de mogelijkheid tot het duiden van trends. Niet alleen vanwege natuurlijke variaties, maar ook omdat de initiële ontwikkeling van de suppleties kan afwijken van de langjarige ontwikkeling. Met de monitoringsdata van de komende jaren zullen deze analyses en verklaringen van de ontwikkelingen nog nader worden aangescherpt.

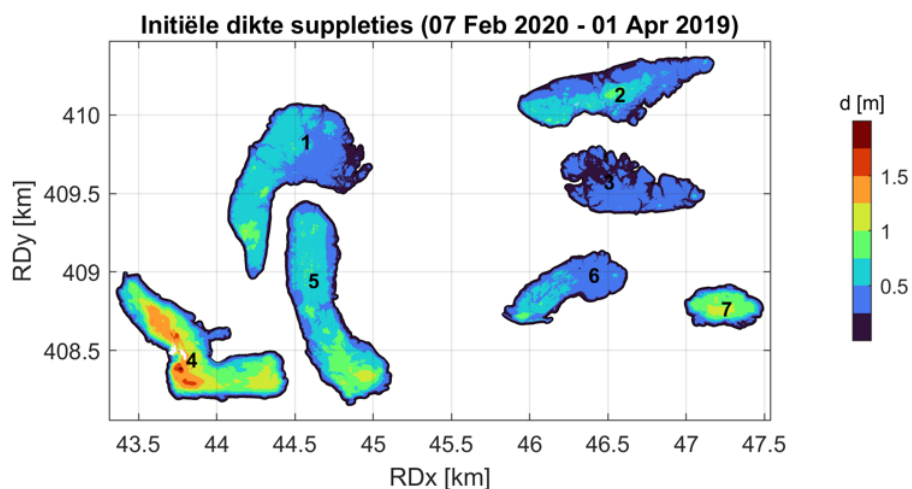
### B1.6.1. Eigenschappen suppletie-elementen

Suppletie-elementen 4, 5 en 7 zijn het hoogst uitgevoerd (8 cm hoger dan het gemiddelde van alle elementen; zie Tabel B1-9) en staken na aanleg tot 1 meter boven NAP uit. De overige elementen zijn wat lager uitgevoerd en liggen voor het grootste deel enkele decimeters boven NAP en dus enkele decimeters boven de 50% droogvalduur klasse. Dit is goed zichtbaar in de hypsometrische curves van de individuele suppletie-elementen van februari 2020 (Figuur B1-28), 1,5 maand na voltooiing van het laatste suppletie-element. De aangelegde hogere hoogteligging (en daarmee dikkere sedimentlaag) voor suppleties 4, 5 en 7 is gekozen met het oog op de verwachte sterkere erosie aan de zuidgrens van de Roggenplaat door golfwerking (van der Werf et al., 2016).



Figuur B1-28. Hypsometrische curves van de individuele suppletie-elementen 1 t/m 7 op basis van de (suppletie-specifiek gecorrigeerde) LiDAR data van de Roggenplaat van februari 2020 (eerste opname na aanleg).

De initiële dikte van de suppleties (het verschil tussen de hoogteligging in april 2019 en februari 2020) varieert tussen de elementen en ook binnen de elementen (Figuur B1-29). De maximaal aangebrachte laagdikte is 1,9 m op suppletie-element 4. Op de aan de zuidkant gelegen suppleties 4, 5 en 7 is een dikkere sedimentlaag aangebracht dan op suppleties 1, 2 en 3 gelegen aan de noordkant van de Roggenplaat, zie ook Tabel B1-9. Deze verschillen in laagdikte zijn niet alleen het gevolg van verschillen in aanleghoogte t.o.v. NAP maar vooral ook het gevolg van ruimtelijke variaties in bodemligging vóór aanleg van de suppletie-elementen.



Figuur B1-29. Dikte van de zeven suppletie-elementen, gebaseerd op de LiDAR opnamen (suppletie-specifiek gecorrigeerd; paragraaf B1.2.4) van 1 april 2019 (vóór aanleg) en 7 februari 2020 (na aanleg). De nummering van de elementen is aangegeven.

Op basis van de suppletiecontouren (paragraaf B1.2.5) en de LiDAR opnamen van april 2019 (vóór aanleg) en februari 2020 (na aanleg) is het areaal, volume en de gemiddelde dikte van de suppletie-elementen in februari 2020 bepaald, zie Tabel B1-9. Deze hoeveelheden wijken iets af ten opzichte van de waarden zoals ingemeten door Boskalis (Aanlegdocument Boskalis 2020, in Walles et al., 2021b). Het totaalvolume van de suppleties ligt met 1.076.000 m<sup>3</sup> bijvoorbeeld 5% lager dan de waarde zoals bepaald door Boskalis (1.134.000 m<sup>3</sup>). Hier ligt een aantal mogelijke oorzaken aan ten grondslag. Ten eerste zijn de hoeveelheden in Tabel B1-9 gebaseerd op metingen die enkele maanden later zijn uitgevoerd. De morfologie van de suppletie-elementen is dan al enigszins ontwikkeld (zeer waarschijnlijke verklaring; zie paragraaf B1.7.1). Ten tweede kunnen kleine verschillen in de contouren van de suppleties ook leiden tot kleine verschillen in de kentallen van de suppleties. Ten derde kunnen verschillen ook ontstaan door meetfouten.

Tabel B1-9. Kentallen van de suppletie-elementen op basis van de LiDAR data (suppletie-specifiek gecorrigeerd; paragraaf B1.2.4). Het oppervlakte (A), volume (V), de gemiddelde bodemligging (h) en gemiddelde dikte (d) zijn bepaald als het verschil tussen april 2019 en februari 2020. De ontwikkeling in volume ( $\Delta V$ ) en gemiddelde dikte/hoogte ( $\Delta d$ ) van de elementen is bepaald als het verschil tussen februari en oktober 2020 en februari 2020 en februari 2022. Eventuele gaten in de LiDAR data zijn middels ruimtelijke interpolatie opgevuld.

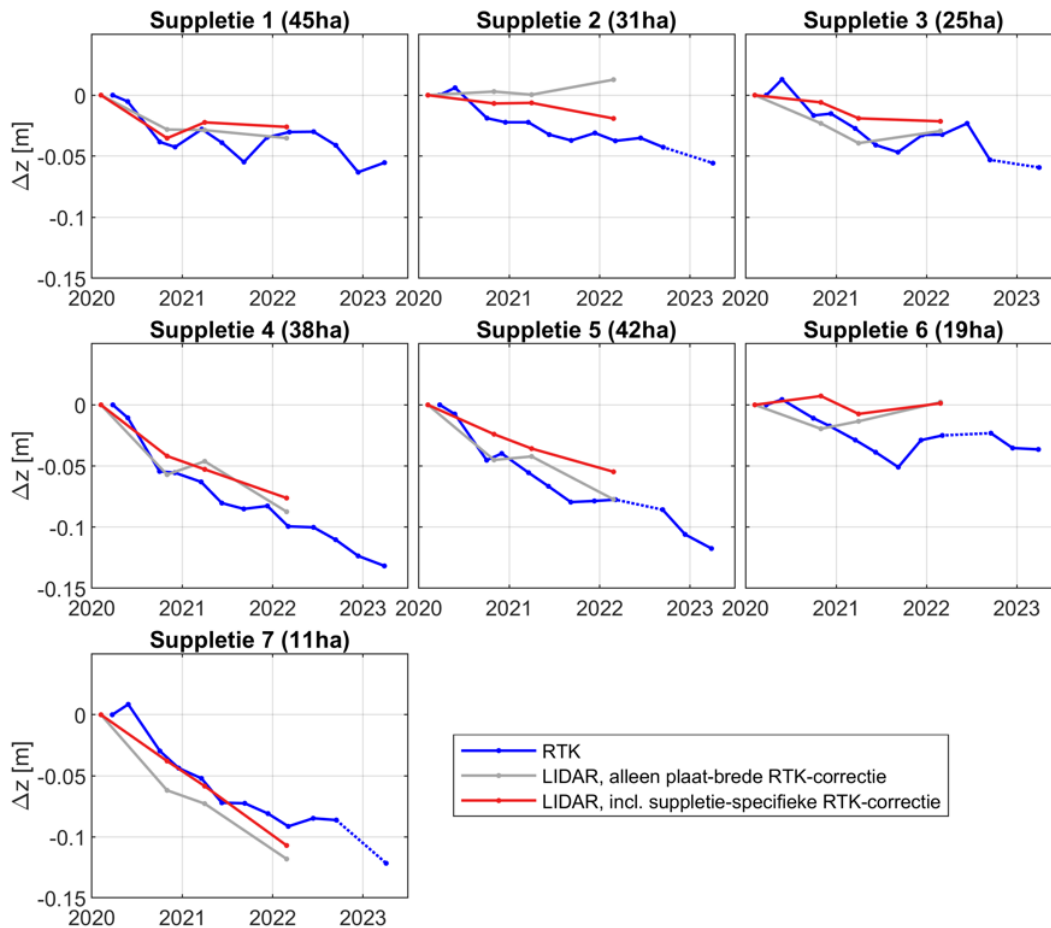
Suppletie-element	A	V	h	d	$\Delta V$ [ $10^3 m^3$ en %]		$\Delta d$ [cm]	
	[ha]	[ $10^3 m^3$ ]	[m+NAP]	[cm]	feb 2020 – okt 2020	feb 2020 – feb 2022	feb 2020 – okt 2020	feb 2020 – feb 2022
	april 2019 - februari 2020							
1	45	203	0,21	45	-16 (-8%)	-12 (-6%)	-4	-3
2	31	129	0,30	41	-2 (-2%)	-6 (-5%)	-1	-2
3	25	68	0,23	27	-1 (-2%)	-5 (-8%)	-1	-2
4	38	303	0,44	79	-16 (-5%)	-29 (-10%)	-4	-8
5	42	232	0,43	56	-10 (-4%)	-23 (-10%)	-2	-5
6	19	75	0,26	39	1 (2%)	0 (0%)	1	0
7	11	65	0,30	62	-4 (-6%)	-11 (-17%)	-4	-11
Totaal:	211	1076	0,32	51	-48 (-5%)	-86 (-8%)	-2	-4

### B1.6.2. Morfologische ontwikkeling van de suppletie-elementen

In de eerste drie jaar na aanleg zijn de suppletie-elementen aan behoorlijke morfologische veranderingen onderhevig geweest, met substantiële verschillen tussen de verschillende suppletie-elementen. Figuur B1-30 toont de ontwikkeling in gemiddelde hoogte op basis van de RTK en LiDAR metingen. Wat betreft de LiDAR data, zijn de tijdseries die ook voor lokale (suppletie-specifieke) bias gecorrigeerd (paragraaf B1.2.4) het meest betrouwbaar.

Figuur B1-30 laat zien dat sterkste veranderingen plaatsvonden in het eerste jaar na aanleg (zie ook Figuur B1-26 en Tabel B1-9). De morfologische veranderingen in het eerste jaar variëren echter sterk tussen suppleties. Het noordelijke suppletie-element 2 is bijvoorbeeld een stuk minder veranderlijk (verandering in gemiddelde dikte  $\approx 1$  cm) dan de zuidelijke elementen 4, 5 en 7 (tot 4 cm afname in gemiddelde dikte/hoogte over het eerste jaar). Zoals hiervoor al benoemd, was er voor deze elementen al in de ontwerpfase rekening gehouden met meer erosie door een grotere blootstelling aan golven (van der Werf et al., 2016).

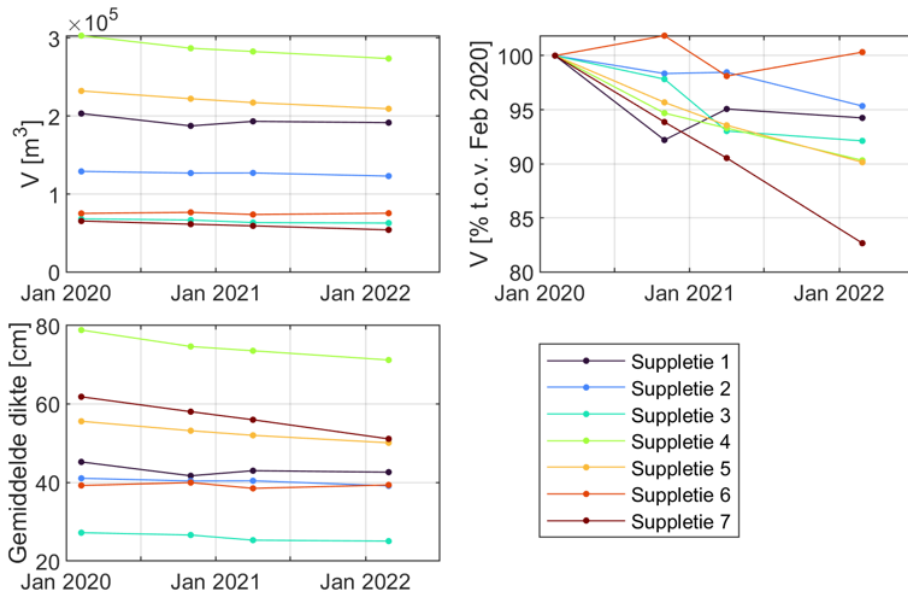
Ondanks dat deze metingen aangeven dat de grootste veranderingen in het eerste jaar plaatsvonden, is het nog te vroeg om te concluderen dat daarmee de erosiesnelheid blijvend is afgenomen. Hoewel de RTK metingen van bijvoorbeeld suppletie-element 7 wel een geleidelijke afname in erosie tonen, wijkt de eerste meting van 2023 daar toch weer van af. In het eerste jaar vonden uitzonderlijke stormen plaats (paragraaf B1.4) en het zou kunnen dat stormen de ontwikkeling van de suppleties sterk sturen (paragraaf B1.7.1). Aan de andere kant zou het ook kunnen dat suppletie-elementen minder eroderen naar mate de vorm van de suppleties aanpast. De metingen van komende jaren zullen meer inzicht geven in veranderingen in erosiesnelheden en wat dit verklaart.



*Figuur B1-30. Ontwikking van de gemiddelde hoogte/dikte van de suppletie-elementen binnen de oorspronkelijke contouren t.o.v. de eerste opname (verschilt tussen de RTK en de LiDAR). Voor de ontwikkeling op basis van de RTK metingen is voor elk opnamemoment het gemiddelde van alle raaisegmenten genomen die vallen binnen het betreffende suppletiecontour (zie Figuur B1-4). Indien een suppletie tijdens een RTK meetcampagne niet is ingemeten, is dit met een stippellijn aangegeven. Voor de LiDAR tijdseries is zowel de data getoond op basis van de plaat-brede RTK-correctie als ook na een aanvullende suppletie-specifieke RTK-correctie (paragraaf B1.2.4). Verschillen tussen de LiDAR en RTK tijdseries kunnen komen doordat de RTK metingen niet noodzakelijk representatief zijn voor een geheel suppletie-element (beperkt aantal raaien).*

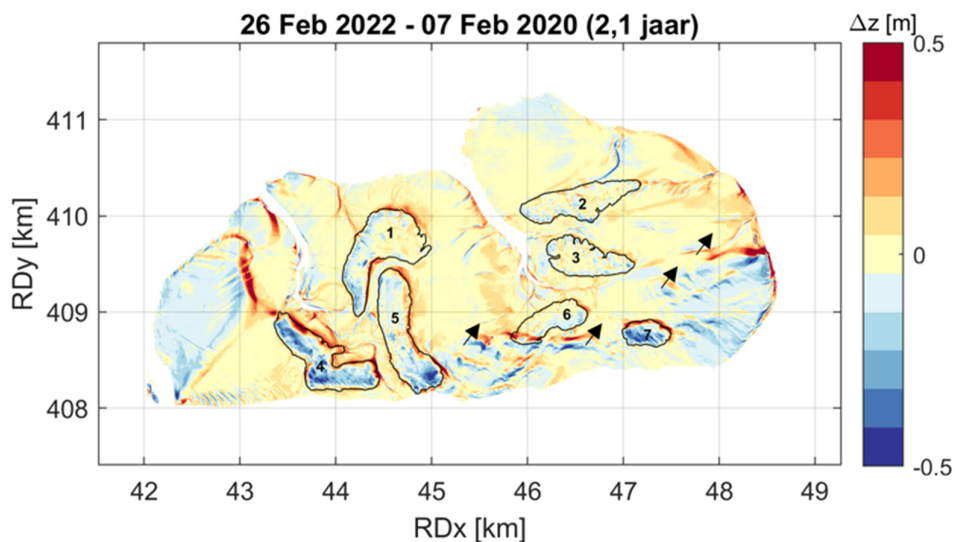
In Figuur B1-31 zijn de tijdseries van de absolute ontwikkeling van het suppletievolume, de relatieve volumeontwikkeling (t.o.v. de eerste meting na suppleren) en de ontwikkeling in gemiddelde hoogte/dikte voor de zeven suppletie-elementen in één figuur weergegeven. Dit maakt een directe vergelijking tussen de suppletie-elementen mogelijk. Goed om op te merken is dat, omdat de ontwikkeling binnen de initiële suppletie-contouren is beschouwd, de volume ontwikkeling proportioneel is met de ontwikkeling in gemiddelde hoogte/dikte. Ook deze figuur onderschrijft de substantiële verschillen in ontwikkeling tussen de suppletie-elementen. Suppletie-element 7 heeft het kleinste initiële volume en is relatief gezien in volume het meest veranderd (-17%, zie ook Tabel B1-9). Tussen februari 2020 (net na aanleg) en februari 2022 is de gemiddelde hoogte van de noordelijke suppleties met maximaal 4 cm afgenomen (suppleties 1-3 in Tabel B1-9 en Figuur B1-31), terwijl de gemiddelde hoogte van de zuidelijke suppleties tot 11 cm is afgenomen (suppleties 4-7).





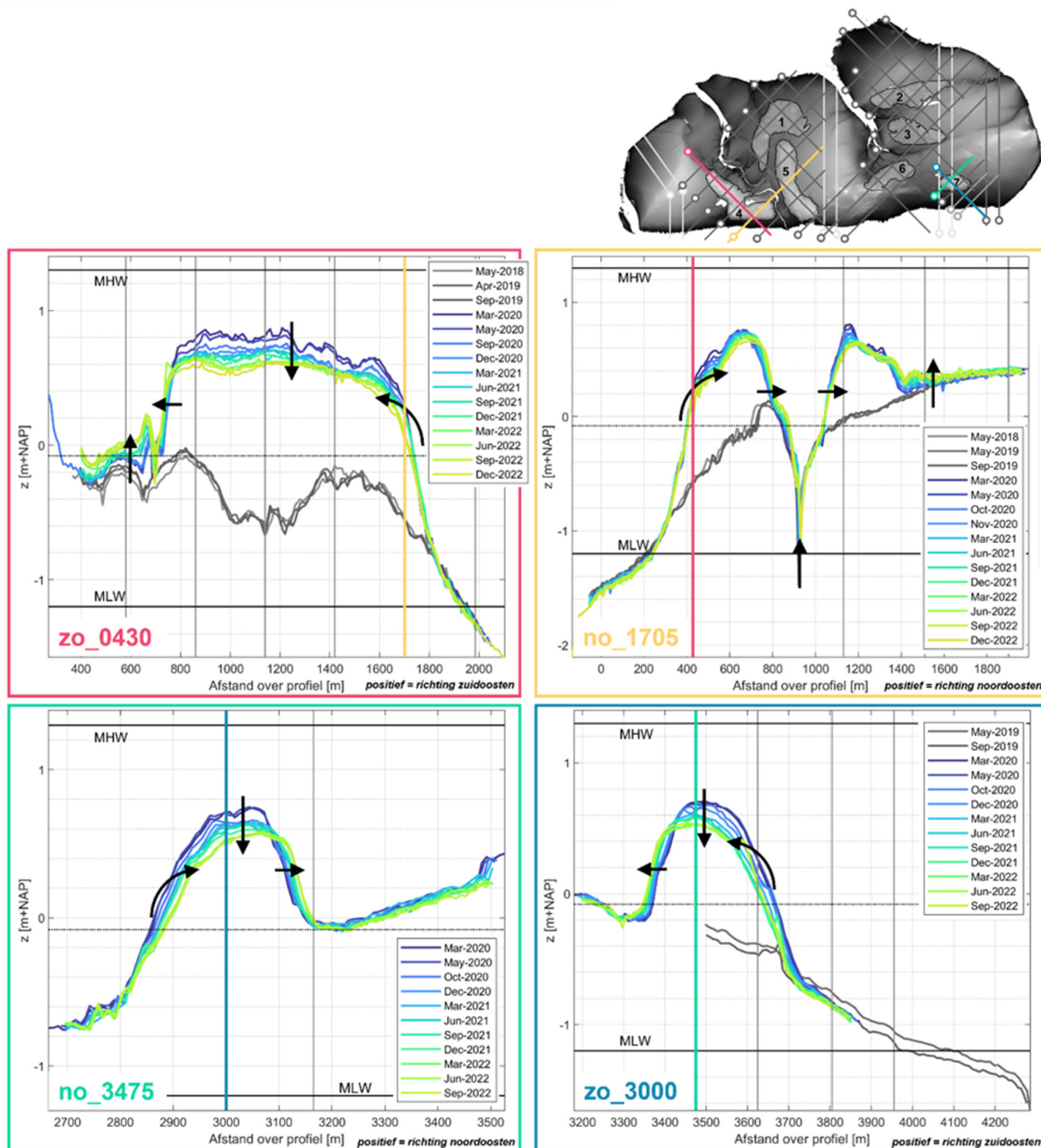
Figuur B1-31. Ontwikkeling van het absolute suppletievolume (a), relatieve suppletievolume (t.o.v. februari 2020) (b) en de gemiddelde dikte/hoogte voor de zeven suppletie-elementen (c). Dit betreft de LiDAR data na de plaat-brede én suppletie-specifieke RTK-correctie (paragraaf B1.2.4).

Belangrijk om op te merken is dat de voorgaande analyses de ontwikkeling in gemiddelde hoogteligging van de suppletie-elementen betreft. In werkelijkheid is er ook substantiële variatie in hoogteontwikkeling binnen de suppletie-contouren met lokaal uitschietters tot meerdere decimeters erosie (Figuur B1-32). Bijvoorbeeld, voor suppletie-element 7 is een patroon zichtbaar met erosie aan de loefzijde en de top van de suppletie, terwijl aan de lijzijde van de suppletie sedimentatie plaatsvindt. Voor suppletie-element 5 is het met name het zuidoostelijke deel dat sterk erodeert. Bij suppletie-element 6 is een invloed van de autonome ontwikkeling van de plaat zichtbaar: daar migreert een van de schelpenruggen (paragraaf B1.3) het suppletie-contour binnen. Ondanks deze ruimtelijke verschillen binnen de suppletie-contouren, staat nog steeds vast dat het met name de zuidelijke suppletie-elementen zijn die sterk eroderen.

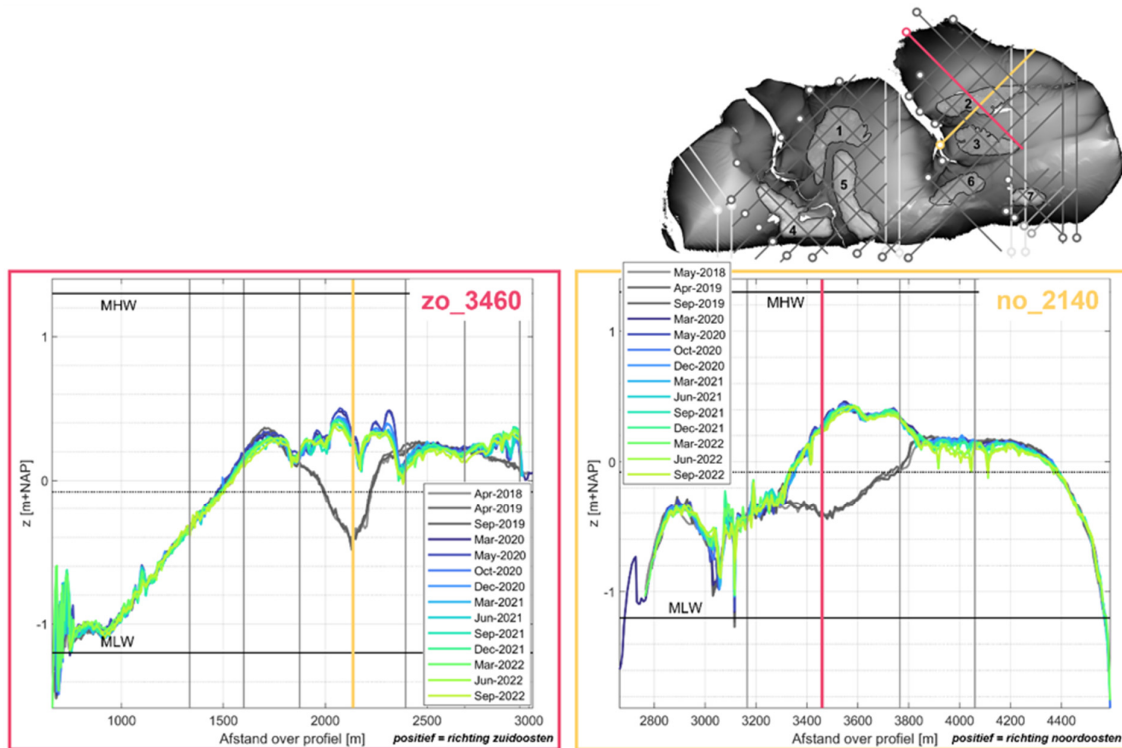


Figuur B1-32. Verschilkaart van de (suppletie-specifiek gecorrigeerde) LiDAR data tussen februari 2020 en 2022 van de Roggenplaat. De pijlen tonen de autonome migratierichting van de bodemvormen.

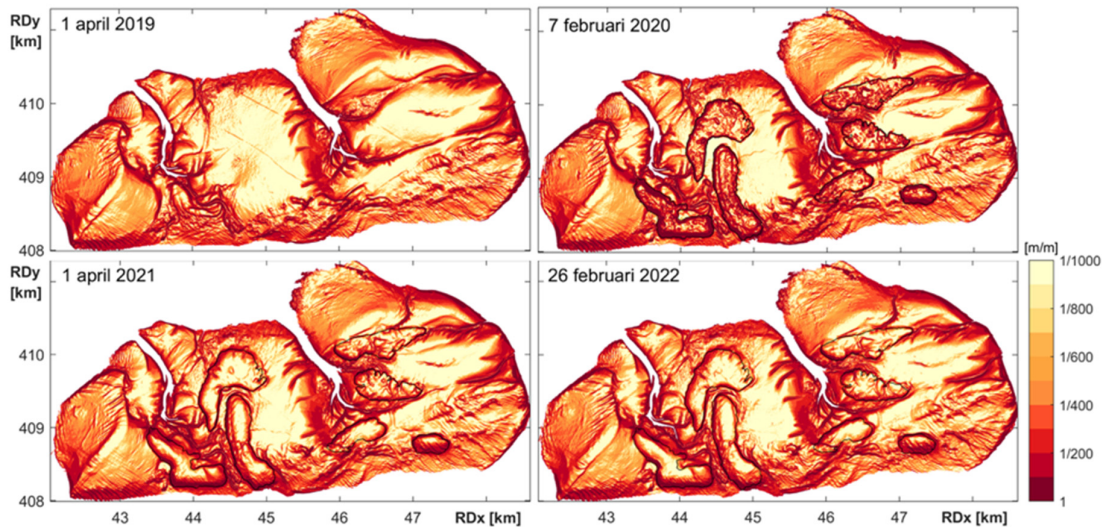
Ook uit de RTK metingen volgt dat de zuidelijke suppleties het meest erosief zijn (Figuur B1-33). De noordelijke suppleties zijn stabiel (Figuur B1-34). Opvallend is ook dat het microreliëf (variaties in hoogte van het bodemoppervlak over orde 100 m) van de zuidelijke suppleties sneller verdwijnt dan het microreliëf van de noordelijke suppleties (ook zichtbaar in de bodemhellingkaarten op basis van de LiDAR metingen in Figuur B1-35). Aangezien de zuidelijke suppleties het meest erosief zijn, zijn deze suppleties hoger ontworpen. In de eerste twee jaar is er lokaal tot 20 cm daling geobserveerd in deze RTK metingen (Figuur B1-33). De grootste erosie hangt hierbij samen met het flauwer worden van de hellingen (zie ook Figuur B1-35). Deze ontwikkeling verloopt relatief gradueel, wat erop wijst dat waarschijnlijk niet alleen stormen, maar ook het getij de suppleties uitvlakt. Figuur B1-33 laat verder nog zien dat de zuidelijke suppleties eroderen en richting het noord(-oost)en migreren. Dit is in overeenstemming met Figuur B1-32. Opvallend is dat de positie van de zuidwestrand van suppletie 4 hierbij relatief stabiel is (no\_1705 in Figuur B1-33), terwijl de zuidwestrand van suppletie 7 naar het noordoosten migreert (no\_3475 in Figuur B1-33). Suppletie 7 is dus meer 'aan de wandel' dan suppletie 4.



Figuur B1-33. Profielen op basis van de RTK metingen voor vier raaien in het zuiden van de Roggenplaat: zo\_0430, no\_1705, no\_3475 en zo\_3000. De locatie van deze raaien is weergegeven in de overzichtsfiguur rechtsboven. De verticale lijnen in de figuren komen overeen met de kruising met andere raaien. Profielen vóór de aanleg van de suppleties zijn weergegeven in grijsstinten.



Figuur B1-34. Profielen op basis van de RTK metingen voor twee raaien in het noorden van de Roggenplaat: zo\_3460 en no\_2140. De locatie van deze raaien is weergegeven in de overzichtsfiguur rechtsboven. De verticale lijnen in de figuren komen overeen met de kruising met andere raaien. Profielen vóór de aanleg van de suppleties zijn weergegeven in grijs-tinten.

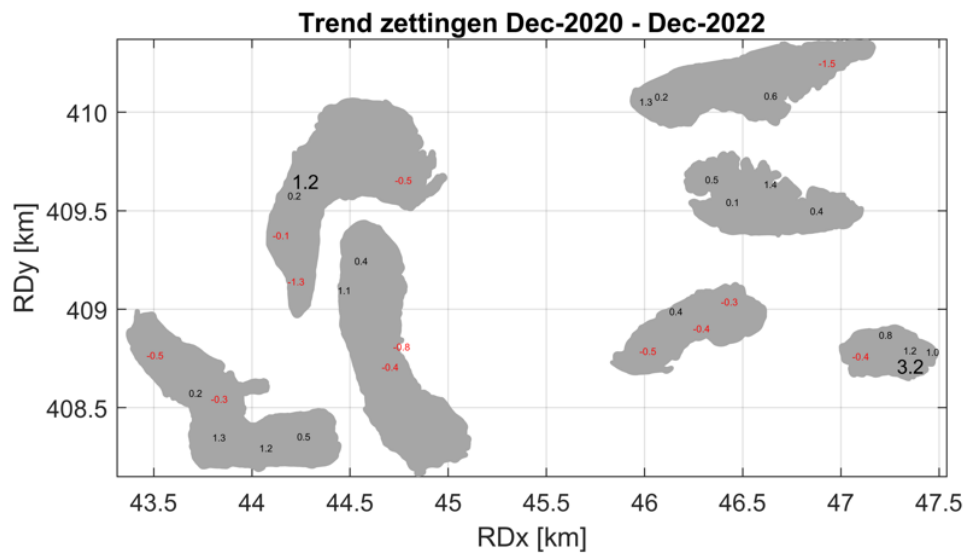


Figuur B1-35. Kaart van de bodemhelling op basis van de LiDAR data voor de Roggenplaat (hoe roder, hoe steiler de helling). De bodemdata is hiertoe eerst gefilterd met een laagdoorlaatfilter (Gaussian) met een standaarddeviatie van 200 pixels en een radius van 5 pixels. Hierdoor is ruis in de bathymetriedata (door meetfouten en lokale bodemvormen) verminderd. De contouren van de suppleties zijn vanaf 2020 in zwart weergegeven.

Het is de veronderstelling dat de suppletie-elementen in de periode na aanleg zijn afgenomen in hoogte door erosie en dat zetting van de ondergrond geen of slechts beperkt effect heeft gehad op de waargenomen verandering in hoogte. Om deze veronderstelling te toetsen, geeft Figuur B1-36 de zetting van de suppleties weer. Hiervoor is de trend in hoogteverandering van 32 zakbaken (van 1x1 m) in de suppleties bepaald (gemeten met de RTK-dGPS, zie ook paragraaf B1.2.2). Indien de trend negatief was (de hoogte van de zakbaak nam af), is er sprake van zetting. Indien de trend positief was (de hoogte van de zakbaak nam toe), is er sprake van 'negatieve' zetting (mogelijk als gevolg van meet-onnauwkeurigheden). De figuur laat zien dat op de meeste locaties de meetfout van de

zakbaken de trend domineert (veel locaties met negatieve waarden). Als er al zettingen optraden, waren die tijdens of net na aanleg dominant en beperkt tot enkele centimeters. Kortom, voor de rest van de analyses spelen zettingen een ondergeschikte rol.

Goed om op te merken is dat de SED metingen deze conclusie onderschrijven. De forse verandering van orde 20 cm in februari 2020 waargenomen op suppletie 4 met de LiDAR/RTK (Figuur B1-37) is namelijk ook waargenomen met de SED (Figuur B1-39). Als zettingen van de ondergrond (of compactie van de suppletie zelf) de morfologische veranderingen hadden gedomineerd, zouden deze veranderingen niet zijn waargenomen met de SED. De SED staat namelijk gefundeerd in de toplaag van de suppletie en zou met zettingen of compactie mee hebben gezakt als die optraden. Dat is dus niet of zeer beperkt het geval (voor zover dit met de beschikbare informatie te beoordelen is).



Figuur B1-36. Zetting [cm/jaar] van de zakbaken op de suppleties tussen december 2020 en december 2022. De zwarte getallen representeren zetting (de hoogte van de zakbaken is afgenomen) en de rode getallen representeren 'negatieve' zetting (de hoogte van de zakbaken is toegenomen). Getallen met een groot lettertype (bijvoorbeeld 1,2 cm/jaar op suppletie 1 en 3,2 cm/jaar op suppletie 7) hebben een  $R^2 > 0.5$  (>50% variantie verklaard door tijd).

---

## B1.7 Verdiepend morfologisch procesbegrip

Deze gehele paragraaf draagt bij aan het verklaren en duiden van de processen die de ontwikkelingen van de Roggenplaat en de suppleties sturen. Hiermee geeft deze paragraaf antwoord op de centrale kennisvraag:

### Centrale kennisvraag morfologie

Welke processen liggen ten grondslag aan de morfologische veranderingen van de Roggenplaat en specifiek de suppleties?

#### *Voorlopige samenvattende beantwoording:*

De Roggenplaat bestaat uit verschillende morfologische eenheden (o.a. gehele plaat, suppleties, schelpenruggen, Middengeultje en microreliëf) die veranderen onder invloed van wind, golven en getij met variaties in de tijd en over de ruimte. Met name tijdens stormen en sluitingen van de Oosterscheldekering vinden bodemveranderingen plaats. Stormimpact is afhankelijk van de specifieke stormkarakteristieken die de waterstanden, golven en wind (en daarmee de wind-gedreven stroming) beïnvloeden. Maar ook de lokale morfologie (van de suppleties) beïnvloedt de mate van morfologische veranderingen, bijvoorbeeld door de locatie (zuidelijke suppleties zijn meer blootgesteld aan golven), hoogteligging, mate van microreliëf en bodemhellingen. Door wind-gedreven stroming tijdens stormen, en mogelijk ook luwte-werking, vindt depositie plaats aan met name de lijzijde (noord-/noordoostzijde) van de suppletie-elementen. De natuurlijke oesterriffen op de Roggenplaat hebben geen aantoonbare invloed op de ontwikkeling van de suppletie-elementen, waarschijnlijk omdat de riffen laag op de plaat liggen en daardoor beperkt golven dempen.

Niet-gesuppleerde gebieden op de Roggenplaat en ook het Middengeultje hebben beperkte veranderingen in morfologische ontwikkeling ondergaan, vorming van lokale afwateringsgeultjes daargelaten. Dit komt mede doordat de stroming op de Roggenplaat en in het Middengeultje beperkt is veranderd door de suppleties. Met de morfologische veranderingen is de gemiddelde mediane korrelgrootte op de suppleties over de jaren afgenomen, al is deze nog steeds substantieel groter dan in de niet-gesuppleerde delen van de plaat. Welke mechanismen deze veranderingen in bodemsamenstelling sturen, is nog niet duidelijk.

Opgemerkt wordt dat met de nieuwe metingen (2023 en 2024) en verdere analyses deze inzichten nog verder worden aangescherpt.

Deze centrale kennisvraag wordt in de volgende paragrafen beantwoord aan de hand van de verschillende deelvragen.

## B1.7.1. Wanneer en waar erosie optreedt

### Onderliggende kennisvraag morfologie 1

Wanneer en waar treedt vooral erosie op (bijvoorbeeld bij stormen)?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Erosie van de suppleties vindt plaats door een samenspel van wind, golfwerking en getij. Stormen spelen hierin een belangrijke rol. Erosie door stormen treedt voornamelijk op bij de randen van de plaat en de (relatief hooggelegen) zuidelijke suppleties door golfwerking. Met name tijdens sluitingen van de kering treden condities op (relatief constante waterstand en grote golven) die erosie bevorderen.

De grootste bodemveranderingen traden op in het eerste jaar na aanleg. Met name de februarimaanden van de jaren 2020 en 2022 waren erg stormachtig met voornamelijk erosie van de zuidelijke suppletie-elementen 4, 5 en 7. Lokaal is ruim 10 cm afslag waargenomen op suppletie 4 tijdens de februaristormen van 2020, en meer ruimtelijk verspreide afslag (tot 5 cm) rondom de plaatranden tijdens stormen in februari 2022. Dergelijke ruimtelijke verschillen in stormafslag worden waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen tussen suppleties (bijv. ligging en mate van microreliëf) en de specifieke stormkarakteristieken (waterstand en wind- en golfrichting). Microreliëf dat na aanleg op de suppleties aanwezig was, was al na 2 jaar grotendeels uitgevlakt. De hoogte van het micro-reliëf op suppletie-element 3 nam bijvoorbeeld over 2 jaar al van 20 cm af naar 5 cm (één-derde van deze afvlakking vond al in februari-maart 2020 plaats). Intentioneel aanleggen van micro-reliëf heeft dus beperkte meerwaarde voor toekomstige suppleties. Naast de storm gedreven veranderingen vond er ook een continue, relatief graduele ontwikkeling plaats. Het is hierdoor waarschijnlijk dat het niet alleen de extreme stormcondities zijn die suppleties veranderen, maar in bepaalde mate ook de kalmere getijden.

Erosie van de suppleties treedt met name op in het eerste jaar na aanleg (al is de meetperiode nog beperkt; zie ook paragraaf B1.6.2). Net als in andere intergetijdengebieden (Le Hir et al., 2000) vindt erosie op de Roggenplaat plaats door een samenspel van golfwerking en getij. Stormen spelen hierin een belangrijke rol. Erosie door stormen treedt voornamelijk op bij de randen van de plaat en op de hoger liggende (hoofdzakelijk zuidelijke) suppletie-elementen. Golven bereiken ondiep water, breken en verliezen daardoor hun energie. Sediment van de plaat komt in suspensie in de waterkolom, en wordt vervolgens getransporteerd naar beschuttere delen (zie ook paragraaf B1.7.2). Het centrale deel van de plaat wordt hierdoor grotendeels beschermd tegen doordringende golfenergie. De precieze locatie van breking is afhankelijk van de waterstanden en de wind- / golfrichting. Tijdens de sluiting van de Oosterscheldekering wordt voor de waterstand aan de binnenzijde een vast streefpeil aangehouden. Het gevolg is dat er gedurende de sluiting constante waterstanden zijn, waardoor de erosie zich in een bepaalde zone concentreert. Om de intergetijdengebieden en schorren zo goed mogelijk te beschermen, wordt de zogenaamde 1-2-1 wisselstrategie gehanteerd indien een sluiting gedurende meerdere hoogwatertoppen noodzakelijk is (een zogenaamde meertopssluiting): tijdens het eerste hoogwater wordt het binnenpeil op NAP+1 m gehouden, en voor het volgende hoogwater NAP+2 m, en vervolgens NAP+1 m indien mogelijk en nodig. Ondanks deze wisselstrategie, zorgt dit streefpeil ervoor dat tijdens stormen de golfenergie focust op bepaalde delen van de plaat voor vele opvolgende uren voor beperkte waterdiepten (b.v. de plaatranden en/of de suppleties). Juist de combinatie van vele uren aan grote golven, wind-gedreven stroming en beperkte waterdiepten maakt intergetijdengebieden lokaal kwetsbaar voor grote morfologische veranderingen (Green & Coco, 2014; De Vet et al., 2020).

De mate van bodemveranderingen zijn niet alleen afhankelijk van de locatie, zoals hierboven benoemd, maar ook van de hoogteligging van de gesuppleerde gebieden en de mate van aangelegd microreliëf. Hoe hoger de suppleties ten opzichte van de omliggende plaat, hoe groter lokale gradiënten in sedimenttransport zullen zijn, wat leidt tot erosie. Ook de helling van de bodem bepaalt hoe breed de brekerzone is, wat weer de sterkte van de transportgradiënten en daarmee

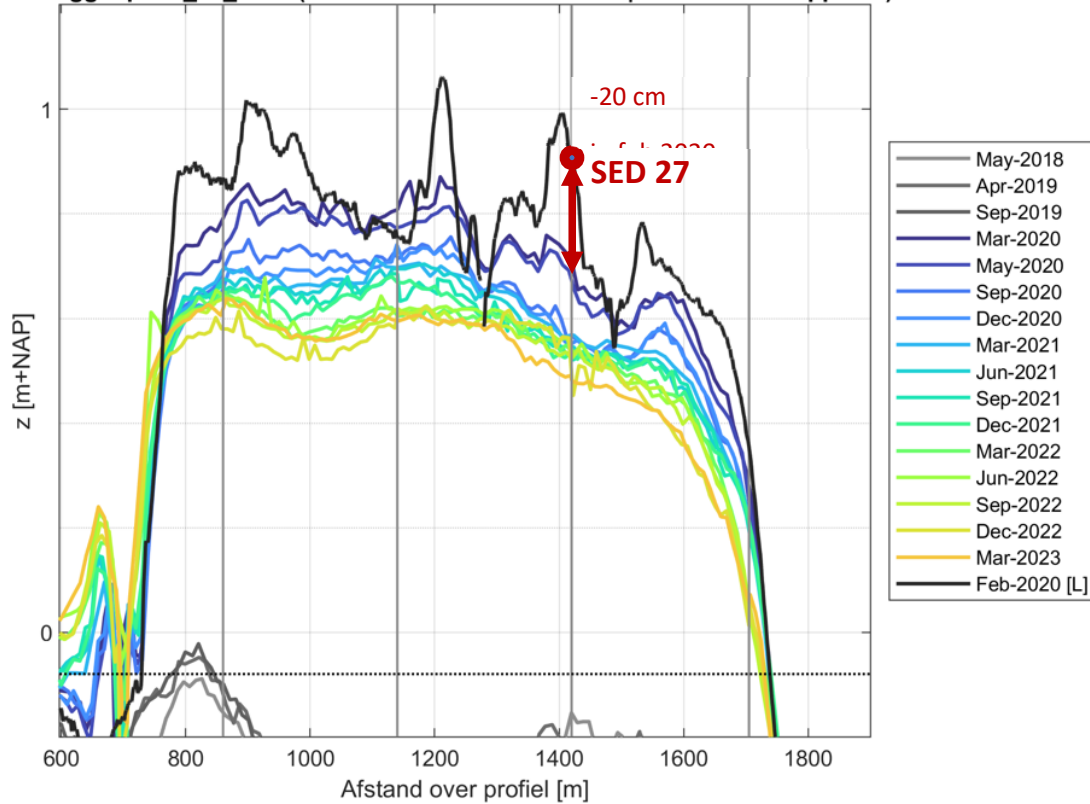
---

bodemveranderingen beïnvloedt (De Vet et al., 2020). Het microreliëf (waargenomen tot ongeveer 40 cm) op de suppleties is toegelaten tijdens het suppleren om de uitvoerbaarheid te vereenvoudigen. Aanvullend was de gedachte dat het microreliëf als neveneffect herstel van het bodemleven wellicht zou bevorderen. Zoals benoemd in paragraaf B1.6.2 is het microreliëf op de suppleties echter al in de eerste jaren na aanleg sterk afgenomen. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de raai in Figuur B1-37 maar ook in de bodemhellingkaarten op basis van de LiDAR metingen in Figuur B1-35.

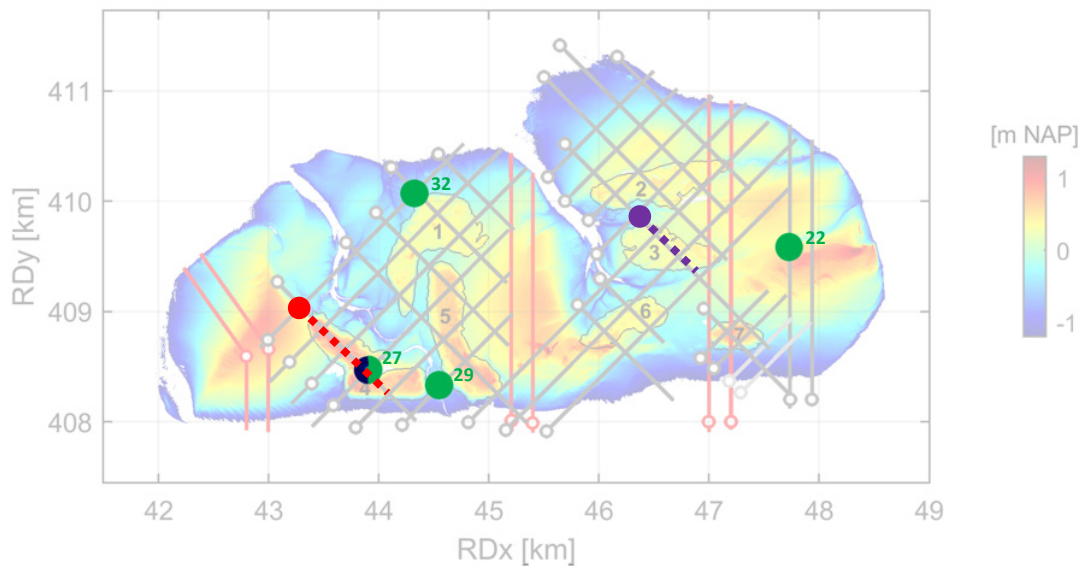
Zoals beschreven in paragraaf B1.4.1 waren met name de februarimaanden van de jaren 2020 en 2022 erg stormachtig. De erosie die optrad is zichtbaar in de LiDAR opnamen (Figuur B1-26), die met name afslag registreren van het zuidelijk deel van suppletie-elementen 4, 5 en 7, gelegen aan de zuidelijke rand van de Roggenplaat. Echter, omdat het tijdsinterval tussen de LiDAR metingen groot is, en de periode om de stormen heen ook wordt meegenomen in de verschilkaarten, geeft de combinatie met de RTK raaien een accurater beeld van de stormeffecten door de hogere meetfrequentie. Figuur B1-37 laat de morfologische ontwikkeling zien op suppletie-element 4, op het zuidwesten van de Roggenplaat. Het microreliëf dat was aangelegd verdwijnt voor een groot deel tussen de LiDAR opname van 7 februari 2020 (zwarte lijn in de figuur) en de RTK meting in maart 2020 (donkerblauwe lijn).

In de figuur is ook de locatie van een lokaal aanwezige SED sensor weergegeven. De verrichte SED metingen tijdens de monitoringscampagne (zie voor meer toelichting op de methodologie paragraaf B1.2), geven verder inzicht in de dagelijkse variaties van de bodemhoogte op de Roggenplaat, en de invloed van stormen. De SED sensoren zijn verspreid geplaatst op de Roggenplaat, en hebben dagelijkse variaties gemeten van gemiddeld enkele mm, tot wekelijkse variaties van enkele cm. Deze variaties kunnen, naast structurele erosie/sedimentatie ook het gevolg zijn migratie van kleinere bodemvormen. Door de grote variabiliteit is het over het algemeen niet mogelijk de gemeten hoogtevariaties 1-op-1 toe te schrijven aan stormeffecten. Alleen SED sensor op positie 27, geplaatst op suppletie 4 aan de zuidrand van de Roggenplaat (zie Figuur B1-38 voor de locatie), laat een duidelijke hoogteafname door stormen zien (Figuur B1-39). Het aanwezige microreliëf neemt bijvoorbeeld sterk af in februari 2020 (direct na suppleren). Net na installatie van SED 27 in 2020, is er in de tweede helft van februari ruim 10 cm aan bodemverlaging gemeten. Deze hoogteafname vond plaats tijdens een periode met twee westerstormen op 16 en 24 februari 2020, met golfhoogtes tot 1,5 m uit zuidwestelijke richting. De grootste bodemhoogte-afnames zijn gemeten op 16, 17 en 22 februari met 2 cm afslag per dag, en op 23 en 24 februari met bodemhoogte afnames van 0,8 cm. Het feit dat slechts SED 27 aantoonbare stormafslag laat zien, is te verklaren door de locatie van deze sensor. Deze was namelijk gepositioneerd vlak bij de geëxposeerde zuidrand van de Roggenplaat, en met een relatief hoge hoogteligging (nagenoeg bovenop het microreliëf) waardoor het sterk bloot gesteld werd aan golfinvloeden.

Roggenplaat\_zo\_0430 (intersectie 1/2 vanaf zuiden | 125m naast suppletie)

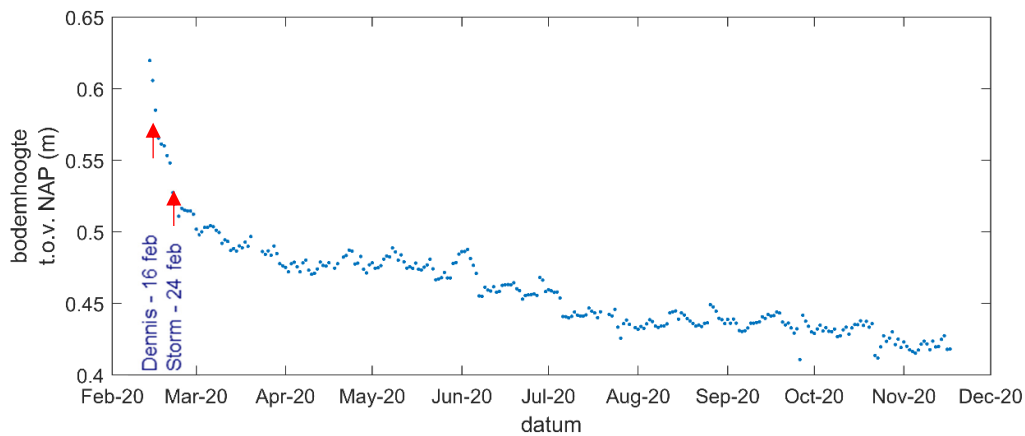


Figuur B1-37: Profiel op basis van de RTK metingen voor raai zo\_0430 in het zuiden van de Roggenplaat. Aanvullend is ook de LiDAR data direct na suppletien (februari 2020) geïnterpoleerd langs dit profiel (in de legenda gemarkeerd met [L]). De locatie van deze raai is weergegeven middels een rode stippellijn in Figuur B1-38. De verticale lijnen komen overeen met de kruising met andere raaien. Profielen vóór de aanleg van de suppleties zijn weergegeven in grijstinten.



Figuur B1-38: Locatie van de specifieke SED sensoren waarvan de data in Figuur B1-39, Figuur B1-40 en Figuur B1-41 zijn weergegeven. In groen de SED sensoren die stormerosie hebben gemeten tijdens de februari stormen in het jaar 2022, en in blauw/groen de SED sensor die erosie heeft geregistreerd tijdens de februari stormen in 2020 en 2022. In rode stippellijn de RTK raai die wordt weergegeven in Figuur B1-37, in paars de RTK raai die wordt weergegeven in Figuur B1-42.



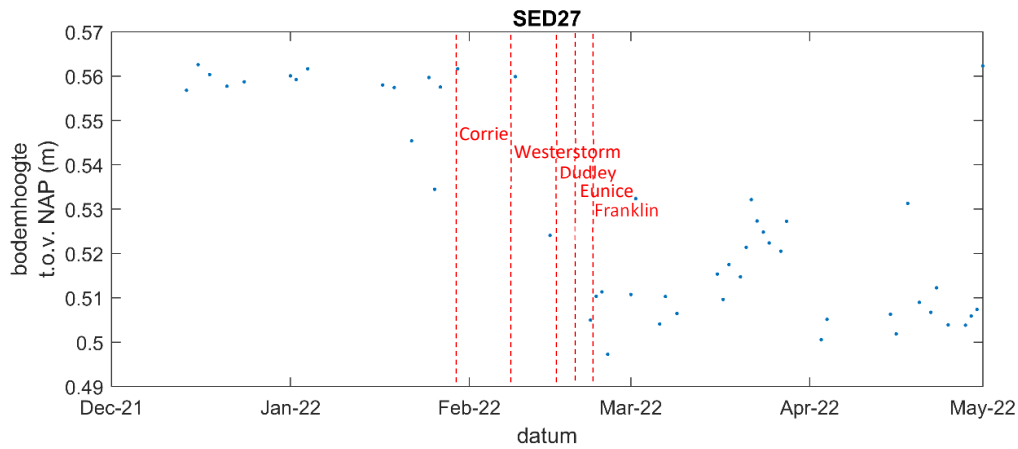


*Figuur B1-39: Bodemhoogteveranderingen gemeten met akoestische SED op locatie 27 (zuidrand plaat op suppletie 4), tussen 14 februari en 17 november 2020. De locatie van dit instrument is weergegeven in Figuur B1-38. In februari 2020 zijn er vier stormen opgetreden; op 9 februari storm Ciara, op 11 februari een westerstorm, op 16 februari storm Dennis en op 24 februari nogmaals een westerstorm.*

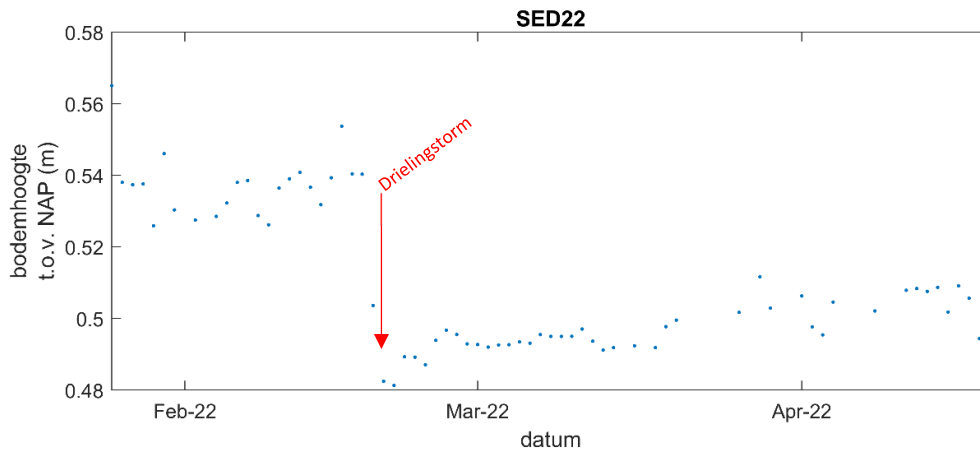
Tijdens de stormen in februari 2022 werd slechts door enkele sensoren afslag gemeten die boven de dagelijkse variaties uitkwam (groene stippen in Figuur B1-38). De afslag beperkte zich tot zo'n 2,5-5 cm, en is gemeten door de sensoren langs de plaatranden. Net als in de meetperiode van 2020 heeft SED locatie 27 aan de zuidrand van de plaat afslag gemeten rondom de opgetreden stormperiodes, met in totaal 5 cm tussen 9 februari en 23 februari (Figuur B1-40). Helaas is er niet elke dag een meting beschikbaar. Ook aan de oostelijke zijde van de Roggenplaat, op locatie 22, is een duidelijke afname van 5 cm te zien, maar dan met name later in de maand, van 19 tot 21 februari 2022 ten tijde van de drielingstorm (paragraaf B1.4). Daarbij is er ook door SED 29 (zuidgrens Roggenplaat) en 32 (noordgrens Roggenplaat) een scherpe bodemhoogteverlaging van 2,5 cm gemeten rond 19 februari 2022.

Omdat de Waverider wegens onderhoud de tweede helft van februari 2022 niet heeft gemeten, kan niet direct worden geïdentificeerd middels golfkarakteristieken (hoogte / richting) waarom de afslagpatronen dusdanig verschillend zijn tussen de SED locaties in deze februarimaand. Het is mogelijk dat de hoge waterstanden tijdens de drielingstorm (waterstanden van 2,5 m tijdens twee hoog waters) hebben gezorgd voor meer focus van de golfenergie op de hogere delen van de zandplaat, dan tijdens de storm op 6 februari waar de waterstanden lager waren (maxima van 1,3 m en 1,8 m tijdens de twee hoog waters).

Dergelijke ruimtelijke verschillen in stormafslag zijn belangrijk om beter te begrijpen om de verdere ontwikkeling van de Roggenplaat(suppleties) te kunnen voorspellen. Daarom zal dit in de verdere analyses – wanneer ook de data van 2023 en 2024 beschikbaar zijn – verdere aandacht krijgen.



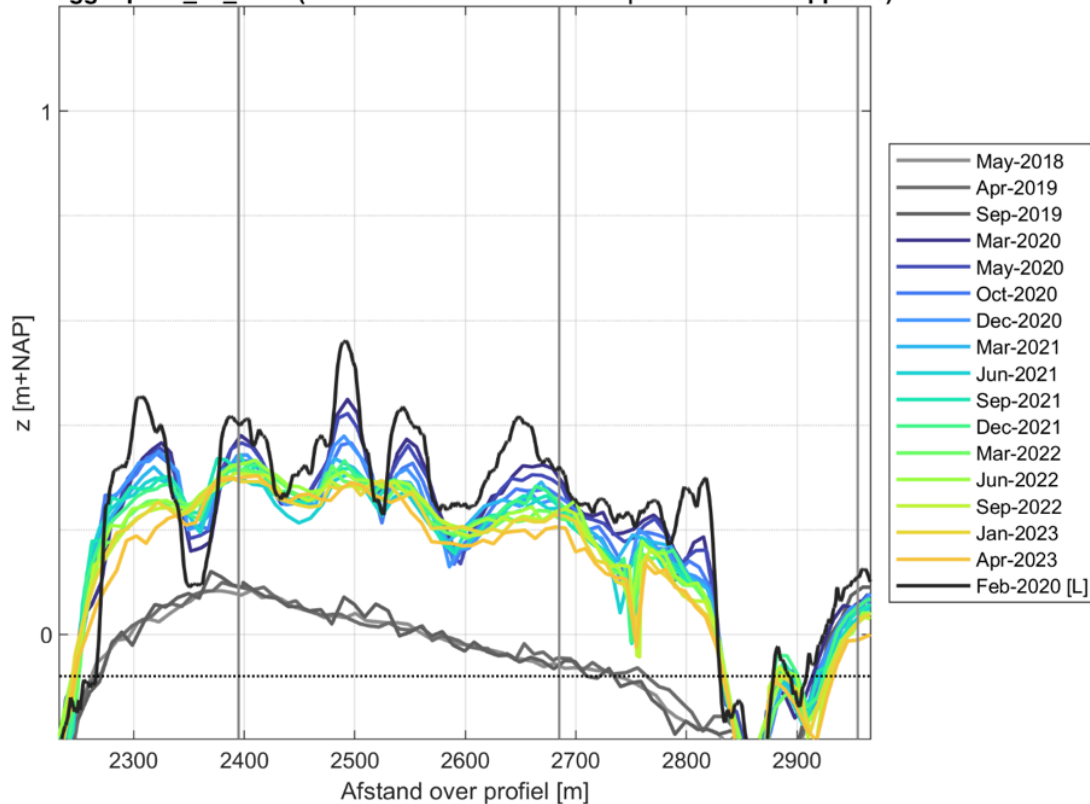
Figuur B1-40: Bodemhoogte veranderingen gemeten met akoestische SED op locatie 27, tussen 14 december 2021 en 1 mei 2022. Rondom de bodemhoogte afname in februari 2022 zijn verschillende stormen opgetreden: op 31 januari storm Corrie, op 6 februari een westerstorm, daarna de drielingstorm: op 16 februari storm Dudley, op 18 februari Eunice en op 20 februari Franklin.



Figuur B1-41: Bodemhoogte veranderingen gemeten met akoestische SED op locatie 22, op de oostgrens van de Roggenplaat, tussen 25 januari en 18 april 2022.

Zoals ook benoemd in paragraaf B1.6.2, is het uitvlakken van de suppleties een relatief graduele ontwikkeling. Het is hierdoor waarschijnlijk dat het getij ook een belangrijke rol speelt, naast stormafslag. Hoewel het microreliëf potentieel ecologische meerwaarde heeft, lijkt de tijdschaal van deze morfologische vormen slechts enkele jaren en zijn deze erg dynamisch. Zo laat de ontwikkeling op suppletie-element 3 zien dat het microreliëf afneemt van ongeveer 20 cm hoge bodemvormen tot slechts 5 cm in twee jaar tijd (Figuur B1-42). Een derde van deze uitvlakking vond plaats van februari tot maart 2020.

### Roggenplaat\_zo\_3165 (intersectie 3/4 vanaf zuiden | 125m naast suppletie)



Figuur B1-42: Profiel op basis van de RTK metingen voor raai zo\_3165 in het oosten van de Roggenplaat. Aanvullend is ook de LiDAR data direct na suppleren (februari 2020) geïnterpoleerd langs dit profiel (in de legenda gemarkeerd met [L]). De locatie van deze raai is weergegeven middels een paarse stippellijn in Figuur B1-38. De verticale lijnen in de figuren komen overeen met de kruising met andere raaien. Profielen vóór de aanleg van de suppleties zijn weergegeven in grijsstinten.

#### B1.7.2. Sedimentverplaatsingen over de plaat en rondom suppleties

##### Onderliggende kennisvraag morfologie 2

Hoe verplaatst het sediment zich over de Roggenplaat en rondom de suppleties?

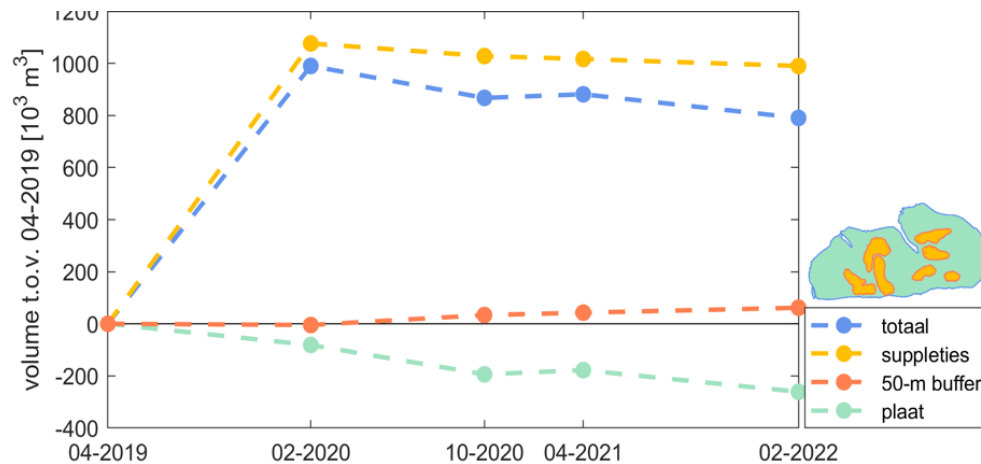
*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Rondom de suppleties verplaatst het sediment zich met name in noordoostelijke richting, overeenkomstig met de dominante windrichting. In totaal was de erosie van de suppleties tussen de metingen van februari 2020 en 2022 86.000 m<sup>3</sup>. Ongeveer 77% van dit volume (66.000 m<sup>3</sup>) verplaatst, volgens de huidige schatting, minder dan 50 m van de suppleties vandaan. Het is nog onduidelijk waar het overige sediment terecht komt. In hoeverre luwtevorming (minder golven achter de suppleties) sedimentatie achter de suppleties bevordert, zoals ook waargenomen bij de Galgeplaat suppletie, moet nog blijken. Wanneer er naar de individuele suppleties wordt gekeken, vindt er bij suppletie 1 en 6 (tijdelijk) meer depositie plaats dan erosie. Mogelijk domineert hier dus een luwte-effect. De migratie van het geultje tussen suppletie 1 en 5 en data-onnauwkeurigheid zou hierin ook een rol kunnen spelen. Verder onderzoek – wanneer ook de metingen van 2023 en 2024 beschikbaar zijn – moet (voor zover mogelijk) uitwijzen in hoeverre het verlies van sediment naar de omliggende geulen is veranderd door de aanwezigheid van de suppleties.

Door de aanleg van de suppleties neemt het totale volume van de Roggenplaat toe (+990.000 m<sup>3</sup> in februari 2020 t.o.v. april 2019, gebaseerd op de LiDAR data inclusief ontwikkeling niet-gesuppleerde

delen; Figuur B1-43 en Tabel B1-10). De volumeafname die vóór aanleg van de suppleties al gaande was (door o.a. de zandhonger), zet na de suppleties door: het volume buiten de suppleties en een 50-m brede rand daaromheen neemt tussen april 2019 en februari 2022 met 261.000 m<sup>3</sup> af. Na aanleg neemt het volume binnen de suppleties gradueel af. Een deel van dit sediment komt waarschijnlijk in de nabijheid van de suppletie terecht. Als een buffer van 50 m afstand rondom de suppleties als maatstaf wordt gebruikt voor de nabijheid van de suppleties, volgt dat tussen februari 2020 en februari 2022 er een volumeafname binnen de suppleties van 86.000 m<sup>3</sup> is opgetreden (van 1.076.000 m<sup>3</sup> naar 990.000 m<sup>3</sup>). De volumetoename in de buffer 50 m rondom de suppleties is in dezelfde periode +66.000 m<sup>3</sup>. De resterende 20.000 m<sup>3</sup> die van de suppleties verdwijnt, belandt – meetfouten daargelaten – buiten de buffer, op de plaat of in de geulen. Opgemerkt wordt dat deze analyse nog onderhevig is aan onzekerheden en dat enige terughoudendheid op zijn plaats is bij het vergelijken van deze getalwaarden. Met de data van 2023 en 2024, en aanvullende analyses, zullen de schattingen van de volumeveranderingen verder worden uitgewerkt.

Bij de Galgeplaat-suppletie kwam er in het gebied ten noord(oost)en van de suppletie meer zand terecht dan er van de suppletie was verdwenen (Jentink, 2016). Dit voedde de hypothese dat suppleties een luwte kunnen creëren (minder golfenergie) wat sedimentatie kan stimuleren. Voor de Roggenplaat was tot op heden de depositie in de bufferzone (+66.000 m<sup>3</sup>) nog niet groter dan de erosie van de suppletie (-86.000 m<sup>3</sup>), uitzonderingen voor de langzaam-eroderende suppleties daargelaten waarvoor meetfouten de inzichten mogelijk beïnvloeden. Dit betekent niet dat er geen sprake is van een luwte-effect, het is in ieder geval vooralsnog wel nog minder prominent aanwezig dan waargenomen bij de Galgeplaat-suppletie (Jentink, 2016). Dit luwte-effect is momenteel nog in onderzoek. Er zal bijvoorbeeld onderzocht worden of het met modellering mogelijk is dit luwte-effect af te schatten en te bepalen hoe dit varieert langs de verschillende suppletie-elementen.



Figuur B1-43: Volumens ten opzichte van april 2019 op basis van de suppletie-specifiek gecorrigeerde LiDAR data. De volumens zijn bepaald binnen de totale laagwatercontour van 2019, binnen de suppleties, binnen de 50-m buffer rondom de suppleties en binnen de gebieden buiten de 50-m buffer.

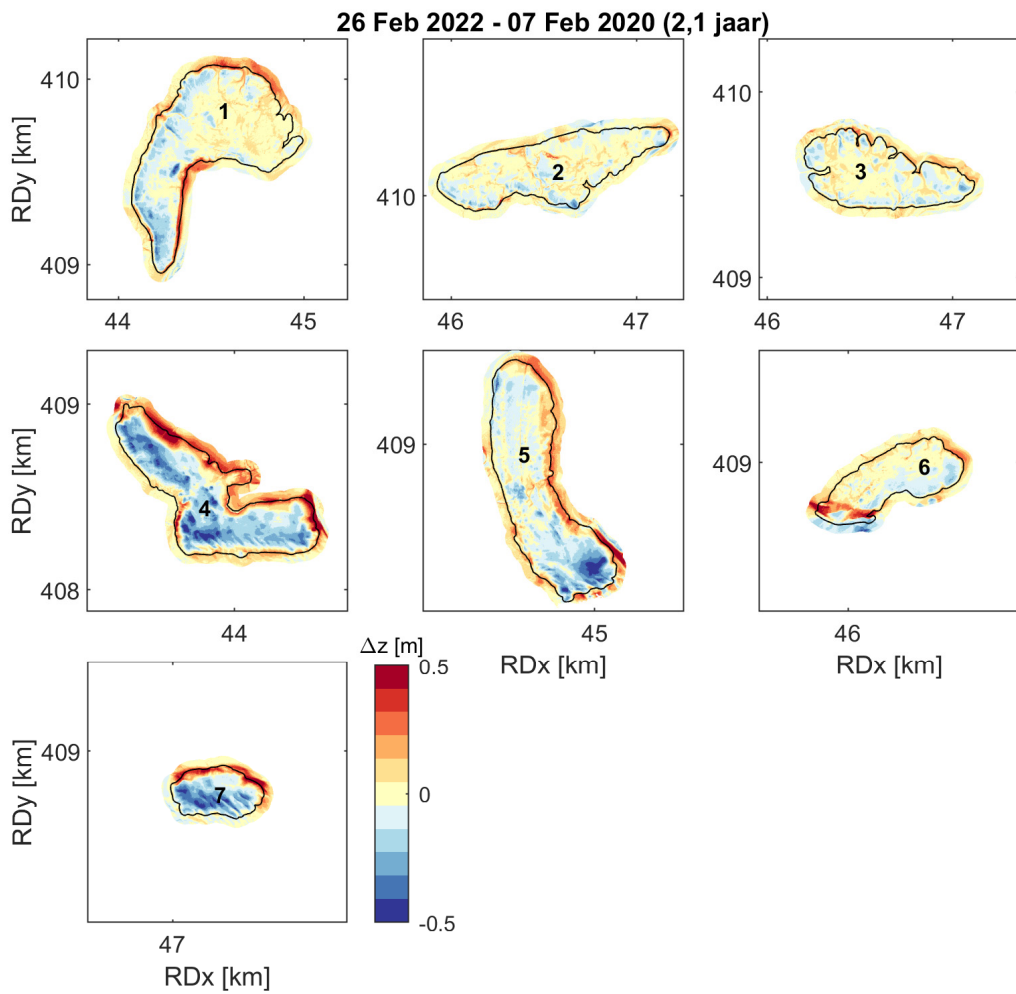
Tabel B1-10. Overzicht van de berekende volumens [10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>] t.o.v. april 2019 binnen de totale laagwatercontour van 2019, binnen de suppleties, binnen de 50-m buffer rondom de suppleties en binnen de gebieden buiten de 50-m buffer (=plaat). Op basis van de suppletie-specifiek gecorrigeerde LiDAR data (paragraaf B1.2.4).

	totaal	suppleties / 50-m buffer							totaal	plaat
		1	2	3	4	5	6	7		
04-2019	0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0
02-2020	990	203/2	129/0	68/2	303/-2	232/-5	75/-1	65/0	1076/-5	-82
10-2020	868	187/7	127/0	67/4	287/11	222/7	77/2	61/2	1028/33	-194
04-2021	881	193/12	127/1	63/4	283/15	217/8	74/0	59/3	1017/43	-178
02-2022	790	192/15	123/1	63/5	274/22	209/12	75/2	54/4	990/62	-261

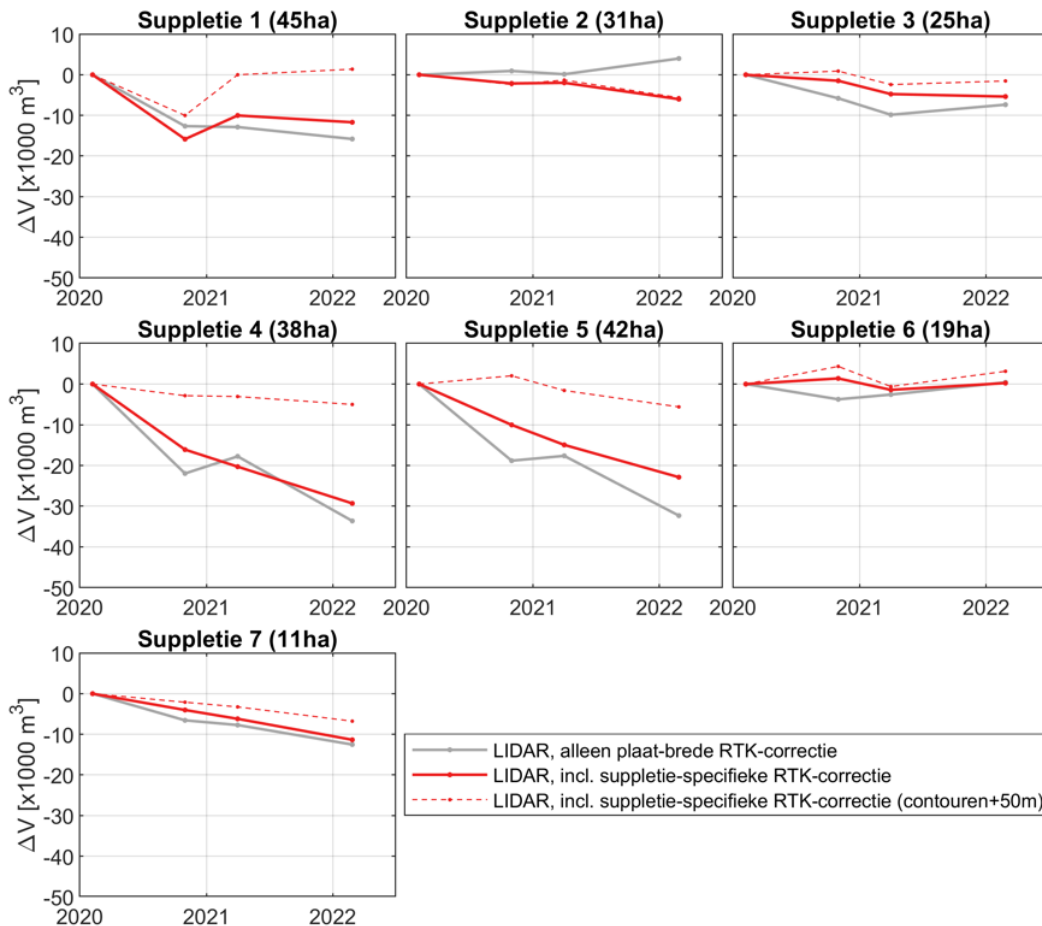
---

De volumeontwikkeling verschilt per suppletie. Zoals in paragraaf B1.6 benoemd, zijn de noordelijke suppletie-elementen (1-3) een stuk minder veranderlijk dan de zuidelijke elementen (4, 5 en 7). Figuur B1-44 laat de verschilkaart tussen februari 2020 (net na aanleg van de suppleties) en februari 2022 (laatste opname) zien voor de suppletie-elementen en de buffer van 50 m daaromheen. Figuur B1-45 toont de volumeveranderingen binnen de suppletiecontouren en voor de contouren waarbij ook de directe omgeving (50 m buffer) wordt meegenomen. Vrijwel alle suppleties (m.u.v. suppletie 6; mogelijke data-onnauwkeurigheid) vertoonden een netto volumeverlies (netto erosie) tussen februari 2020 en februari 2022. Daarnaast toont de figuur dat het sediment voor sommige suppleties grotendeels in de nabijheid van de suppleties blijft (binnen de 50 m buffer zones), terwijl dat voor andere suppleties in mindere mate het geval lijkt. De volumeafname binnen de suppletie-contour van suppletie 7 wordt bijvoorbeeld maar in zeer beperkte mate gecompenseerd in de zone 50 m eromheen. Suppletie 4, daarentegen, kent een behoorlijke volumeafname binnen de suppletie-contour, maar een veel minder sterke afname als ook de 50 m zone eromheen erbij wordt betrokken. Dit impliceert depositie van het geërodeerde sediment in met name de nabijheid van deze suppletie.

Wanneer de contour met 50 m wordt uitgebreid en dus ook de directe omgeving wordt beschouwd, is de netto volumeafname van de suppleties gemiddeld 77% minder negatief. Sommige suppleties (1 en 6) laten zelfs een tijdelijke (overgang van een volumeafname naar een) volumetoename zien. Dat deze netto volumetoename door een meetfout komt, is niet uitgesloten (zeer beperkte volumetoenames), maar in ieder geval treedt hier zeer beperkt volumeverlies op. Deze sedimentatie vindt dus plaats in de buffer van 50 m buiten de suppletie-contour en is gemiddeld zo'n 9.300 m<sup>3</sup> per suppletie. De sedimentatie in de bufferzone vindt voornamelijk plaats aan de noordoostkant van de suppleties (Figuur B1-44). Dit is tevens de lizijde van de suppleties, aangezien de overheersende windrichting (die de richting van de golven en wind-gedreven stroming en dus het sedimenttransport stuurt) uit het zuidwesten is (zie ook paragraaf B1.3). Zoals te verwachten, is de sedimentatie in deze zone het sterkst voor suppleties 4, 5 en 7 aangezien deze suppleties het meest erosief zijn. Deze sedimentatie kan het gevolg zijn van depositie dankzij de luftevorming t.a.v. golven die de suppletie creëert, maar het kan ook komen door migratie van migrerend sediment dat erodeerde van de suppletie (of een combinatie). Alleen bij suppletie 1 en 6 is de depositie in de bufferzone (respectievelijk -13.000 en 3.000 m<sup>3</sup>) groter dan de erosie van de suppletie (-12.000 en 0 m<sup>3</sup>). Al zou de migratie van het geultje tussen suppletie 1 en 5 (Figuur B1-54) en data-onnauwkeurigheid (veranderingen van suppletie 1 en 6 zijn relatief beperkt) hier ook een rol in kunnen spelen.



*Figuur B1-44: Verschilkaarten van de suppletie-specifiek gecorrigeerde LiDAR data tussen februari 2020 (eerste opname na suppleren) en 2022 (meest recente opname) van de suppleties + de 50 m buffer.*

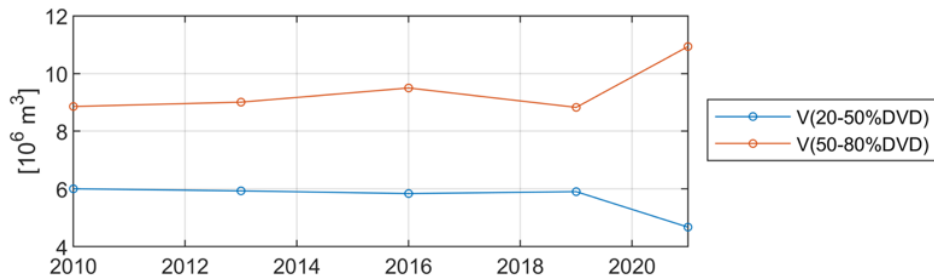


Figuur B1-45. Ontwikkeling van de suppletievolumen binnen de oorspronkelijke contouren t.o.v. de eerste opname. Voor de LiDAR tijdseries is zowel de data getoond op basis van de plaat-brede RTK-correctie als ook na een aanvullende suppletie-specifieke RTK-correctie (paragraaf B1.2.4). Aanvullend is ook de tijdserie weergegeven na het uitbreiden van de suppletiecontouren met 50 m. Dit ter afschatting van hoeveel sediment in de nabijheid van de suppleties blijft.

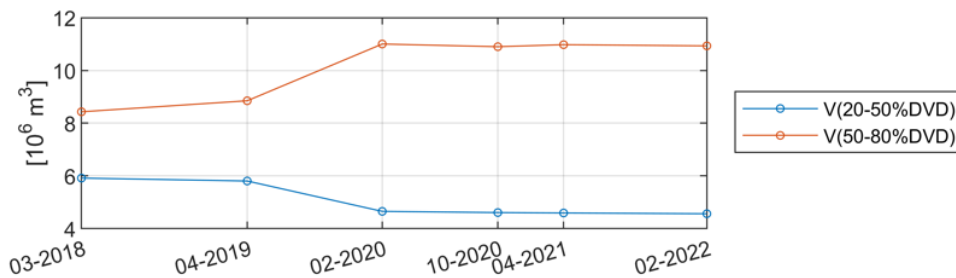
Uit Figuur B1-43 volgde een netto verlies in sedimentvolume op de plaat. Vraag is in hoeverre er een verandering in deze globale erosietrend op de Roggenplaat heeft plaatsgevonden door de aanleg van deze suppleties. Hiertoe is de ontwikkeling van de volumes in de 20-50% en 50-80% droogvalduurklassen in meer detail bestudeerd. De droogvalduur is eerst op basis van Vaklodingen bepaald. Vaklodingen zijn sinds ruim vóór aanleg van de suppleties beschikbaar, maar ze hebben maar één meting sinds de aanleg van de suppleties (2021). Daarom zijn de suppletie-specifiek gecorrigeerde LiDAR data gebruikt om de ontwikkeling sinds de aanleg van de suppleties te bepalen.

Vóór suppleren was er met name verlies in volume in de 50-80% droogvalduurklasse wat (gedeeltelijk) ten goede is gekomen aan de 20-50% droogvalduurklasse (Figuur B1-13). In de jaren vóór suppleren lijkt de erosie van de Roggenplaat wat te zijn afgenomen ten opzichte van de jaren '80 en '90 (De Vet et al., 2017). Als de veranderingen in de droogvalduurklassen in het decennium vóór suppleren wordt beschouwd (Figuur B1-46) blijken de veranderingen in sedimentvolumes in deze klassen inderdaad beperkter. Netto over de gehele plaat was er in de periode vóór suppleren (2010-2019) een verlies van  $-14.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Let wel, dit is gebaseerd op vier meetpunten en de variatie in deze data lijkt groter dan de trend (bijvoorbeeld tijdelijke toename in volume 50-80% droogvalduurklasse in 2016).

Figuur B1-47, toont de ontwikkeling van de droogvalduurklassen na aanleg van de suppleties die op het oog na suppleren relatief beperkt zijn. Door de aanleg van de suppleties was er tussen april 2019 en februari 2020 over de gehele plaat een netto volumetoename van +1,00 miljoen m<sup>3</sup>. Vervolgens was er na suppleren over de gehele plaat tussen februari 2020 en februari 2022 een netto gemiddelde volumeafname van -45.000 m<sup>3</sup>/jaar. Dit getal is drie maal groter dan de gemeten ontwikkeling in het decennium vóór suppleren, maar zoals benoemd domineren mogelijk meetfouten deze conclusie (bijvoorbeeld de Vaklodingen data die (nog) niet zijn gecorrigeerd voor bias in de metingen). Verder onderzoek is nodig (ook met de aanvullende data van 2023 en 2024) om te beoordelen of het mogelijk is om vast te stellen of de export van sediment van de plaat significant is veranderd.



Figuur B1-46: Ontwikkeling volume van de 20-50% en 50-80% DVD(droogvalduur)klassen op basis van de Vaklodingen data.



Figuur B1-47: Ontwikkeling volume van de 20-50% en 50-80% DVD(droogvalduur)klassen op basis van de suppletie-specifiek gecorrigeerde LiDAR data.



### B1.7.3. Veranderingen in sedimentsamenstelling

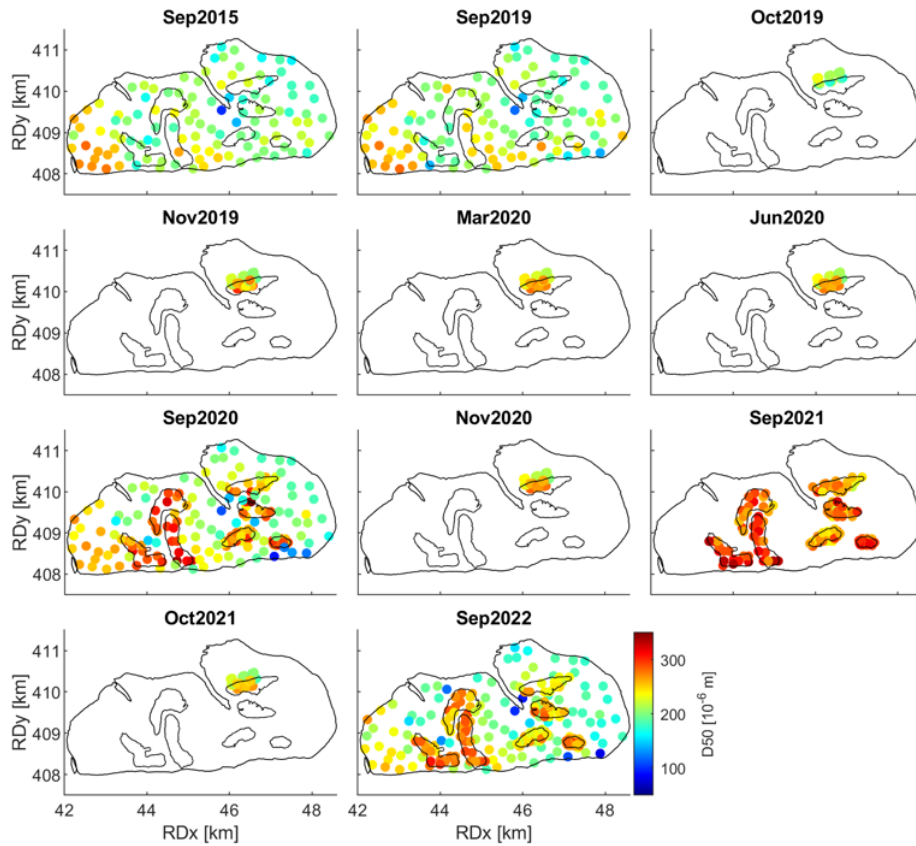
#### Onderliggende kennisvraag morfologie 3 (aanvullend)

Hoe is de sedimentsamenstelling op de Roggenplaat en specifiek de suppleties veranderd?

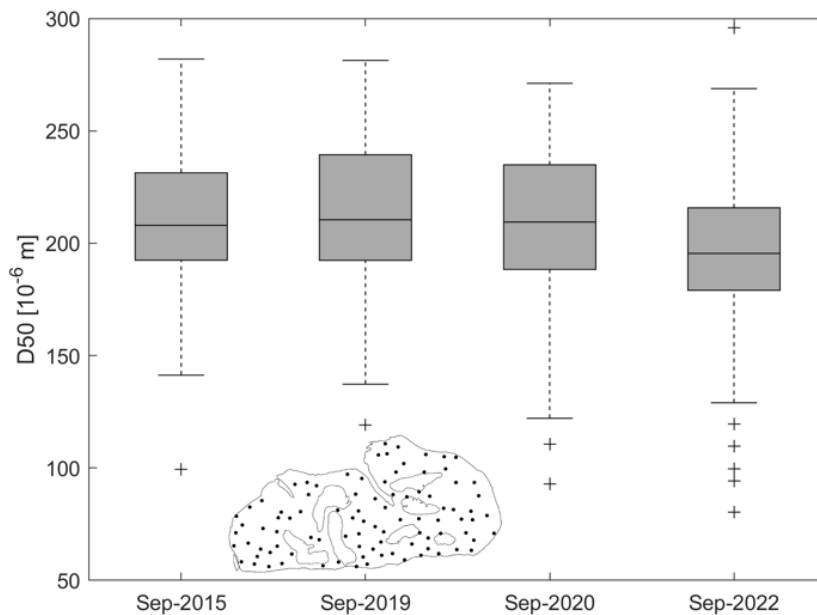
#### *Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Het suppletiesediment is substantieel grover dan het sediment dat al op de Roggenplaat aanwezig was. Logischerwijs is de mediane korrelgrootte van het sediment op de suppleties daarom grover (250/350  $\mu\text{m}$ ) dan erbuiten (175/225  $\mu\text{m}$ ). Over de afgelopen jaren is de korrelgrootte op alle suppleties aan het afnemen, een tijdelijke vergroving voor elementen 4 en 7 in 2021 daargelaten. Ook in de niet-gesuppleerde gebieden vertoont het sediment enige verfijning in de periode na aanleg van de suppleties (orde 10  $\mu\text{m}$  afname in mediane korrelgrootte over 2020-2022, nog onduidelijk of dit een significante, blijvende verandering betreft). In de jaren na aanleg is de fractie silt op de suppleties aan het toenemen, terwijl er direct na aanleg nagenoeg geen silt op de suppleties aanwezig was. Welke mechanismen deze veranderingen in sedimentsamenstelling op de suppleties verklaren, is op basis van deze data (drie opnamen na suppleren) niet vast te stellen. Wel staat vast dat de suppleties nog niet dermate zijn geërodeerd dat het oorspronkelijke plaatmateriaal onder de suppleties is komen bloot te liggen.

Figuur B1-48 geeft de ruimtelijke spreiding van de gemeten korrelgroottes per meetcampagne weer voor 2015, 2019, 2020, 2021 en 2022. Wat opvalt, is dat direct na aanleg, maar ook nog in de meest recente meting, de korrelgrootte van de suppleties sterk onderscheidend is van de niet-gesuppleerde delen van de plaat. De mediane korrelgrootte van het sediment is namelijk substantieel grover op de suppleties (250/350  $\mu\text{m}$ ) dan erbuiten (175/225  $\mu\text{m}$ ). Verder valt op dat de korrelgrootte op de Roggenplaat buiten de suppleties ook is toegenomen ten tijde van de aanleg van de suppleties in 2019, daarna is de korrelgrootte afgenomen (Figuur B1-49). Het gemiddelde van de mediane korrelgrootte (D50), voor de meetpunten buiten de suppleties die in 2015, 2019, 2020 en 2022 altijd gemeten zijn, was 211, 214, 208 en 196  $\mu\text{m}$  respectievelijk. De afname in korrelgrootte in 2022 beslaat met name aan de oost- en westranden van de plaat. Dit zijn ook de zones die (los van de suppleties) het sterkst eroderen (Figuur B1-26). Nieuwe metingen (na 2022) moeten uitwijzen of hier sprake is van een trend of dat natuurlijke variaties deze verschillen verklaren.



Figuur B1-48. Overzicht van de gemeten mediane korrelgroottes per meetcampagne in 2015, 2019, 2020, 2021 en 2022 op de Roggenplaat. De suppletiecontouren en de laagwaterlijn zijn weergegeven. Suppletie 2 was aangelegd tussen de bemonstering van oktober en november 2019.



Figuur B1-49. De mediane korrelgrootte ( $D_{50}$ ) van de punten buiten de suppleties die in september van 2015, 2019, 2020 en 2022 altijd gemeten zijn (zie de inzet voor de ligging van deze meetpunten). De onderkant van elke box komt overeen met het onderste kwartiel; het toont de waarde van de eerste 25% van de gegevens. De bovenkant van de box komt overeen met het bovenste kwartiel; het laat welke korrelgrootte in 25% van de gevallen wordt overschreden. De horizontale lijn binnen elke box toont de mediaan. De afzonderlijke punten (+) tonen eventuele uitschieters (gelegen op meer dan 1,5 maal het verschil tussen het eerste en derde kwartiel afstand van deze kwartielen).

---

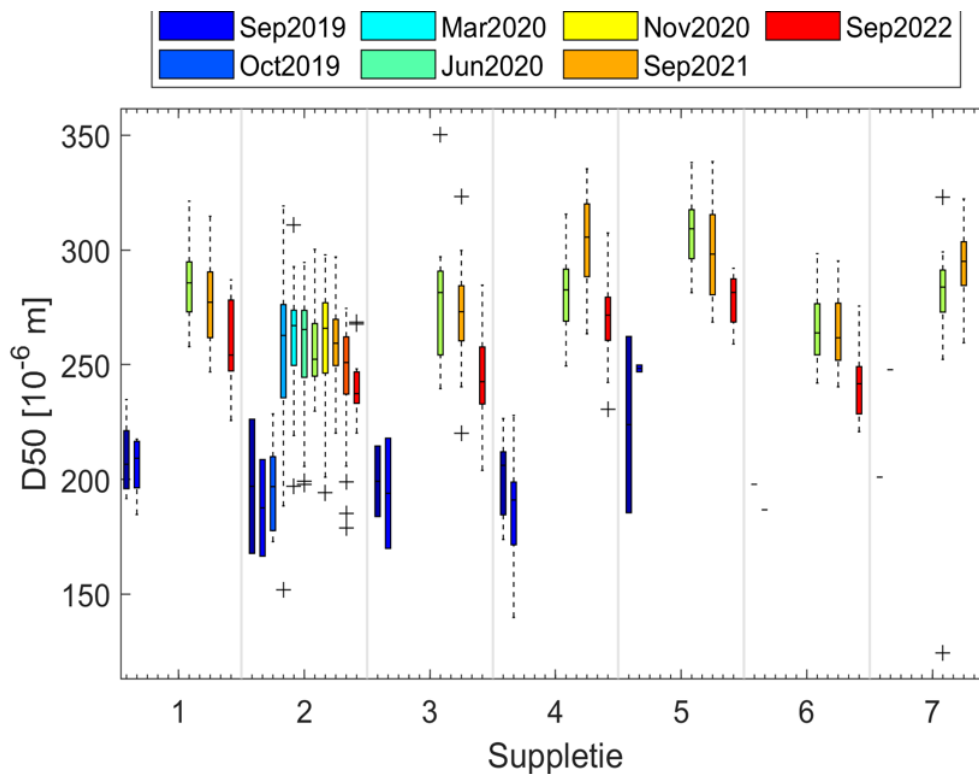
Figuur B1-50 geeft de mediane korrelgrootte per jaar per suppletie weer voor alle punten uit Figuur B1-48. Daarnaast geeft Figuur B1-51 de mediane korrelgrootte voor september van 2015 t/m 2022 per suppletie weer voor alleen de punten die in september van al deze jaren voorkwamen. Andere maanden zijn buiten beschouwing gelaten omdat toen alleen suppletie 2 was gemeten. Dit maakt een robuustere vergelijking over de jaren mogelijk, maar beslaat wel een zeer beperkte ruimtelijke dekking omdat er maar 16 locaties elk jaar in september zijn bemonsterd (zie inzet in het figuur). Om voor de suppleties een analyse met meer monsters per suppletie mogelijk te maken, geeft tot slot Figuur B1-52 de mediane korrelgrootte voor september van 2020, 2021 en 2022 (jaren na suppleren) per suppletie weer voor de punten die in al deze drie jaren gemeten zijn. Deze beschouwing van minder opnamen in de tijd (alleen de periode na suppleren) zorgt er voor dat meer meetlocaties meegenomen worden (zie inzet in het figuur).

Uit zowel deze figuren, als Figuur B1-48, volgt dat het sediment op de suppleties grover is (250/350  $\mu\text{m}$ ) dan erbuiten (175/225  $\mu\text{m}$ ). Suppleties 1, 2, 3, 5 en 6 namen tussen 2020 en 2022 wel in korrelgrootte af, meer overeenkomend met het sediment dat oorspronkelijk op de plaat aanwezig was. Op de dikste suppleties (4 en 7) was er eerst nog een toename in korrelgrootte tussen 2020 en 2021, waarna de korrelgrootte ook hier afnam tussen 2021 en 2022. Wat deze tijdelijke toename in korrelgrootte kan verklaren, is op basis van deze drie meetmomenten niet vast te stellen. De aanvullende metingen (na 2022) zullen gaan bijdragen aan een verdere interpretatie van deze ontwikkelingen.

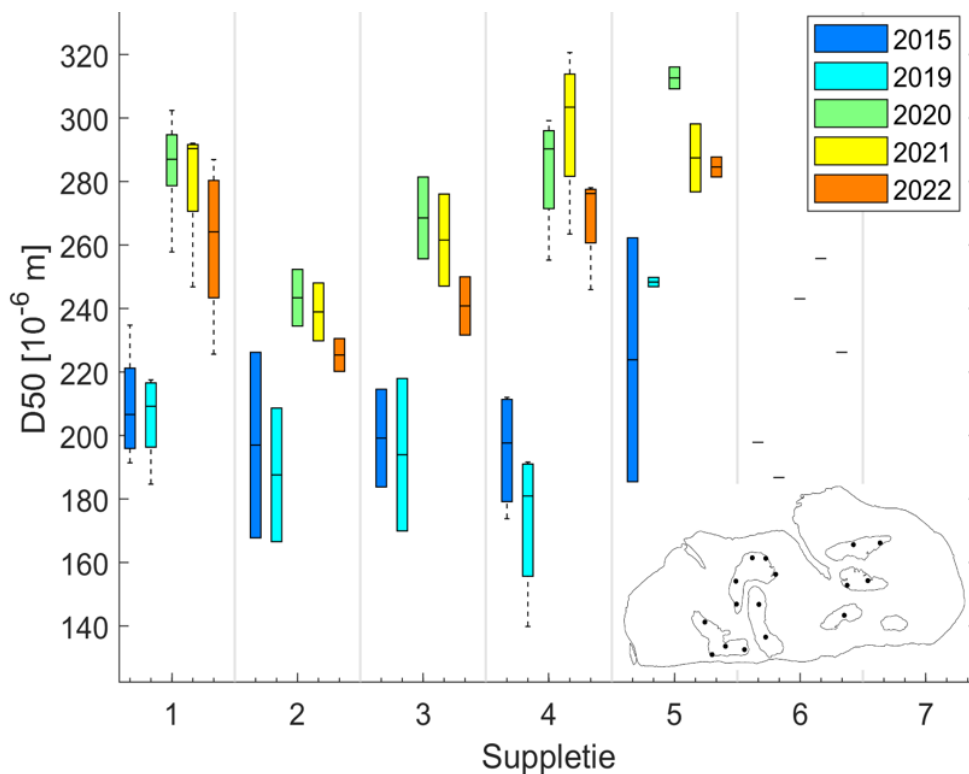
Wat ook opvalt in deze figuren is dat de korrelgrootte na aanleg (2020) behoorlijk varieert op de suppleties. De korrelgrootte varieert niet alleen binnen een suppletie (tot ongeveer 50  $\mu\text{m}$  tussen het eerste en derde kwartiel van de boxplots) maar ook tussen de verschillende suppleties (de mediaan van de D50 van suppletie 5 ligt ruim 50  $\mu\text{m}$  hoger dan die van suppletie 2 in 2020).

Figuur B1-53 laat voor de verschillende suppletie-elementen ook de ontwikkeling van de gemeten sedimentfracties zien. Door het suppleren (tussen oktober en november 2019) neemt in vrijwel alle suppletie-elementen het percentage van de fracties met relatief kleinere korrelgroottes (v fines, fines, silt) af en het percentage van de fracties met relatief grotere korrelgroottes (medium, coarse) toe. In de daaropvolgende periode (na aanleg) neemt het percentage medium geleidelijk weer af en het percentage fines geleidelijk weer toe. Voor de dikste suppleties (4 en 7) duurt het orde een jaar langer voordat het percentage grotere fracties weer afneemt en het percentage kleinere fracties weer toeneemt. Wat de siltfractie betreft, neemt deze door het suppleren af maar in 2022 is er weer een klein aandeel silt in het sediment waargenomen (variërend tussen de 1,1 en 4,0% per suppletie-element, met een gemiddelde van 2,3%). Het moet nog blijken of hier sprake is van een trend en de aanwezigheid van de siltfractie blijvend is.

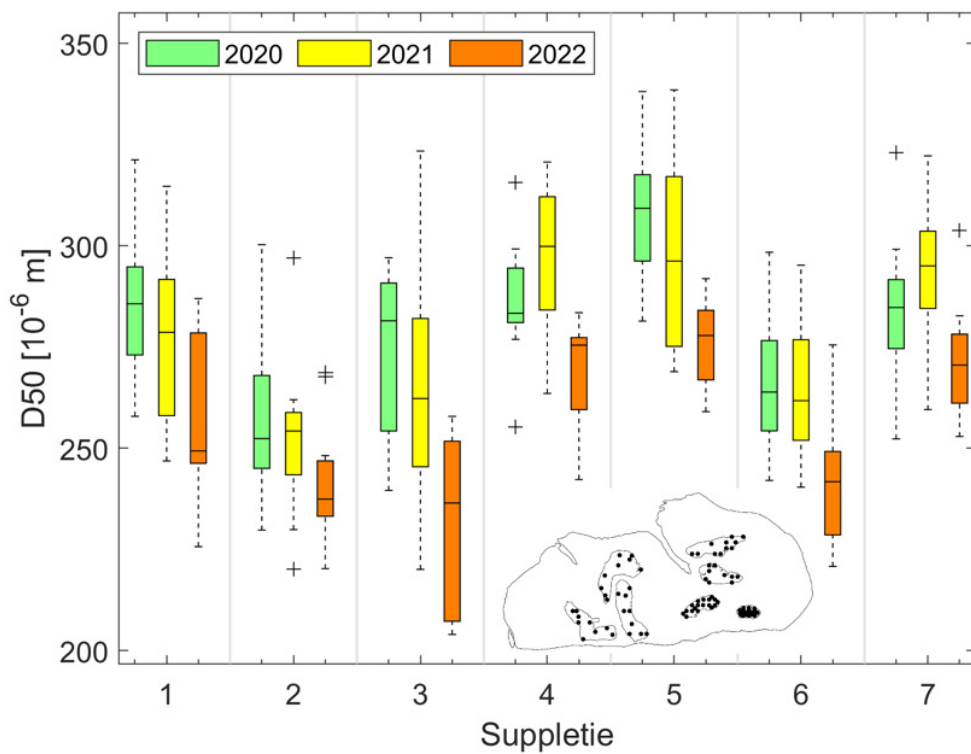
Kortom, de suppleties introduceren grover sediment dan oorspronkelijk op de Roggenplaat aanwezig was. Vervolgens vindt er, lokale uitzonderingen daargelaten, een verfijning plaats van zowel de suppleties (gebaseerd op 3 meetmomenten) als de niet-gesuppleerde delen van de plaat (gebaseerd op 2 meetmomenten). Er is voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van de precieze waarden, aangezien er maar een beperkt aantal meetmomenten was. Wel is duidelijk dat veranderingen in korrelgrootte op de suppleties niet te maken hebben met het blootleggen van oorspronkelijk plaatmateriaal onder de suppleties als gevolg van erosie van de suppleties, daartoe zijn de suppleties tot op heden nog niet voldoende geërodeerd (paragraaf B1.6.2).



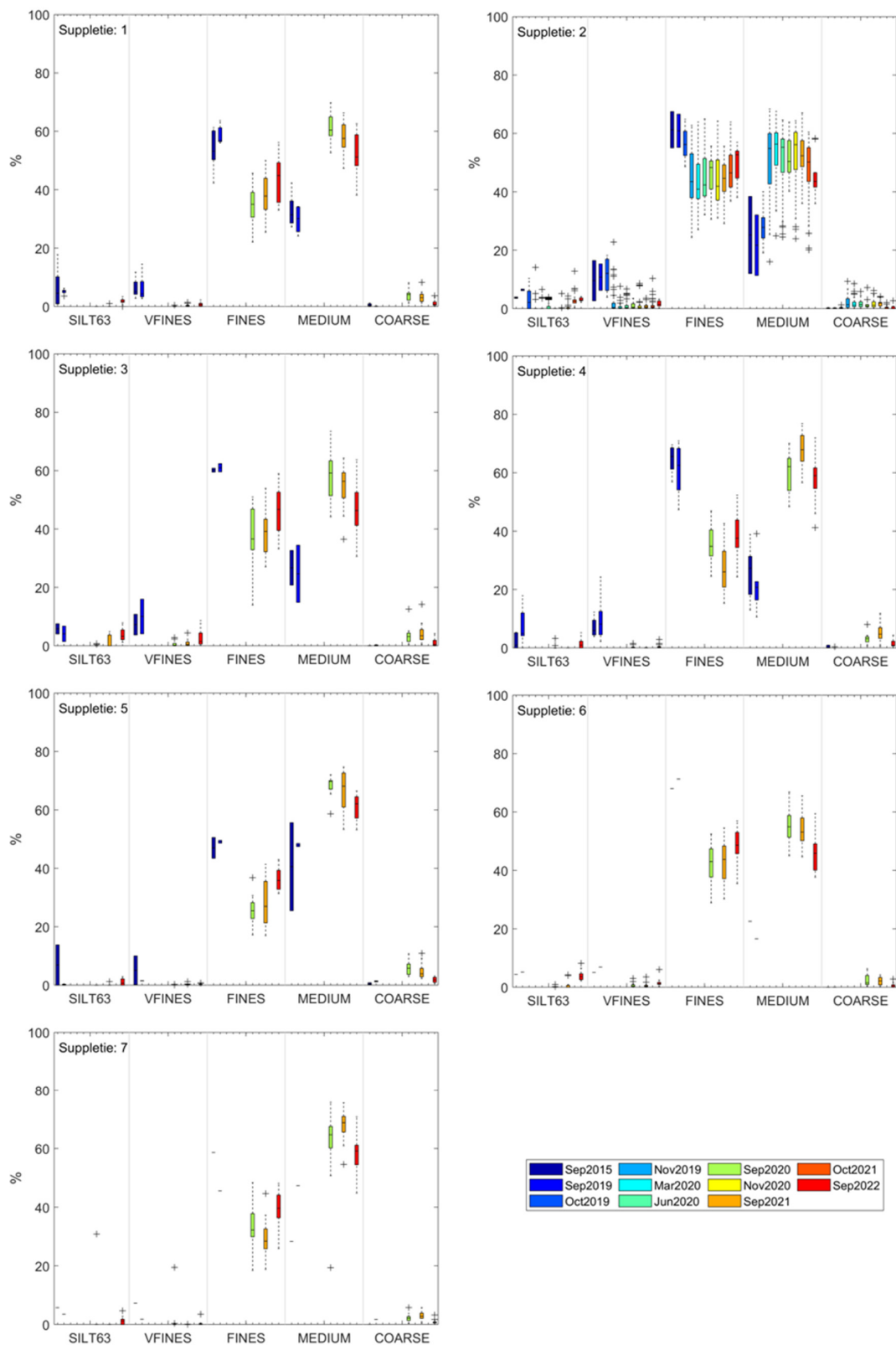
Figuur B1-50. De mediane korrelgrootte ( $D_{50}$ ) per meetmoment per suppletie. Opgemerkt wordt dat verschillen over de tijd in dit figuur mede het gevolg zijn van het feit dat niet elke meetlocatie op elk meetmoment is bemonsterd. In Figuur B1-51 en Figuur B1-52 is om deze reden de ontwikkeling van een selectie van de meetlocaties getoond. Zie Figuur B1-29 voor de nummering en dikte van de verschillende suppletie-elementen.



Figuur B1-51. De mediane korrelgrootte ( $D_{50}$ ) voor september van 2015 t/m 2022 per suppletie voor de meetpunten die in die periode altijd gemeten zijn (zie de inzet voor de ligging van deze meetpunten). Suppletie 7 is in 2015 en 2019 niet bemonsterd en daarom niet meegenomen. Zie Figuur B1-29 voor de nummering en dikte van de verschillende suppletie-elementen.



Figuur B1-52. De mediane korrelgrootte (D50) voor september van 2020, 2021 en 2022 per suppletie voor de meetpunten die in die periode altijd gemeten zijn (zie de inzet voor de ligging van deze meetpunten). Zie Figuur B1-29 voor de nummering en dikte van de verschillende suppletie-elementen.



Figuur B1-53. De verdeling van de sedimentfracties voor de meetcampagnes in 2015 t/m 2022 voor de zeven suppletie-elementen. COARSE (= grof zand: fractie tussen 0,5 – 1,0 mm), MEDIUM (= middel fijn zand: 0,25 – 0,5 mm), FINES (= fijn zand: 0,125 – 0,25 mm), VFINES (= zeer fijn zand: 0,063 – 0,125 mm), SILT63 (= slib: <0,063 mm). Zie Figuur B1-29 voor de nummering en dikte van de verschillende suppletie-elementen.

#### B1.7.4. Invloed op niet-gesuppleerde gebieden

##### Onderliggende kennisvraag morfologie 4

Zijn er niet-gesuppleerde gebieden (geulen, intergetijdengebied) die beïnvloed worden door de aanwezigheid van de suppleties, vindt er bijvoorbeeld geulvorming plaats?

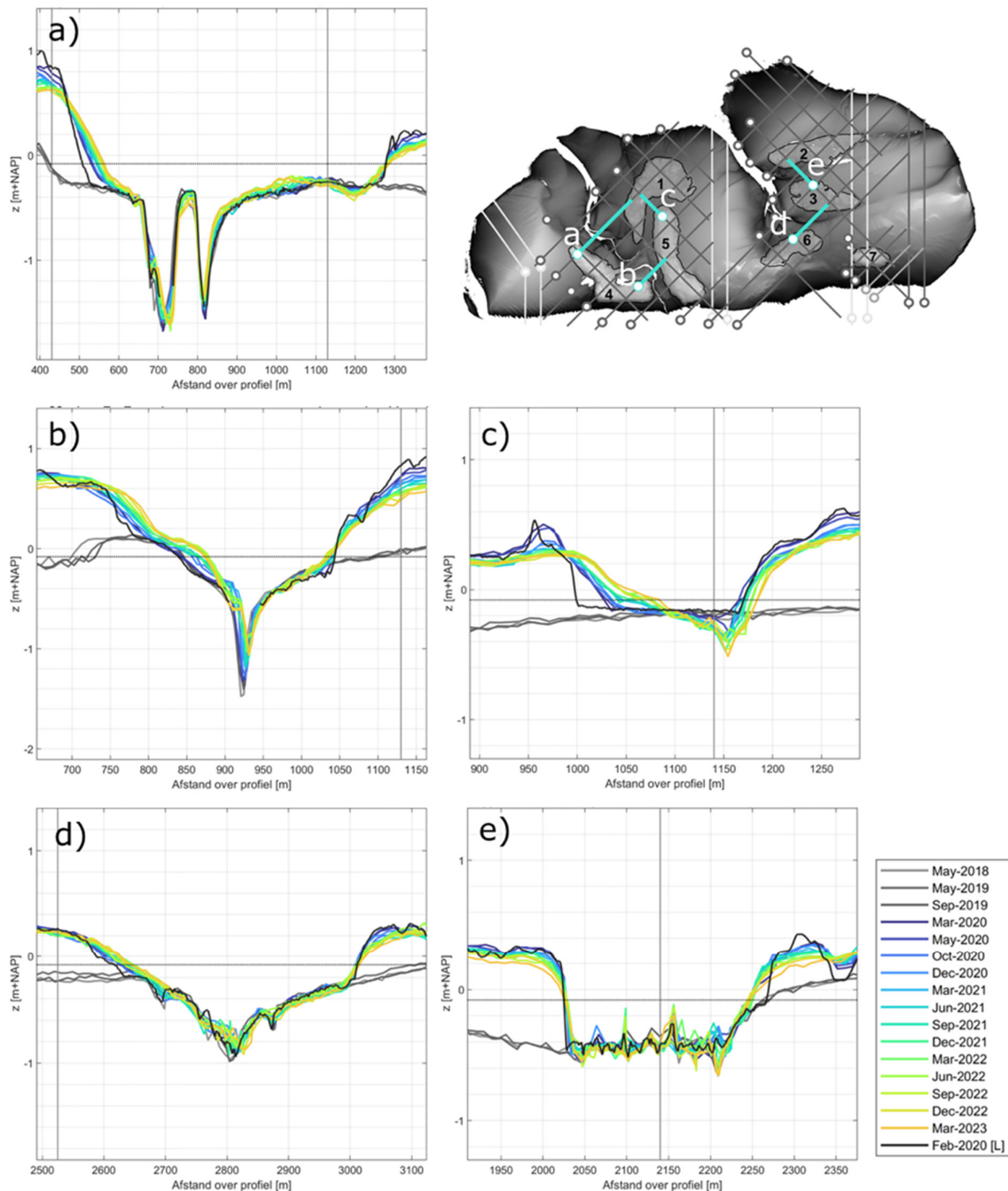
##### *Voorlopige samenvattende beantwoording:*

De aanwezigheid van de suppleties lijkt (zoals beoogd met het ontwerp) weinig invloed te hebben op de morfologische veranderingen van de tussenliggende gebieden. De aftakkingen van het Westgeultje tussen de suppleties veranderen nauwelijks, de uiterste aftakking tussen suppletie 4 en 5 daargelaten die een halve meter ondieper is geworden. Gebieden tussen de oostelijke suppleties zijn relatief stabiel. Door de ligging van suppleties 1 en 5 dicht bij elkaar, is in de zone ertussen een geultje ontstaan. Deze migreert met de suppletieranden iets (~10 m/jaar) naar het zuidoosten. In het eerste jaar na aanleg zijn er ook naast individuele suppleties diverse geultjes gevormd. Geultjes zijn gevormd aan de zuidoostkant van suppletie 5 (migreert noordwaarts en verdiept) en aan de zuidkant van suppletie 2 (lijkt alweer te verdwijnen).

De morfologische ontwikkeling die het Middengeultje al vóór suppleren onderging, is voornamelijk onveranderd door de suppleties. De noordoostelijke migratie van de zuidwestelijke geulwand zet ook na aanleg van de suppleties door. Wel is de gemiddelde trend van de verplaatsing iets toegenomen (van 0,9 m/jaar vóór tot 1,3 m/jaar na aanleg van de suppleties). De noordoostelijke geulwand vertoont geen sterke migratie, waardoor het doorstroomoppervlak van de geul is afgenomen. Echter, de totale trend in afname van het doorstroomoppervlak die al voor suppleren bestond is niet significant veranderd. Het doorstroomvolume neemt ook af, maar ook hier is geen sprake van een significante trendbreuk in afnamesnelheid.

De aanwezigheid van de suppleties lijkt weinig invloed te hebben op de tussenliggende gebieden. Zo zijn er beperkte veranderingen in de aftakkingen van het Westgeultje tussen suppletie 1 en 4 (Figuur B1-54a). Alleen de uiterste aftakking, gelegen tussen suppletie 4 en 5 (Figuur B1-54b), neemt gradueel in diepte af; Tussen mei 2018 en juni 2022 is deze aftakking met een halve meter in diepte afgenomen.

Door de ligging van suppleties 1 en 5 dicht bij elkaar, is in de zone ertussen een laagte, of geul, ontstaan. Dit gebied migreert iets (~10 m/jaar) naar het noordwesten (Figuur B1-54c). De gebieden tussen suppletie 2 en 3 en 3 en 6, aan de oostkant van de plaat, vertonen relatief beperkte veranderingen (Figuur B1-54de).

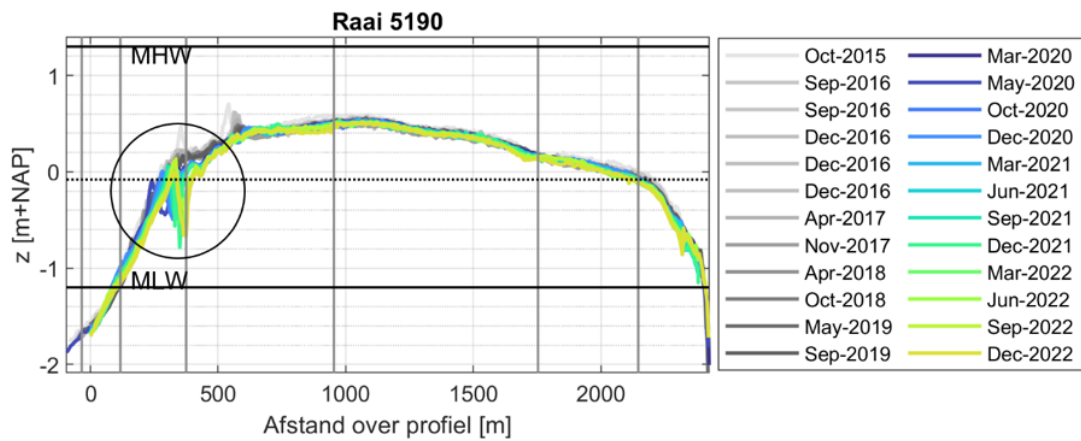


Figuur B1-54: RTK-profielen tussen mei 2018 en maart 2023 op vijf locaties (A-E) tussen de suppleties op de Roggenplaat.

### Geulvorming op de plaat

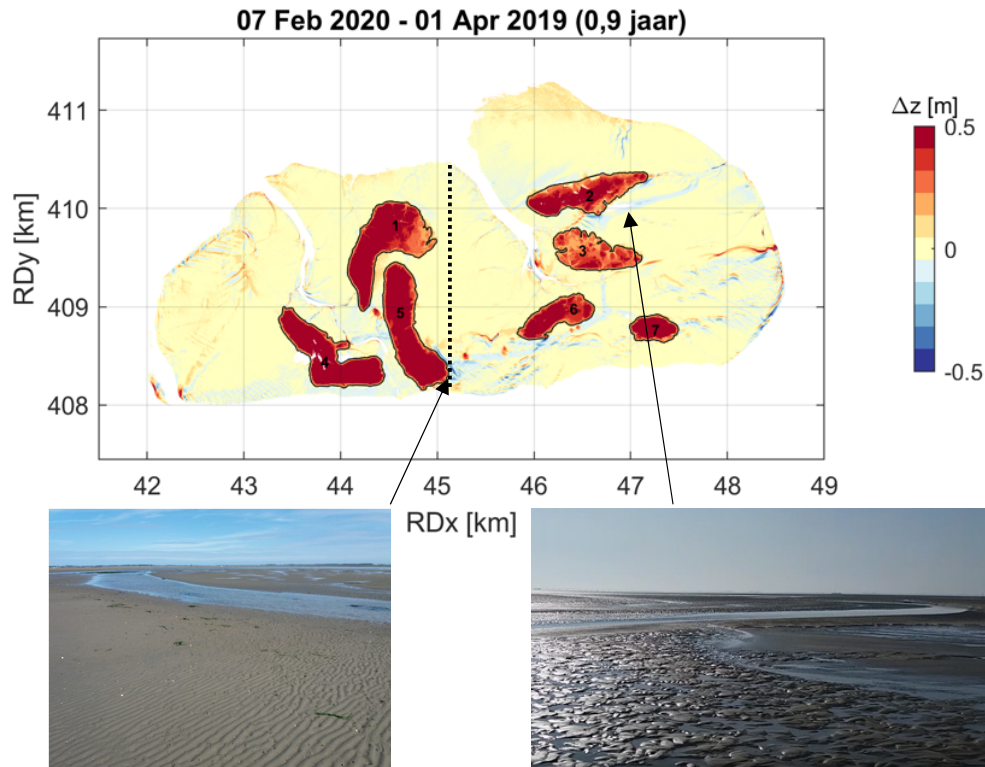
In Figuur B1-55 is de ontwikkeling langs RTK-dGPS raai 5190 weergegeven. Raai 5190 ligt ongeveer 100 m ten oosten van suppletie-element 5 (Figuur B1-56) en werd al vóór 2015 gemeten. De metingen vanaf 2020 (Figuur B1-55) geven in hoofdlijnen een continuïteit van de lange-termijn ontwikkelingen aan met de meeste erosie in het zuiden (links in het profiel) en een migratie van de bodemvormen naar het noorden (naar rechts in het profiel). In deze raai is sinds maart 2020, de eerste meting na aanleg van de suppletie-elementen, een lokale verlaging van ongeveer 40 cm zichtbaar (omcirkeld in Figuur B1-55). Dit komt overeen met de geulvorming aan de zuidoostzijde van suppletie 5, gemarkeerd in Figuur B1-56. In de jaren daarna neemt deze verlaging toe tot ruim 60 cm in december 2020. Tegelijkertijd migreert de geul tussen maart 2020 en december 2022 zo'n 100 m naar het noordoosten. Deze migratie is in de verschilkaarten van de daaropvolgende jaren (Figuur B1-26) (enigszins beperkt) zichtbaar als sedimentatie aan de zuidzijde en erosie aan de noordzijde.





*Figuur B1-55. Bodemligging langs RTK raai 5190, waarvan de ligging in Figuur B1-56 is aangegeven. De afstand neemt toe in noordelijke richting. De gemiddeld laagwater- (MLW) en hoogwaterstanden (MHW) zijn aangegeven, net als de gemiddelde waterstand (stippellijn). De T0 situatie is in grijs tinten gepresenteerd. De vorming van een afwateringsgeul dwars over raai 5190 is omcirkeld.*

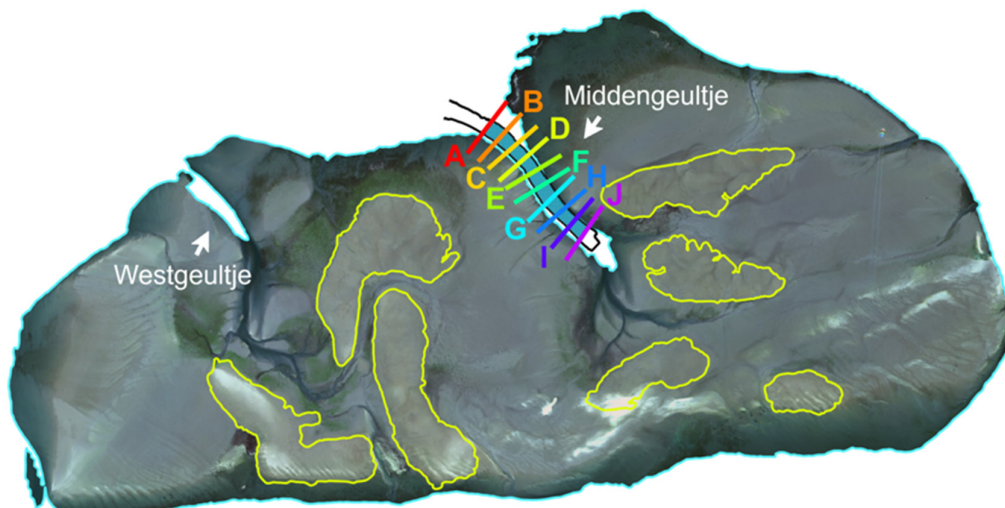
Uit de verschilkaart tussen april 2019 (vóór aanleg van de suppleties) en februari 2020 (na aanleg) is niet alleen af te leiden dat er aan de zuidoostzijde van suppletie-element 5 geulvorming plaatsvindt, ook aan de zuidzijde van suppletie-element 2 vindt geulvorming plaats (Figuur B1-56). Dit is ook vastgesteld tijdens veldbezoeken (i.e., visueel zichtbaar in het veld). Deze specifieke erosietrend ten zuiden van suppletie 2 is echter niet (duidelijk) zichtbaar in de verschilkaarten van de daaropvolgende jaren (Figuur B1-26) en lijkt dus niet door te zetten. Tussen suppletie 1 en 5 lijkt zich daarentegen wel een geul te vormen. Door de aanleg van deze twee suppleties vlak bij elkaar, is in de zone ertussen een laagte ontstaan. Tussen februari en oktober 2020 heeft hier erosie plaatsgevonden (Figuur B1-26). De jaren daarna stond er vaak water in deze laagte, waardoor er geen LiDAR data beschikbaar is. De RTK metingen (Figuur B1-54c) laten zien dat deze geulvorming blijvend is.



*Figuur B1-56. Geulvorming in de maanden na aanleg van de suppleties zichtbaar in de foto's (7 juli 2020) en op de LiDAR verschilkaart. De zwarte stippellijn geeft de ligging aan van RTK raai 5190, waarvan de data in Figuur B1-55 is weergegeven.*

#### **Ontwikkeling Middengeultje (oostelijke afwateringsgeul)**

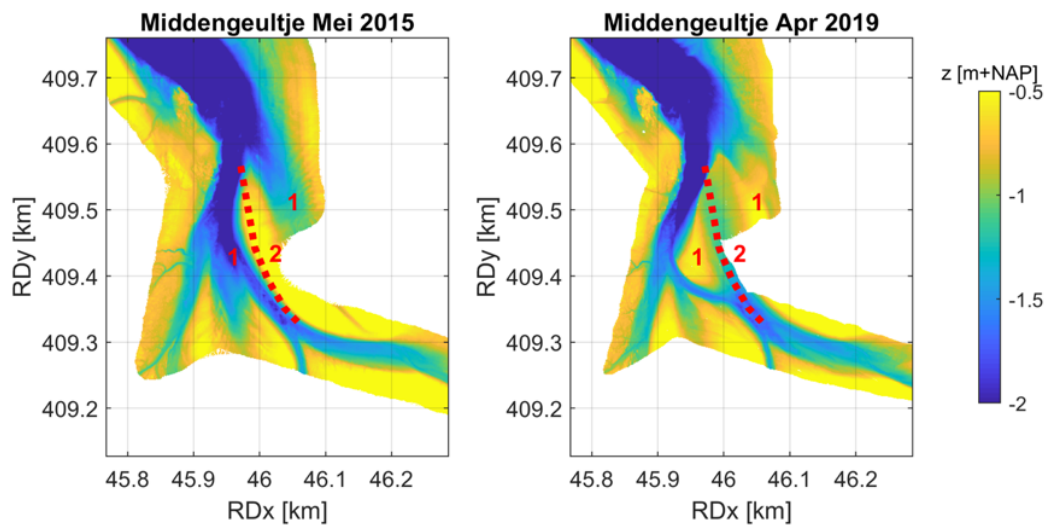
In de Roggenplaat zijn twee grote afwateringsgeulen aanwezig (Middengeultje en Westgeultje, zie Figuur B1-57). Beide geulen resulteren uit een ontwikkeling van vele decennia waarin verschillende plaatdelen zijn samengegroeid, de omvang van deze geulen is afgenomen en deze geulen in noordoostelijke richting migreerden (Paragraaf B1.3). Deze geulen vormen een belangrijk onderdeel van de morfologie van de Roggenplaat en beïnvloeden de stroming op de plaat. Vraag is of de ontwikkeling van deze afwateringsgeulen door de suppleties is beïnvloed. Om dat te kunnen beoordelen is de ontwikkeling van het Middengeultje in detail beschouwd en is specifiek onderzocht of er een trendbreuk heeft plaatsgevonden na realisatie van de suppleties.



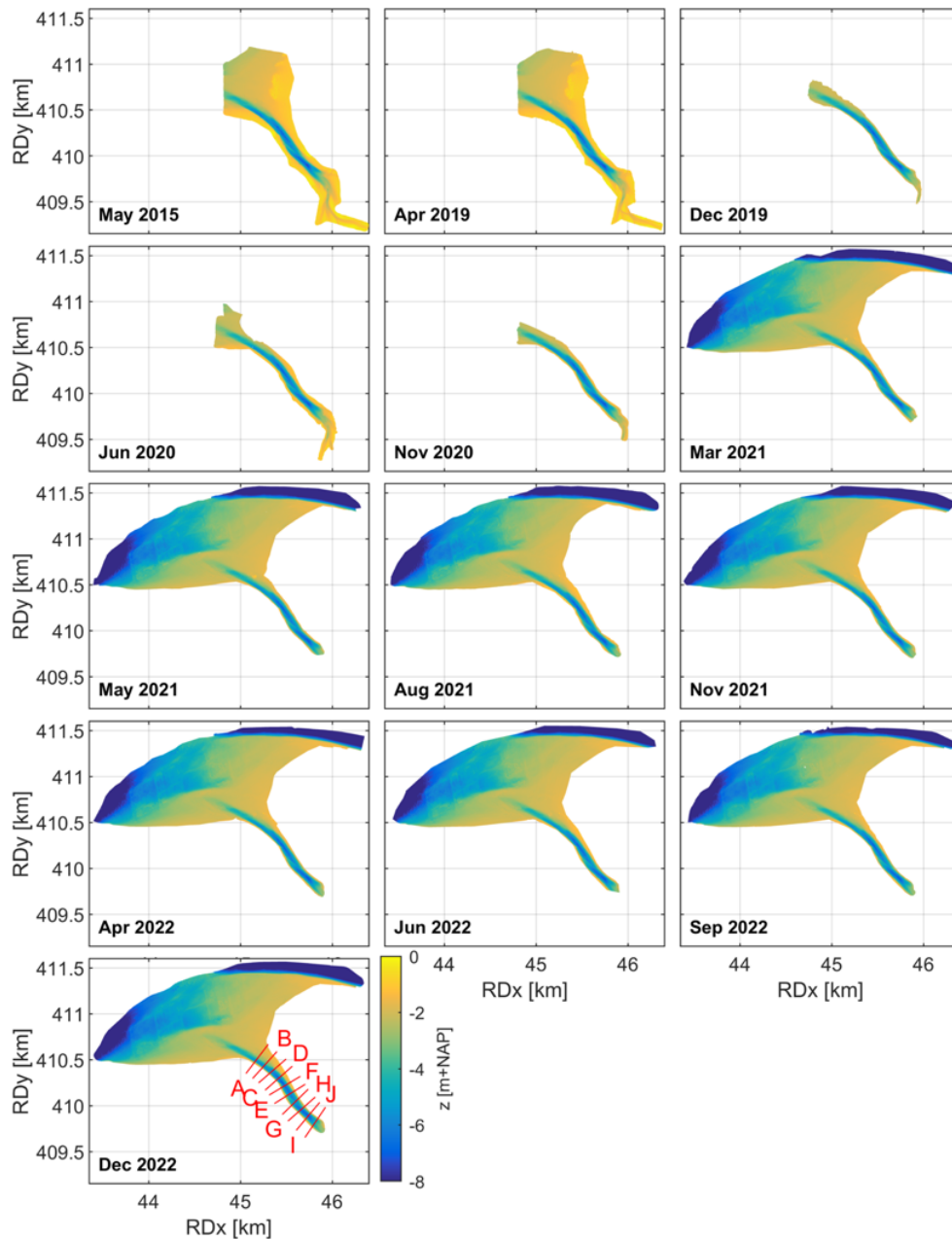
*Figuur B1-57. Satellietfoto van juli/augustus 2022 (bron: satellietdataportaal.nl), uitgesneden op de MKL 2019 van de Roggenplaat. De contouren van de suppleties zijn weergegeven, evenals de tien raaien A t/m J door het Middengeultje. De geulzone onder de -2,2 m NAP tussen raai A en J is blauw gearceerd (geanalyseerd in Figuur B1-60, Figuur B1-62 en Figuur B1-63).*

Een vergelijking tussen de Multibeam data (zie paragraaf B1.2.2 voor een toelichting van de metingen) van mei 2015 en april 2019 – de jaren met de grootste ruimtelijke dekking van deze data vóór suppleren – toont dat de oorsprong van het Middengeultje (het zuidoosten van het Middengeultje) een morfologisch dynamisch gebied is (Figuur B1-58). Dit is ook zichtbaar in de LiDAR data (zie bijvoorbeeld de verschilkaart maart 2018 en april 2019; Figuur B1-26). Twee aftakkingen van het Middengeultje zijn lokaal meer dan een halve meter aangezand en de grootste lokale aftakking lag in 2019 ongeveer 50 m naar het oosten ten opzichte van 2015 (gemarkeerd in Figuur B1-58). Het is nog onduidelijk of de geul aan een cyclische ontwikkeling onderhevig is of dat dit een blijvende verandering in de lokale morfologie van het Middengeultje is.

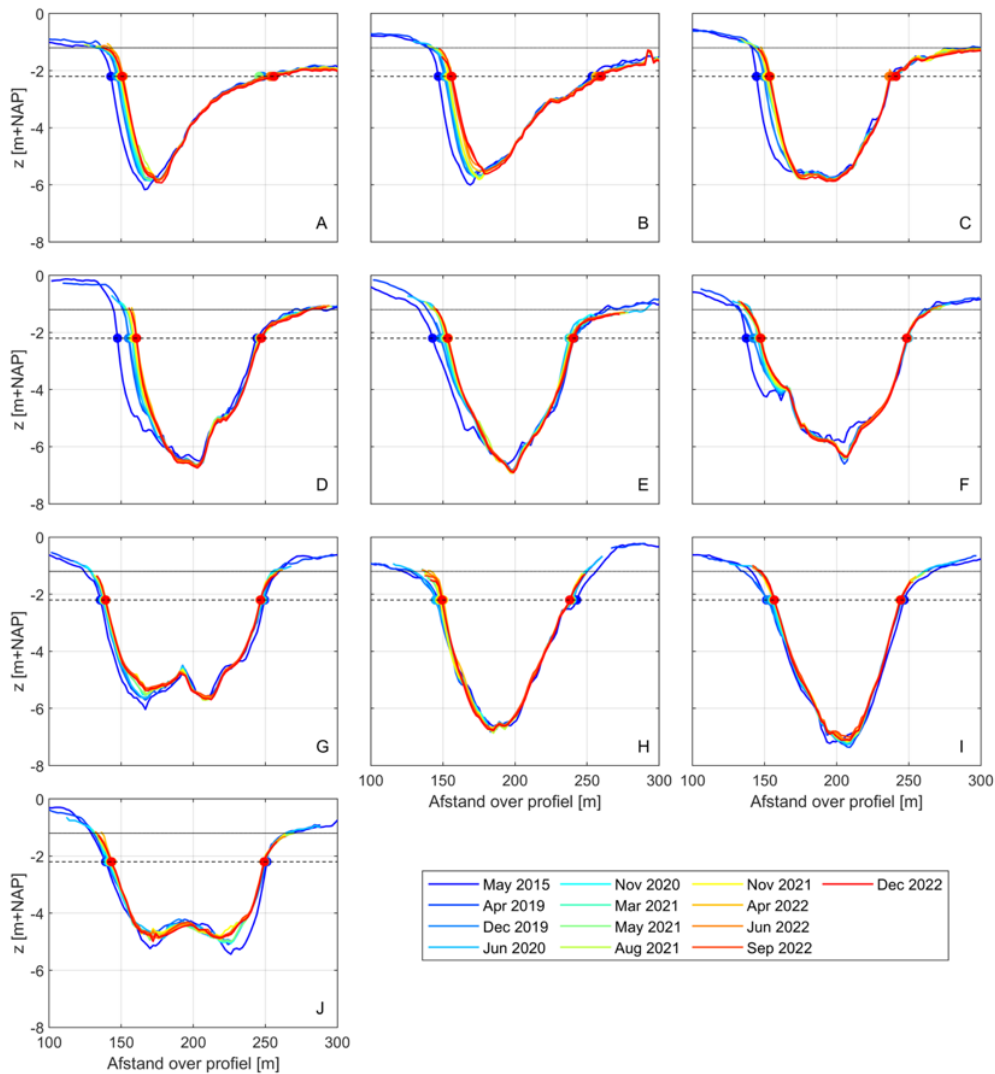
De Multibeam metingen laten verder zien dat de langjarige noordoostelijke migratie van de zuidwestelijke geulwand die in de eerdere rapportage al zichtbaar was (Wallis et al. 2021a) doorzet (Figuur B1-59, Figuur B1-60, Figuur B1-61). Daarnaast laat Figuur B1-61 zien dat er tussen augustus en november 2021, juni en september 2022 en september en december 2022 erosie en tussen november 2021 en april 2022 sedimentatie ten noordwesten van de geul heeft plaatsgevonden. Deze erosie en sedimentatie hangen samen met de mosselpercelen die hier liggen (cirkelvormige patronen houden verband met de mosselvisserijactiviteiten op de percelen). Tussen september 2022 en december 2022 lijkt er erosie te hebben plaatsgevonden in het Middengeultje.



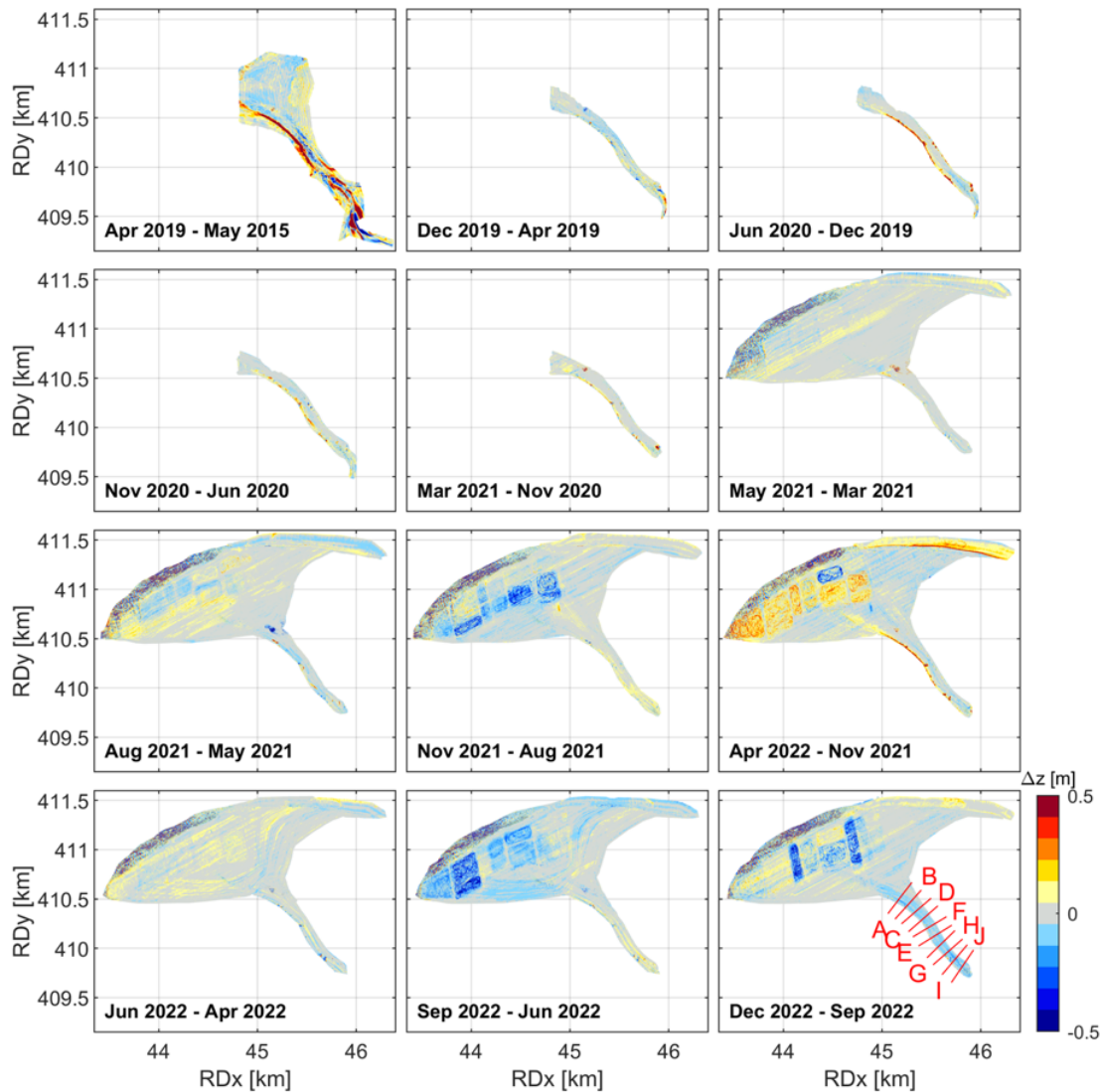
*Figuur B1-58. Detailopname van de Multibeam data, gefocust op de morfologische patronen in het zuidoosten van het Middengeultje in mei 2015 (links) en april 2019 (rechts). Aangezande geultjes zijn met 1 gemarkeerd, de nieuwe locatie van het geultje is met de stippellijn en 2 gemarkeerd.*



Figuur B1-59. Multibeam opnamen Middengeultje Roggenplaat van 2015 tot en met 2022. De profielen langs de rode lijnen zijn weergegeven in Figuur B1-60. De figuur laat de dekking van de Multibeam data zien.



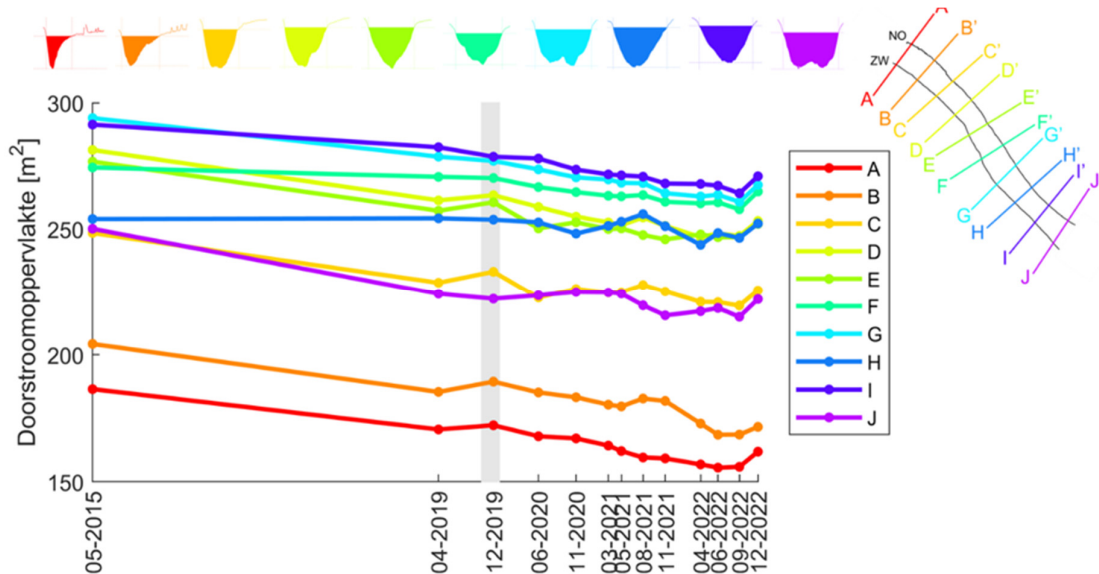
Figuur B1-60. Profielen geïnterpoleerd langs de raaien A-J (zie Figuur B1-59). De afstand langs de profielen is positief in noordoostelijke richting. De gemiddeld laagwaterlijn is met de zwarte stippellijn weergegeven. De gestreepte lijn komt overeen met -2.2 m NAP, de hoogste ligging van de (linker)geulwand bij raai G voor september 2022.



Figuur B1-61. Verschilkaarten van de Multibeam opnamen van 2015 tot en met 2022 van het Middengeultje. De profielen langs de rode lijnen zijn weergegeven in Figuur B1-60.

Om de migratiesnelheid van de geulwand te kwantificeren, is de verplaatsing van de x-positie van de kruising met de -2,2 m lijn (zie Figuur B1-60), voor raai A tot en met J, voor zowel de zuidwestelijke als de noordoostelijke geulwand bestudeerd. Er is voor -2,2 m gekozen, en niet voor gemiddeld laagwater, omdat niet alle profielen data hadden tot aan de laagwaterlijn (zie Figuur B1-60). De verplaatsing van de zuidwestelijke geulwand verschilt voor de verschillende raaien, maar de algemene trend is een verplaatsing naar het noordoosten. De trends in geulwandverplaatsing vóór (mei 2015 tot en met april 2019, let op dit zijn slechts twee datapunten) en na (december 2019 tot en met november 2021) aanleg van de suppleties zijn met elkaar vergeleken. De gemiddelde trend voor de zuidwestelijke geulwand was 0,9 m/jaar vóór en 1,3 m/jaar (gemiddelde  $R^2 = 0,8$ ) na aanleg van de suppleties. De gemiddelde erosietrend is dus groter geworden, wat betekent dat de verplaatsing naar het noordoosten is toegenomen. De noordoostelijke geulwand vertoont geen sterke trend in migratie. Gemiddeld was de trend van de noordoostelijke geulwand vóór de suppleties -0,08 m/jaar en na de suppleties 0,12 m/jaar (gemiddelde  $R^2 = 0,5$ ).

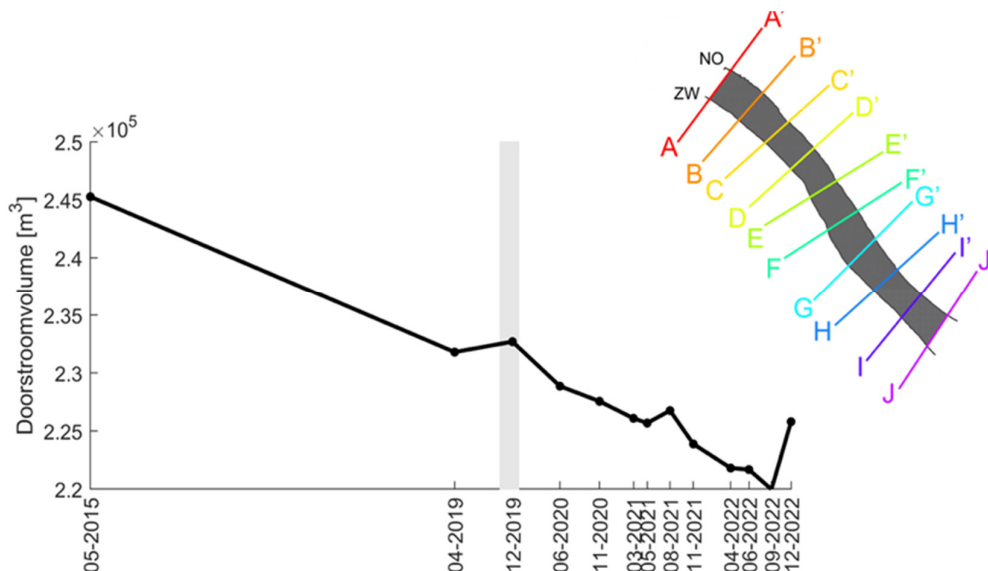
Figuur B1-62 laat zien hoe het doorstroomoppervlakte in de geul langs raai A t/m J is veranderd in de tijd. Het doorstroomoppervlakte is groter verder platinwaarts in de geul tussen profiel A en G. Langs alle raaien is het doorstroomoppervlakte afgenomen. Vervolgens is de trend in verandering in doorstroomoppervlakte langs de raaien is bepaald vóór (05-2015 t/m 04-2019, let op dit zijn slechts twee datapunten) en na (12-2019 t/m 11-2021) aanleg van de suppleties. De gemiddelde trend was vóór aanleg  $-3,8 \text{ m}^2/\text{jaar}$  en na aanleg  $-3,7 \text{ m}^2/\text{jaar}$ , de trend is dus nagenoeg hetzelfde gebleven. Tussen de raaien waren wel verschillen in trend waar te nemen. Zo ging de trend bij raai C t/m E van gemiddeld  $-5,0$  naar  $-3,3 \text{ m}^2/\text{jaar}$  na suppleren, terwijl de trend bij raai F t/m I van gemiddeld  $-1,8$  naar  $-3,2 \text{ m}^2/\text{jaar}$  ging. Dit betekent dat het doorstroomoppervlakte verder platinwaarts sterker afnam dan aan de rand van de plaat.



Figuur B1-62. Het doorstroomoppervlakte van het Middengeultje langs raai A t/m J onder de  $-2.2 \text{ m}$  NAP tussen 2015 en 2022. De inzet boven het figuur is een schematische weergave van het doorstroomoppervlakte per raai voor december 2022. De grijze periode representeert de aanlegperiode van de zeven suppletie-elementen.

Figuur B1-63 laat zien dat de verandering in doorstroomvolume tussen raai A en J qua trend overeenkomt met de algemene verandering in doorstroomoppervlakte; Het doorstroomvolume is tussen 2015 en 2022 afgenomen. Vóór aanleg van de suppleties (mei 2015 t/m april 2019) was de trend  $-3.400 \text{ m}^3/\text{jaar}$ , na aanleg (december 2019 t/m december 2022) was de trend  $-3.200 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . De meting van december 2022 beïnvloedt de trend na aanleg aanzienlijk: als de meting van december 2022 buiten beschouwing wordt gelaten is de trend  $-4.100 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . Of de meting van december 2022 een meetfout betreft, zal uit de toekomstige Multibeam data blijken.

Als er sprake zou zijn van een trendbreuk, suggereren deze metingen dat deze beperkt is tot een versterking in volumeafname van het Middengeultje van  $700 \text{ m}^3/\text{jaar}$ . De vraag is of deze verandering in volumeafname groot genoeg is om te kunnen spreken van een significante trendbreuk (niet gedomineerd door meetfouten). Benadrukt wordt dat het Middengeultje vóór suppleren slechts tweemaal is ingemeten over een periode van 4 jaar. Een verschil van  $700 \text{ m}^3/\text{jaar}$  over 4 jaar betekent een verschil in erosie van in totaal  $2.800 \text{ m}^3$ . Gemiddeld over het oppervlakte van het Middengeultje (ongeveer  $20 \text{ ha}$ ) betekent dit dus een verschil in erosie van  $1,4 \text{ cm}$  over deze 4 jaar. Dit gemiddelde erosieverschil is dermate klein dat het niet is uit te sluiten dat deze het gevolg is van een meetfout in de Multibeam metingen van mei 2015 en/of april 2019. Kortom, uit deze metingen blijkt geen significante verandering in volumeafname van het Middengeultje.



Figuur B1-63. Het doorsroomvolume onder de -2.2 m NAP tussen raaien A en J (zie inzet, met daarin de -2,2 m contour voor november 2021, voor de ligging) voor 2015 t/m 2022. Het grijze vlak beslaat de aanlegperiode van de zeven suppletie-elementen.

### B1.7.5. Veranderingen in stroming

#### Onderliggende kennisvraag morfologie 5 (aanvullend)

Hoe is de stroming en afwatering op de Roggenplaat en in de oostelijke geul (het Middengeultje) veranderd door de aanleg van de suppleties?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Uit metingen en modellering van de stroming komt naar voren dat er geen grootschalige, eenduidige verandering in dieptegemiddelde stroomsnelheid is opgetreden door aanleg van de suppleties. Op sommige locaties, verspreid over de hele plaat, zijn er beperkte verschillen ( $\leq 0,05$  m/s) in stroomsnelheid, terwijl er op andere locaties wel substantiële ( $> 0,1$  m/s) veranderingen zijn waar te nemen. Zo is op de suppleties (met name suppletie 4) de stroming lokaal afgenomen. Toenamen in snelheid vonden vooral plaats tussen of naast de suppleties. Uit de metingen en modellering volgt dat de stroming in het Middengeultje is afgenomen. Mogelijk komt dit doordat er door de aanwezigheid van de suppleties minder water de plaat op en af stroomt (kleinere getijdeprisma). Verder kan deze afname ook samengaan met de afname in doorsroomvolume zoals ook al waargenomen vóór suppleren. De gemeten toename in stroomsnelheid tussen suppleties 1 en 5, en ten oosten van suppletie 5 volgt ook uit de modellering. Deze toename tussen suppleties 1 en 5 is de sterkst gemeten toename (+0,4 m/s) en hangt waarschijnlijk samen met het vernauwen (en daarmee versnellen) van de stroming tussen deze suppleties.

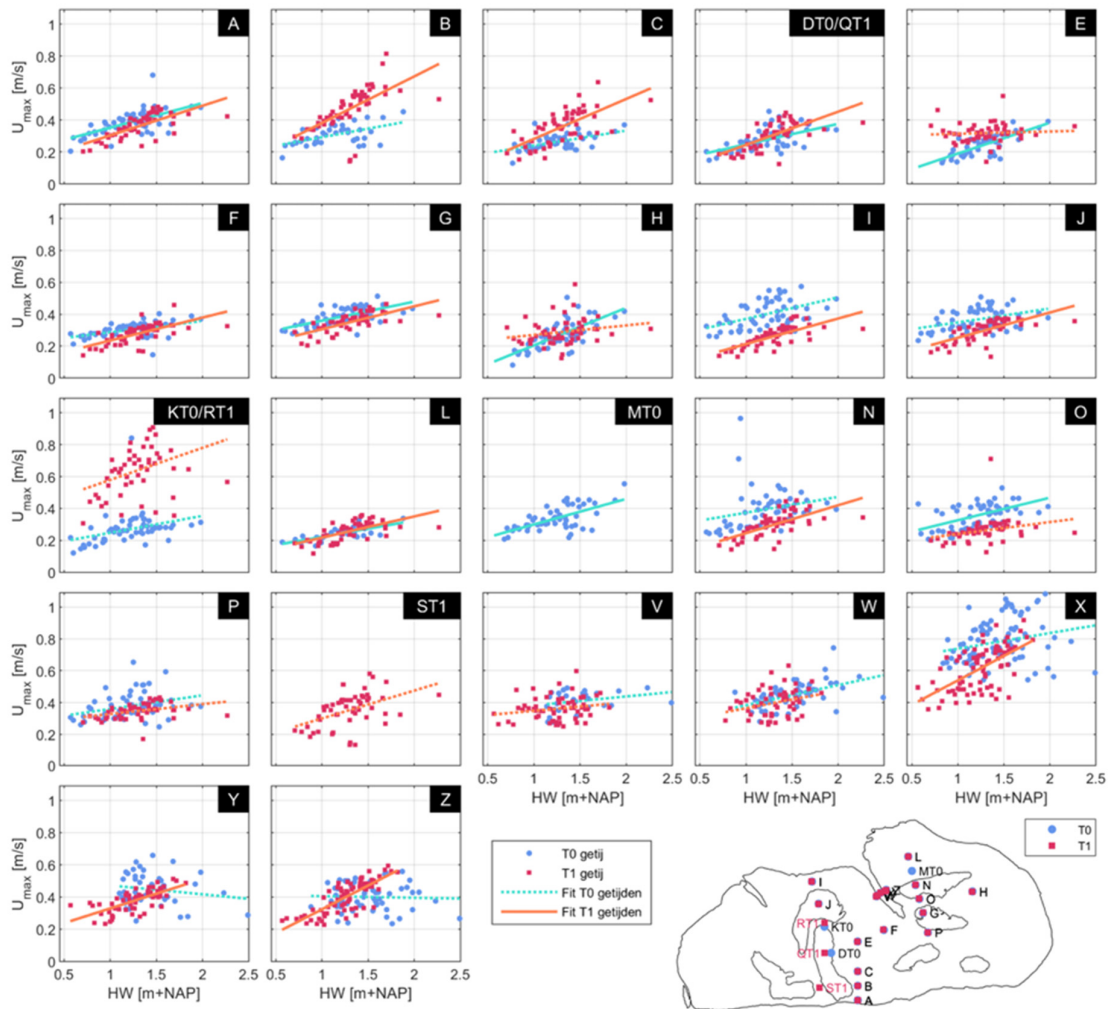
Op 21 locaties verspreid over de Roggenplaat (16) en het Middengeultje (5) zijn voor T0 en T1 stroommetingen gedaan met ADCPs (zie paragraaf B1.2.2 voor de methodologie). In Figuur B1-64 zijn voor alle meetlocaties de maximale dieptegemiddelde snelheden van elk getij uitgezet tegen de opgetreden hoogwaterstand. Naast de datapunten voor elk getij (afzonderlijk gepresenteerd voor T0 en T1), zijn zowel voor T0 als voor T1 lineaire trendlijnbenaderingen geplot door de meetpunten. Indien de  $R^2$  kleiner dan 0,3 was, is de trendlijn als een stippelijng geplot (gemiddeld was  $R^2$  0,30 over alle meetpunten en 0,46 over de meetpunten met een  $R^2$  groter dan 0,3). Het bestaan van deze relatie tussen hoogwaterstand en piekstroming maakt het mogelijk de analyses te focussen op verandering in stroming door de suppleties zonder dat verschillen in getijslag of windopzet de resultaten domineren.



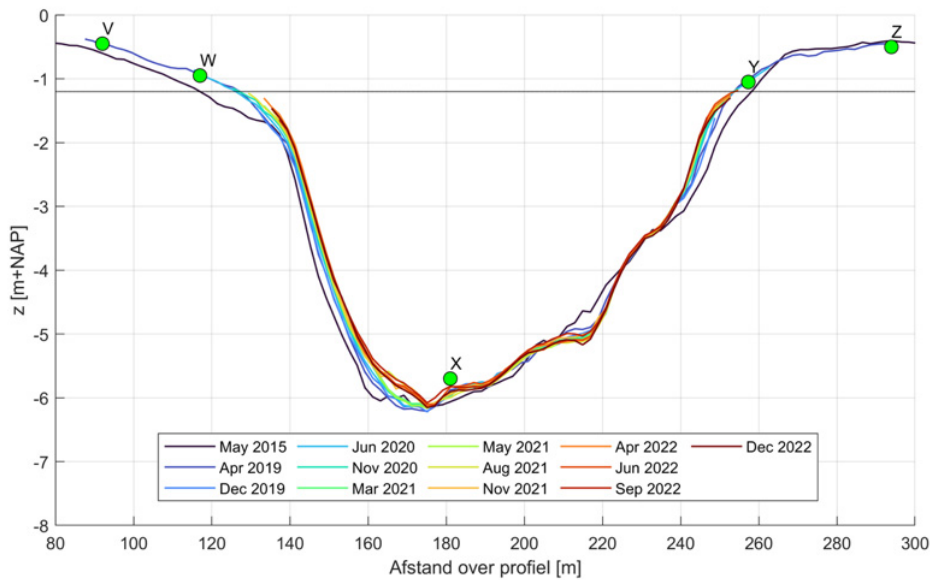
---

Hoewel er voor sommige meetpunten beperkte ( $\leq 0,05$  m/s) verschillen zijn tussen de gemiddelde T0 en T1 data (Z, L, F, H, A, D/Q, P, G, V, W), zijn er op andere punten juist wel grote veranderingen in stroomsnelheden opgetreden (Tabel B1-11). Zo is de maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid voor meetpunten I, N, O en X afgenomen tussen T0 en T1 met gemiddeld 0,12 m/s. De snelheden zijn juist toegenomen met gemiddeld 0,21 m/s op locaties B, C en K/R. De sterkste toename is op locatie K/R, tussen suppleties 1 en 5. Gemiddeld is de toename hier 0,37 m/s en dit hangt waarschijnlijk samen met het ontstaan van een nauwe passage tussen de suppleties waardoor de stroming versnelt. In het ontwerp (Van der Werf et al., 2016) was een dergelijke versnelling van de stroming door de vernauwing tussen de suppleties al voorspeld met de modellering. De metingen bevestigen dit dus.

Meetpunten V, W, X, Y en Z liggen op een profiel dwars op het Middengeultje. Het profiel ligt het dichtst bij profiel G uit de Multibeam analyse (Figuur B1-57). In Figuur B1-65 is de dwarsdoorsnede van de geul tussen meetpunt V en Z bepaald op basis van de Multibeam data. Zoals zichtbaar ligt meetpunt X midden in de geul. Figuur B1-64 laat zien dat de dieptegemiddelde stroomsnelheid in de T1 metingen is afgenomen ten opzichte van de T0 metingen. Uit de Multibeam data volgt dat de geul ondieper wordt (m.u.v. december 2022; Figuur B1-65; zie voor verdere analyses van deze veranderingen paragraaf B1.7.4). Het zou dus kunnen dat deze afname in snelheid in het Middengeultje gedeeltelijk samengaat met het kleiner worden van het Middengeultje op de langere termijn, mits het debiet hierdoor ook is afgenomen (Figuur B1-63). Daarnaast is tijdens de ontwerpfase (Van der Werf et al., 2016) aangetoond met de modellering dat met alleen de toevoeging van de suppletie-elementen op de plaat (dus onveranderde geometrie Middengeultje) de snelheid in het Middengeultje al afneemt. Dit valt te verklaren doordat er door de aanwezigheid van de suppleties minder water de plaat op en af stroomt (kleinere getijdeprisma).



Figuur B1-64. De maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid voor elk gemeten getij, weergegeven ten opzichte van de maximale waterstand van elk getij voor alle ADCPs op de Roggenplaat en in het Middengeulje. De T0 en T1 metingen zijn afzonderlijk geplotted (zie legenda). Een lineaire trendlijnenbenadering is geplotted voor zowel de T0 als de T1 datapunten. Indien de  $R^2 < 0,3$  is de trendlijn als stippellijn geplotted.



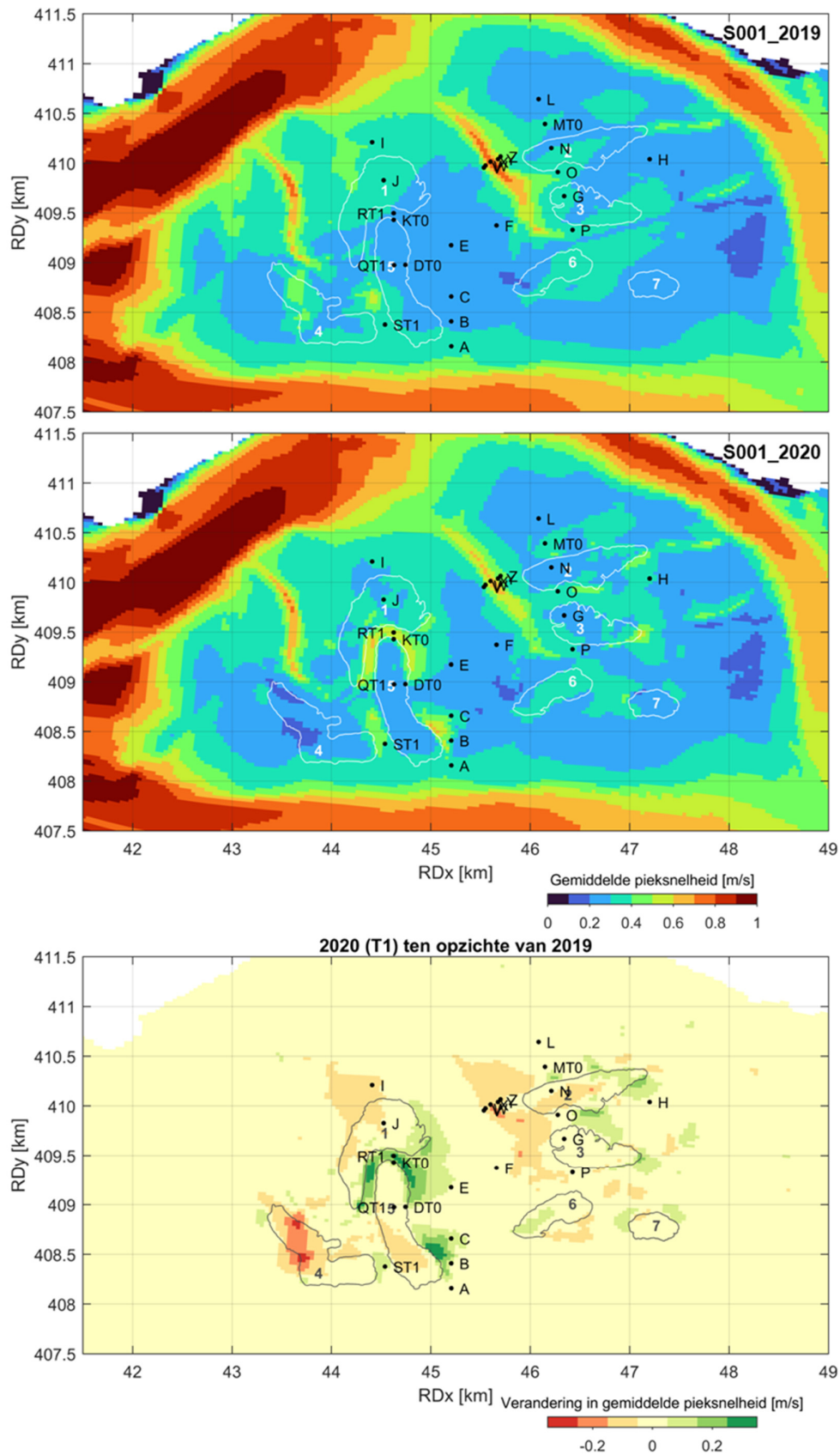
Figuur B1-65. Een dwarsdoorsnede van het Middengeulje langs raai V-Z (zie Figuur B1-64) op basis van de Multibeam data. De afstand langs de profielen is positief in noordoostelijke richting. De gemiddeld laagwater lijn is met de zwarte stippellijn weergegeven.

Tabel B1-11. De gemiddelde maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid voor elk gemeten getij, voor alle ADCPs op de Roggenplaat en in het Middengeultje. De T0 en T1 waarden zijn afzonderlijk weergegeven en de meest rechter kolom laat het verschil tussen de T0 en T1 waarde zien (gesorteerd van klein naar groot met in groen snelheidstoename en in rood snelheidsafname).

	Gemiddelde Umax [m/s]		
	T0	T1	T1 - T0
Z	0,40	0,40	0,00
L	0,24	0,26	0,01
F	0,30	0,28	-0,02
H	0,27	0,29	0,02
A	0,39	0,36	-0,03
DT0/QT1	0,27	0,31	0,03
P	0,38	0,35	-0,03
G	0,38	0,35	-0,04
V	0,41	0,36	-0,05
W	0,45	0,40	-0,05
E	0,25	0,32	0,07
J	0,37	0,30	-0,07
Y	0,45	0,38	-0,07
C	0,26	0,36	0,09
O	0,36	0,26	-0,09
N	0,39	0,30	-0,10
I	0,40	0,26	-0,14
B	0,31	0,47	0,16
X	0,78	0,61	-0,16
KT0/RT1	0,27	0,64	0,37
MT0	0,34		
ST1		0,35	

Omdat de ruimtelijke dekking van de stroomsnelheidsmetingen beperkt is, is aanvullend een Delft3D model ingezet om de inzichten uit de metingen ruimtelijk te kunnen opschalen. Hiertoe is een simulatie uitgevoerd met de 2019 bodemligging (vóór suppleren) en de 2020 bodemligging (na suppleren). Een toelichting van de modelopzet is in paragraaf B1.2.3 gegeven. Omdat, afgezien van de bodemligging, de simulaties niet verschillen (zelfde hydrodynamische forcering) zijn veranderingen in stroming direct het gevolg van veranderingen in de morfologie. Deze aanpak impliceert ook dat de resultaten niet een-op-een vergeleken kunnen worden met de gemeten waarden.

Figuur B1-66 toont de gemiddelde pieksnelheden over de representatieve maand (15 januari – 14 februari 2015) voor de 2019 bodemligging, 2020 bodemligging en het verschil tussen de snelheden voor beide bodemliggingen. Deze modelresultaten bevestigen het beeld dat ook al uit de metingen naar voren kwam: er is tussen T0 en T1 een afname in stroming in het Middengeultje, een toename in de zone tussen suppleties 1 en 5 en een toename ten oosten van suppletie 5. De modellering laat zien dat de reikwijdte van de gemeten toename in snelheid ten oosten van suppletie 5 relatief beperkt is (<500 m). Aanvullend tonen deze simulaties dat de grootste snelheidsafname (tot ongeveer 0,3 m/s) op suppletie 4 heeft plaatsgevonden. Op deze suppletie zijn geen metingen uitgevoerd. Mogelijk heeft deze snelheidsafname ten zuiden van het Westgeultje te maken met het feit dat de stroming op de plaat van/naar het Westgeultje door de aanwezigheid van suppletie 4 lokaal geblokkeerd wordt (zeker als deze suppletie nog niet volledig onderwater staat). Tot slot toont de modellering dat de waargenomen afname in stroomsnelheid in het Middengeultje relatief uniform over deze geul heeft plaatsgevonden (geen lokaal effect). Dit impliceert dat het debiet door het Middengeultje is afgenomen (zoals reeds aangetoond met de modellering in de ontwerpfase; Van der Werf et al., 2016).



Figuur B1-66. Modelresultaten van de stromingssimulatie met het Delft3D model voor de T0 (2019, boven) en T1 (2020, midden) bodem met de hydrodynamica van een representatieve maand (jan/feb 2015). De onderste figuur laat de verandering in gemiddelde pieksnelheid zien tussen 2019 en 2020.

## B1.7.6. Effect van oesterriffen op de morfologische ontwikkelingen

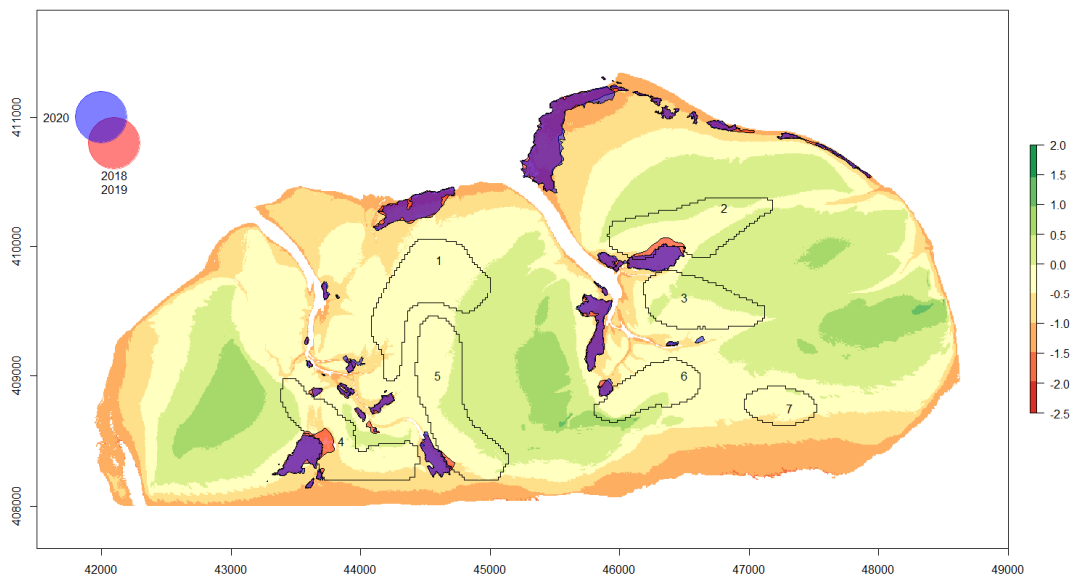
### Onderliggende kennisvraag morfologie 6

Hebben oesterriffen een rol in het vasthouden van (gesuppleerd) sediment op de Roggenplaat?

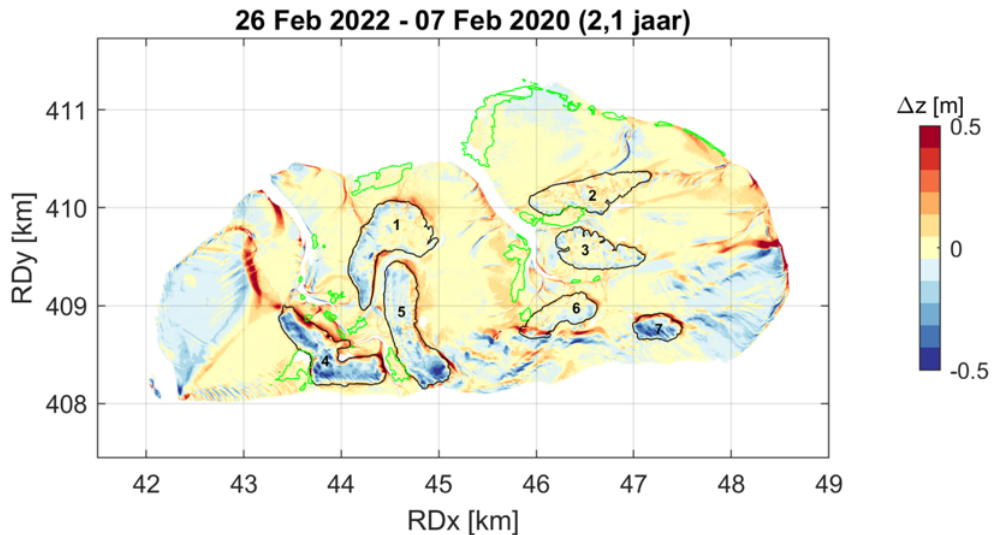
#### Voorlopige samenvattende beantwoording:

Er is in de morfologische ontwikkelingen (erosie-/sedimentatiepatronen aan de suppletieranden en op de suppleties zelf) geen aanwijzing zichtbaar voor een effect van de oesterriffen op de ontwikkeling van de suppleties. Dit komt waarschijnlijk doordat de top van de riffen ruim een meter lager ligt dan de top van de suppleties en een eventueel schaduweffect (golfdemping) dus beperkt zal zijn voor deze suppleties. Dit wil niet zeggen dat oesterriffen helemaal geen effect hebben op de suppleties. Een eventueel effect is alleen te klein om met de data aan te tonen.

Oesterriffen stabiliseren lokaal de bodem en kunnen sedimentatie in de gebieden daarachter stimuleren door afname van golfenergie en stroming (Wallis et al. 2015). Op de Roggenplaat zijn er op meerdere locaties natuurlijke oesterriffen aanwezig, gelegen met een bodemligging rond de -0,2 tot -0,5 m NAP (Figuur B1-67). Een deel van deze riffen liggen direct naast een suppletie. Door de ligging van de oesterriffen net onder NAP, terwijl de suppleties ruim boven NAP zijn aangelegd, is er een beperkt schaduweffect te verwachten op de suppleties omdat een groot deel van de golven de riffen zullen passeren zonder energieverlies. In deze paragraaf wordt beschouwd of deze riffen de ontwikkelingen van de suppleties toch aantoonbaar beïnvloeden.

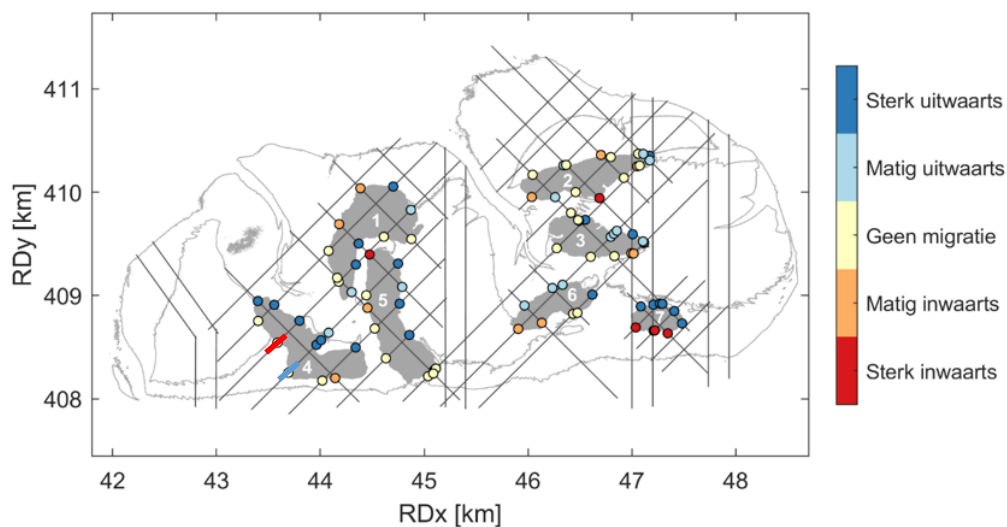


Figuur B1-67: Locaties oesterriffen op de Roggenplaat vóór aanleg van de suppleties in 2018-2019 en na aanleg 2020-2021.

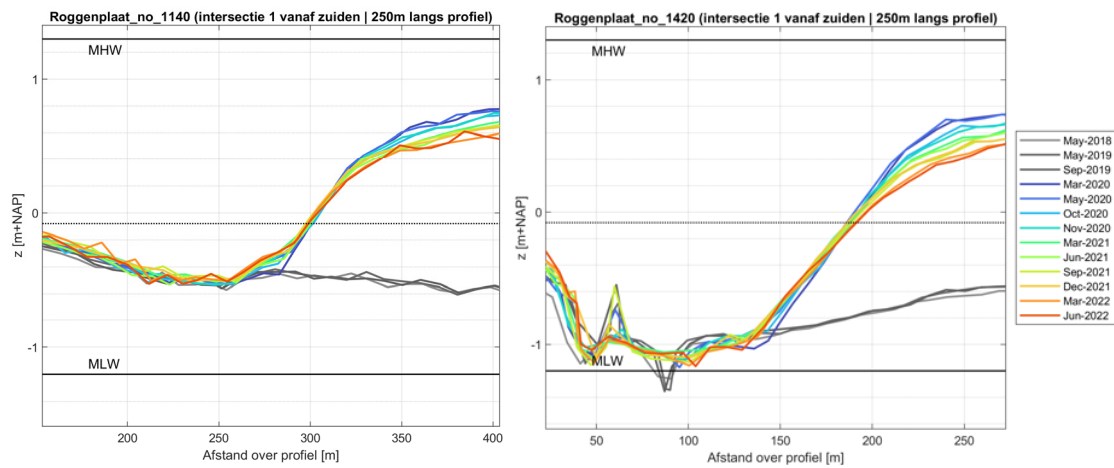


*Figuur B1-68: Locaties oosterriffen na aanleg (2020-2021) in groen, aangegeven op de verschilkaart van de LiDAR metingen tussen 26 Februari 2022 en 7 Februari 2020.*

Analyse wijst uit dat de oosterriff-locaties zelf stabiel blijven na het plaatsen van de suppletie-elementen. Figuur B1-68 toont bijvoorbeeld beperkte veranderingen in hoogteligging binnen de rif-contouren. De morfologische ontwikkeling van de zones daaromheen (suppleties en de rest van de Roggenplaat) zijn op het oog niet te relateren aan de aanwezige oosterriffen. Bijvoorbeeld, binnen suppletie-element 4 is wel een ruimtelijke variatie in erosie zichtbaar, maar de patronen in de nabijheid van het rif zijn niet zichtbaar anders dan elders op de suppletie. Een kwalitatieve bepaling van de horizontale migratie van de suppletieranden op basis van de RTK raaimetingen (Figuur B1-69) laat ook geen afwijkend patroon zien voor de locaties aangrenzend aan oosterriffen. Zie als voorbeeld twee raaien van de zuidwestrand van suppletie 4, waarvan er één in de schaduwzone ligt van een oosterriff (Figuur B1-70). In beide raaien is erosie zichtbaar van de bovenste delen van de suppletie, en iets van aanzanding aan de voet van de suppletie. Er is kwalitatief gezien geen noemenswaardig verschil tussen de twee locaties wat betreft de lokale bodemhelling, hoogteontwikkeling of migratie van de suppletierand. Er is dus geen aanwijzing voor een effect van de oosterriffen op de ontwikkeling van de suppleties. Dit komt waarschijnlijk doordat de top van de riffen ruim een meter lager ligt dan de top van de suppleties en een schaduw effect (golfdemping) dus beperkt zal zijn. Dit wil niet zeggen dat oosterriffen helemaal geen effect hebben op de suppleties. Een eventueel effect is alleen te klein om met de beschikbare data aan te tonen.



*Figuur B1-69: Horizontale migratie van de suppletierand tussen 2020 en 2022. Dit volgt uit een kwalitatieve, visuele beschouwing van de profielen waarin de mate van migratie relatief is beschouwd voor de verschillende profielen. Met RTK raaien aangegeven in grijs, met in blauw het deel van RTK raai 1420 en in rood het deel van raai 1140 die in Figuur B1-70 zijn weergegeven.*



Figuur B1-70: Deel van RTK raai 1140 dat in de schaduwzone van een oesterrif ligt (links) en deel van RTK raai 1420 dat niet in de schaduwzone van een oesterrif ligt (rechts). Zie Figuur B1-69 voor de ligging van deze raai-segmenten.

---

# Bijlage 2 Ontwikkeling van bodemdieren op de Roggenplaat en de suppleties

<b>Bijlage 2</b>	<b>Ontwikkeling van bodemdieren op de Roggenplaat en de suppleties</b>	<b>111</b>
B2.1	Inleiding	112
	B2.1.1. Opbouw hoofdstuk	112
	B2.1.2. Onderzoeksvragen	112
B2.2	Methodologie	112
	B2.2.1. Omschrijving van de analyses t.b.v. de kennisvragen	112
	B2.2.2. Bodemdieren basisgegevens	113
	B2.2.1. Omgevingsfactoren	114
	B2.2.2. Selectie van locaties als referenties bij de analyse naar de ecologische ontwikkeling op de suppleties	115
	B2.2.3. Gegevensverwerking en statistische analyse	119
B2.3	Achtergrond: relatie tussen de bodemdieren en de omgevingsfactoren in de intergetijdengebieden van de Oosterschelde	120
B2.4	Achtergrond: ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de zandsuppletie van de Galgenplaat	122
B2.5	Hoe ontwikkelt de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) zich op de Roggenplaat na uitvoering van de suppletie	123
	B2.5.1. Temporele variatie in de bodemdierengemeenschappen op de Roggenplaat	123
B2.6	Ecologische ontwikkelingen op de suppleties	128
B2.7	Analyse naar het voorkomen en ontwikkeling van bodemdieren-gemeenschappen op de Roggenplaat	133
	B2.7.1. Relaties tussen het voorkomen van de bodemdierengemeenschap en de omgevingsfactoren.	133
	B2.7.2. Ontwikkeling van de bodemdieren op de suppleties in relatie tot de omgevingsfactoren	136
	B2.7.3. Effect van het 'primen' op de herkolonisationsnelheid van een suppletie	138



---

## B2.1 Inleiding

### B2.1.1. Opbouw hoofdstuk

In dit hoofdstuk worden de resultaten getoond van de toestand en ontwikkeling van de bodemdiergemeenschappen op de Roggenplaat en de suppleties op basis van de metingen die zijn uitgevoerd in de periode 2015 tot en met 2022 (T3). Allereerst wordt in paragraaf B2.2 de methodologie van de analyses van dit hoofdstuk uiteengezet met als onderdelen de omschrijving van: de analyses (B2.2.1), de bodemdieren basisgegevens (B2.2.2), de omgevingsfactoren (B2.2.1) en de gegevensverwerking (B2.2.2).

Hierna volgen twee paragrafen met achtergrondinformatie van bestaande kennis over de ecologie van bodemdieren in intergetijd gebieden en in aanwezigheid van suppleties: Paragraaf B2.3 geeft een actuele stand van kennis over de relatie tussen de bodemdieren en de omgevingsfactoren in de intergetijdgebieden van de Oosterschelde. Paragraaf B2.4 toont de ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de zandsuppletie van de Galgenplaat.

Vervolgens komt de beantwoording van de onderzoeksvragen (geformuleerd in paragraaf B2.1.2) aan bod. De evaluatievragen worden behandeld in paragrafen B2.5 en B2.6, die een evaluerend karakter hebben. Daarna worden in paragraaf B2.7 de analyses ter beantwoording van de kennisvragen doorlopen, die een verklarend doel dienen.

### B2.1.2. Onderzoeksvragen

Onderstaande ecologische onderzoeksvragen zijn behandeld in deze bijlage. Deze zijn, beperkte herformuleringen daargelaten, conform het monitoringsplan (Ysebaert et al., 2016).

#### **Evaluatievragen:**

1. Hoe ontwikkelt de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) zich op de Roggenplaat na uitvoering van de suppletie? (paragraaf B2.5)
2. Hoe ontwikkelt de bodemdierengemeenschap zich op de afzonderlijke suppletie-elementen? (paragraaf B2.6)

#### **Kennisvragen:**

1. Wat is de relatie tussen het voorkomen van bodemdieren op de Roggenplaat en de factoren droogvalduur, hydrodynamiek en/of sedimentsamenstelling? (paragraaf B2.7.1)
2. Is de ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de suppleties gerelateerd aan veranderingen in droogvalduur, hydrodynamiek, sedimentsamenstelling, etc.? (paragraaf B2.7.2)
3. Kan de kolonisationsnelheid van een suppletie bevorderd worden door het 'primen' van de suppletie met een levende bodemdierengemeenschap? (paragraaf B2.7.3)

## B2.2 Methodologie

### B2.2.1. Omschrijving van de analyses t.b.v. de kennisvragen

Drie analyses zijn uitgevoerd ter beantwoording van de kennisvragen:

1. Analyse van de relatie tussen de bodemdierengemeenschappen op de Roggenplaat (buiten de suppleties) en de omgevingsfactoren (droogvalduur, hydrodynamiek en/of sedimentsamenstelling) door de jaren heen.
2. Analyse van de ontwikkeling van de bodemdieren op de suppleties in relatie tot de veranderingen in de omgevingsfactoren door middel van een BACI-benadering toegepast op de suppletie locaties (**I**mpact) en nabijgelegen locaties (**C**ontrol) voor (**B**efore) en na (**A**fter) aanleg van de suppleties.

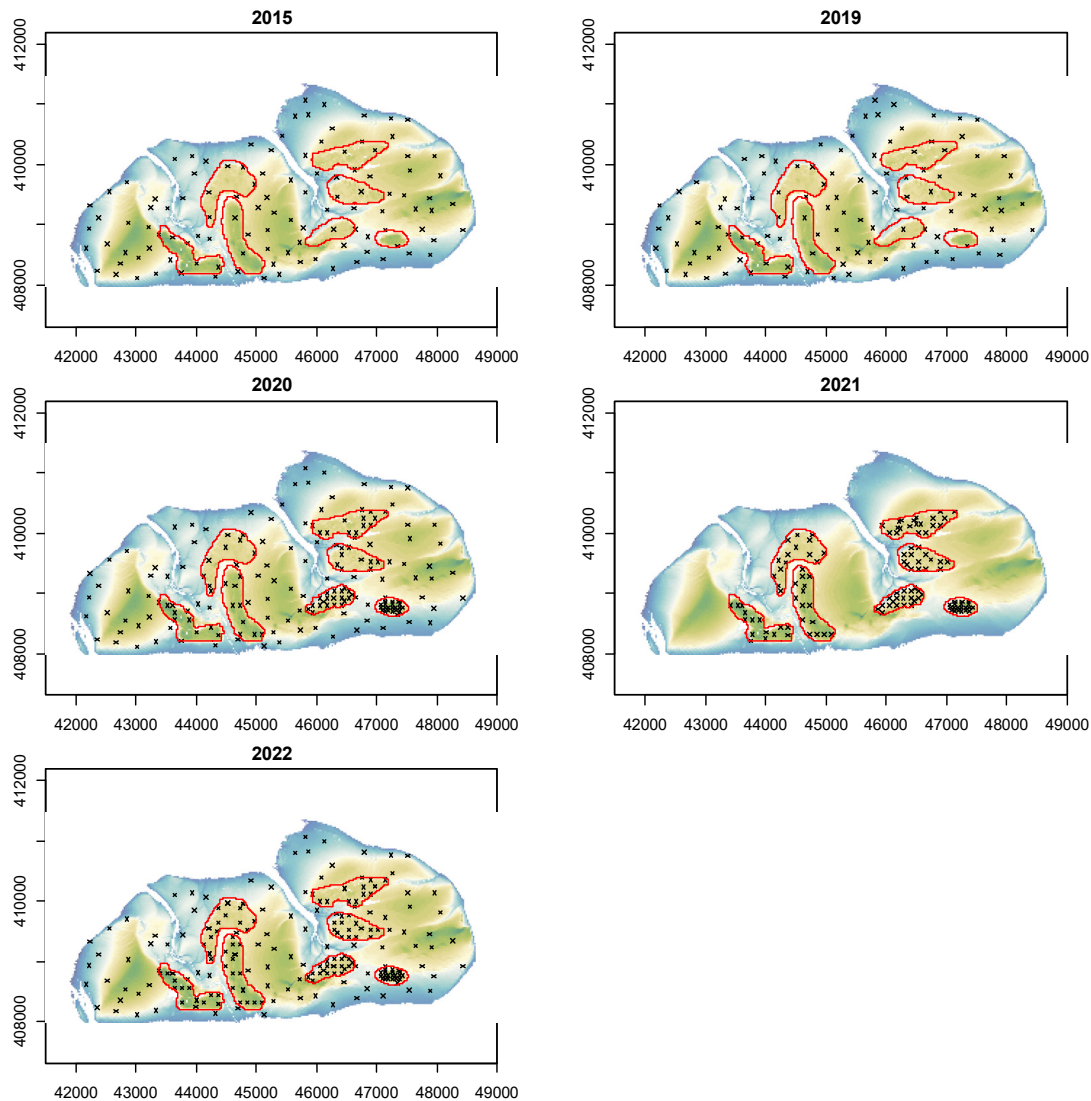
- 
3. Als apart onderdeel (pilot op suppletie-element S2) in het monitoringsplan, analyse van de ontwikkeling van de bodemdieren in vakken (50x100m) met vier verschillende behandelingen: **1: Priming** = toevoeging van gebiedseigen sediment, incl. bodemleven op de suppletie, **2: Kokkels**= kokkels aangebracht op het gesuppleerde sediment, **3: Suppletie**= op de suppletie, zonder aanvullende behandeling, **4: Referentie**= buiten de suppletie. Omdat op het moment van het schrijven van deze rapportage nog niet alle monsters zijn verwerkt, worden hier de voorlopige resultaten gepresenteerd op basis van de monsters verzameld een jaar na de priming.

#### B2.2.2. Bodemdieren basisgegevens

Om tot een typering van de voedselbeschikbaarheid voor steltlopers te komen is gebruik gemaakt van een kwantitatieve benthos monitoring waarmee een groot aantal soorten reproduceerbaar wordt verzameld. De biomassa van de benthos is een proxy voor de voedselbeschikbaarheid voor vogels. De relaties tussen benthos biomassa en vogels zijn soort-specifiek en waarschijnlijk afhankelijk van de lokale context zoals sediment eigenschappen en geomorfologie.

De bodemdiermonsters zijn verzameld m.b.v. steekbuizen (2x 10 cm doorsnede, tot 30 cm diep) en gezeefd over een 1 mm zeef voor latere determinatie van de bodemdiersoorten, -dichtheid en -biomassa in het laboratorium. Om rekening te houden met voortschrijdend inzicht in de taxonomie en t.g.v. de interne consistentie tussen de monsterjaren wordt de soortenlijst gecontroleerd door middel van de "Taxon match" routine beschikbaar op de site van de World Register of Marine Species (<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=match>). De monsternamen en lab-determinatie gaan tot aan de bepaling van individuele dichtheid en biomassa per soort conform de protocollen voor de MWTL, welke uitvoerig zijn beschreven in het monitoringsplan (Ysebaert et al., 2016, §5.4).

De bemonstering is uitgevoerd in de jaren 2015, 2019, 2020, 2021 en 2022. In tegenstelling tot de andere jaren, waar de bemonstering over de gehele Roggenplaat is uitgevoerd, is in 2021 de bemonstering beperkt tot de suppleties. In totaal zijn er 749 monsters beschikbaar voor analyse verdeeld in 113, 112, 185, 120, en 219 monsters verzameld respectievelijk in 2015, 2019, 2020, 2021 en 2022 (Figuur B2-1).



Figuur B2-1. Locaties bemonsterd voor de kwantitatieve benthos monitoring tussen 2015 en 2022 op de Roggenplaat. De contouren van de zeven suppleties zijn weergegeven op alle kaarten maar waren slechts aanwezig vanaf de bemonstering in 2020 (Achtergrondkaart: LiDAR 2020).

### B2.2.1. Omgevingsfactoren

Als verklaring voor de verspreiding van de bodemdiersoorten is gebruik gemaakt van de volgende omgevingsfactoren (benaming zoals gebruikt in de grafische weergave):

**Sediment:** Volumetrisch percentage van de sediment deeltjes kleiner dan  $63 \mu\text{m}$  (**Slib**) en sedimentaire mediane korrelgrootte als 50<sup>ste</sup> percentiel van de sferisch equivalent doorsnede in  $\mu\text{m}$  (**Med\_mu**) op basis van de sediment monsters (top 3 cm) verzameld tijdens de benthosbemonstering. De analyse van de sedimentsamenstelling van de monsters (gezeefd op een 2mm zeef, zonder chemische behandeling) is uitgevoerd met behulp van een laser diffractie methode waar sediment deeltjes beschouwd zijn als sferische objecten (Malvern® en de Mie methode conform MWTl protocol).

---

**Geomorfologie:** De hoogteligging van de Roggenplaat (**Lidar**) is bepaald op basis van de jaarlijkse LIDAR (LIght Detection And Ranging of Laser Imaging Detection And Ranging) opnamen tijdens laagwater (Meetmethode beschreven in B1.2.2).

De droogvalduur (**DVD**) is geëvalueerd met behulp van LiDAR hoogtekaarten, omgezet naar droogvalduur (zie Bijlage 3 in Walles et al. (2021)). Areaal droogvalduur is bepaald door de bodemligging te combineren met de cumulatieve verdeling van de waterstanden (Bijlage 3 in Walles et al., 2021).

**Hydrodynamica:** Hiervoor is gekeken naar de grote en frequentie van blootstelling aan de getijstrooming. De ondergrens van de hoogste 5 percentielwaarden voor getijstromen (**ms5prctl**) en de frequentie van overschrijding van 60 cm/s voor getijstromen (**Frq60cms**) uit model simulaties opgeleverd door Deltares (Lodewijk de Vet, pers. com.) zijn hiervoor gebruikt.

Dit betreffen simulaties over twee spring-doodtij cycli (15 jan – 14 feb 2015) waarbij de bodems varieerden (bathymetrie voor de jaren 2013, 2019 en 2020) en waarbij de randvoorwaarden (wind, getij) gelijk zijn gehouden. Het model is gevalideerd voor de simulatieperiode 2015. Door deze aanpak zijn de berekende verschillen in de parameters tussen de verschillende simulaties uitsluitend het gevolg van verschillen in morfologie en niet van jaarlijkse variaties in meteorologische condities.

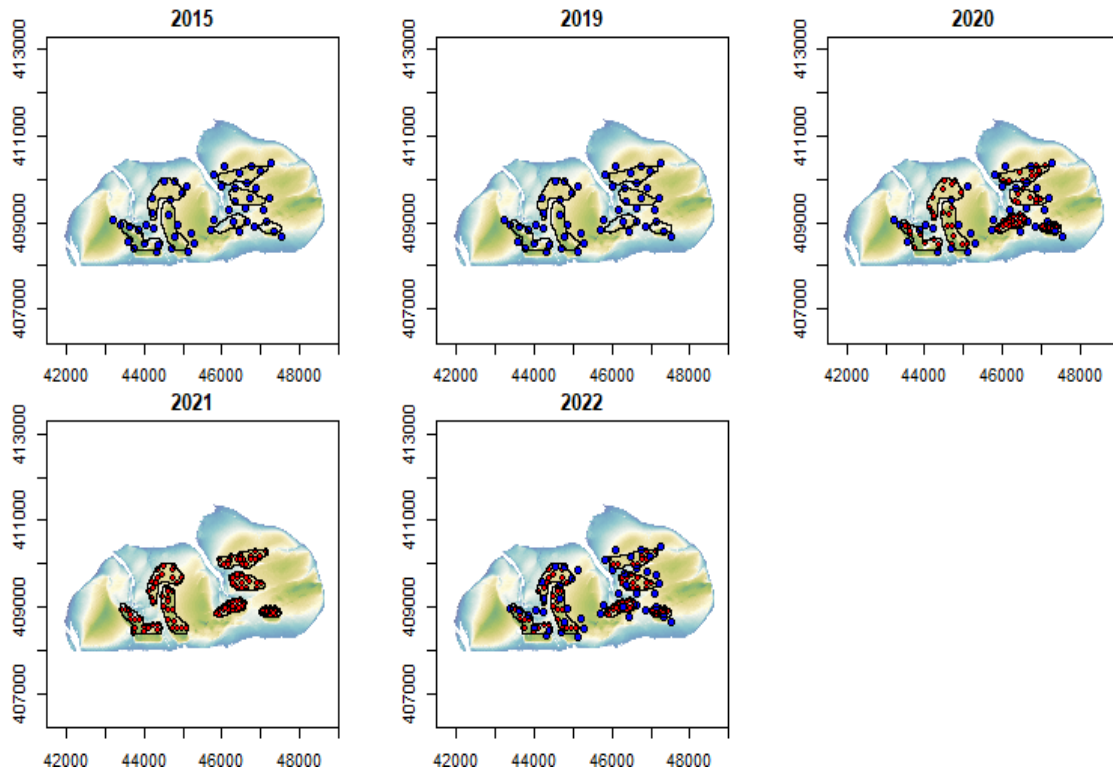
**ms5prctl** is berekend op basis van de model output '*ExceededBy\_3\_tides*', de piek snelheid (m/s) dat is overschreden in 3 van de 57, oftewel *ca.* 5%, van de getijcycli gebruikt voor de simulatie.

**Frq60cms** is het omgekeerde (1-F) van de fractie van getijden met een piek snelheid (m/s) dat lager is dan 0.6 m/s (*FracTidesLowerThan\_0\_6\_ms*). Gebieden met stroomsnelheden hoger dan 0.6 m/s zijn beschouwd als hoog hydrodynamisch (Lodewijk de Vet, pers. com.) en Frq60cms meet dus de frequentie van hoge hydrodynamische omstandigheden.

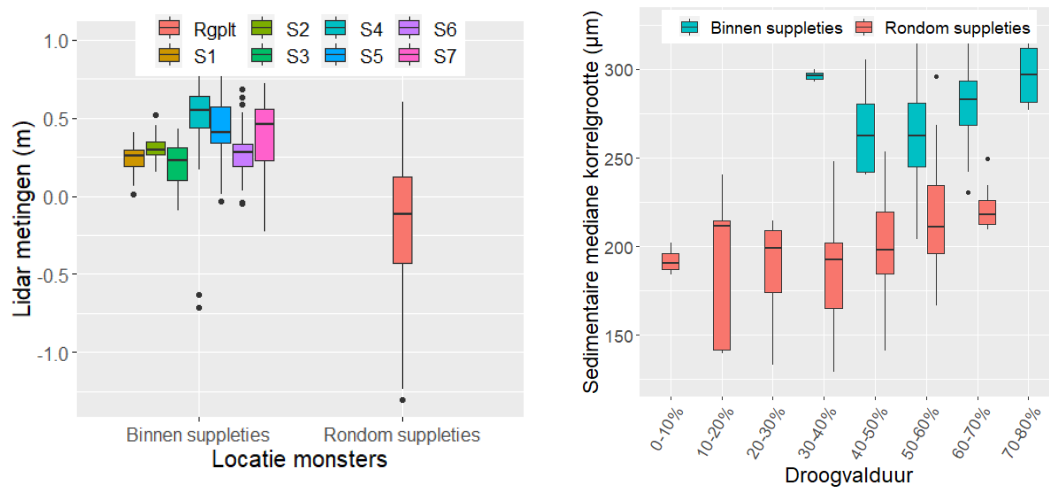
#### B2.2.2. Selectie van locaties als referenties bij de analyse naar de ecologische ontwikkeling op de suppleties

In de oorspronkelijke benadering gekozen bij de aanvang van het project werd gezocht naar locaties in de directe nabijheid (binnen 200 m) van de suppleties om te dienen als referenties voor het meten van de effecten van de suppleties vergeleken met gebieden buiten de ingreep (Figuur B2-2).

Na inspectie van de waarden van sedimentsamenstelling en hoogteligging/droogvalduur (Figuur B2-3) blijkt dat de abiotische condities op de referentielocaties anders zijn (lagere bodemhoogte en fijner sediment) dan op de suppleties.



Figuur B2-2. Oorspronkelijke selectie van locaties bedoeld als referentie locaties (blauwe symbolen) in de direct nabijheid van de suppleties (rode symbolen zijn monsters op de suppleties).



Figuur B2-3. Links hoogteliggingen (Lidar metingen) en rechts mediane korrelgrootte als functie van de droogvalduur op de suppleties (S1 tot S7 of 'Binnen suppleties') en op de oorspronkelijke selectie van referentie locaties (Rgplt of "Rondom suppleties").

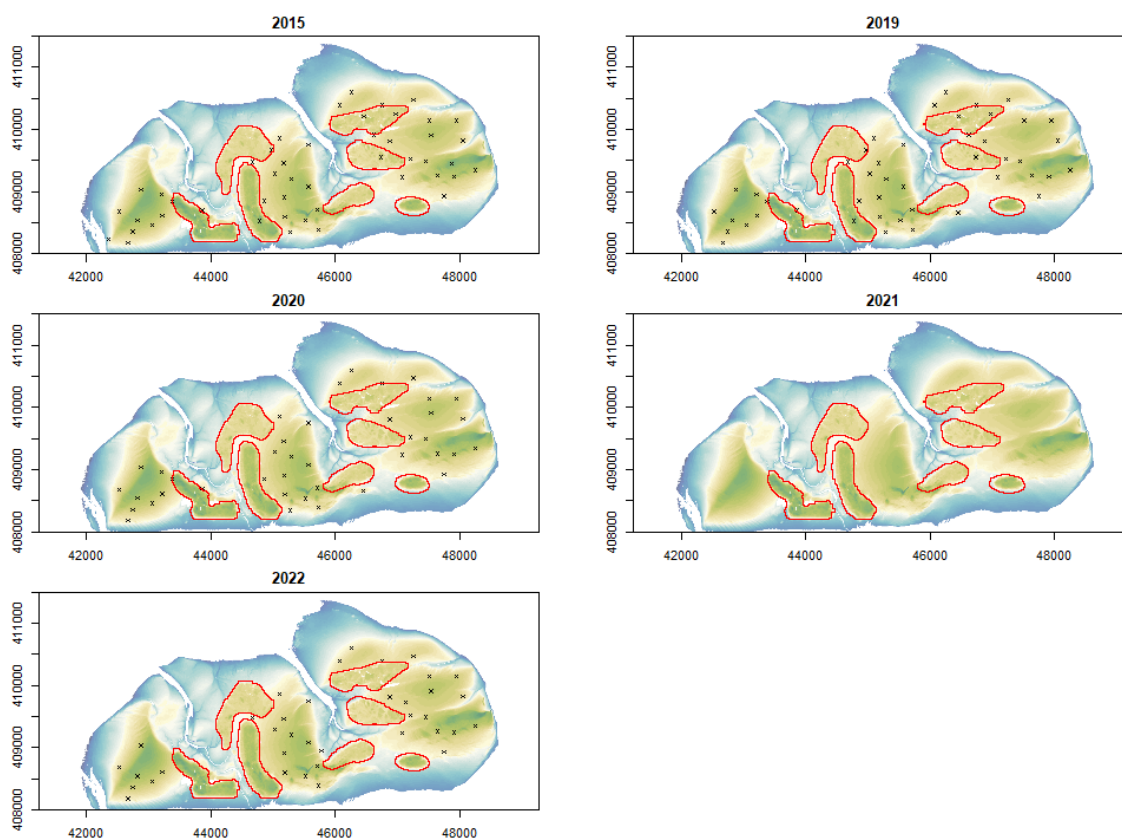
Gezien het belang van droogvalduur voor de bodemdieren gemeenschappen, blijkt dat een vergelijking tussen deze twee reeksen van gegevens geen goede aanpak is om de vraag te beantwoorden. Daarom is er besloten om locaties te zoeken op de Roggenplaat binnen dezelfde droogvalduurklasse dan de suppleties.

Tabel B2-1 geeft het aantal monsterlocaties binnen elke droogvalduurklasse die zich bevinden op dan wel buiten de suppleties. De referentie locaties zijn vervolgens in de droogvalduurklassen 50-60% en 60-70% gezocht waar de meeste suppletie locaties gevonden zijn.

Tabel B2-1. Aantal monsterlocaties (alle jaren samen) binnen de verschillende droogvalduurklassen verzameld op de suppleties en daarbuiten.

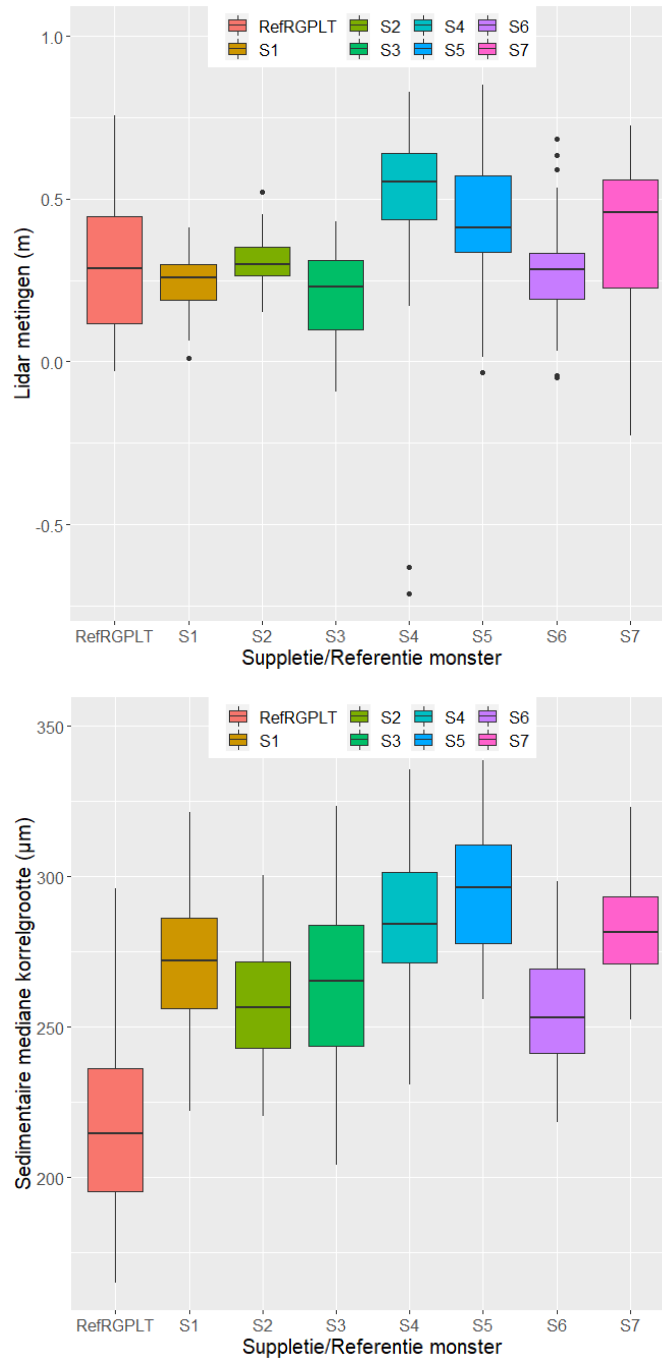
DVD	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%
Aantal locaties op Suppleties	0	0	0	2	9	207	98	4
Aantal locaties buiten Suppleties	6	27	32	60	114	107	64	3

In totaal zijn er 171 locaties geselecteerd waarvan 107 en 64 in droogvalduurklassen 50-60% en 60-70% respectievelijk met een evenredige verdeling tussen de jaren 2015 (48), 2019 (46), 2020 (40) en 2022(37).



Figuur B2-4. Weergave van de locaties ('RefRGPLT') verzameld in tussen 2015 en 2022 gebruikt als referentie voor de suppleties. In 2015 en 2019 (vóór de aanleg) bevinden een paar locaties zich binnen de toekomstige ligging van de suppleties. In 2021 heeft geen bemonstering buiten de suppleties plaatsgevonden.

De locaties ('RefRGPLT') aangewezen als referenties voor de suppleties liggen wel op afstand van de suppleties maar in gebieden met droogvalduren tussen 50 en 70% die overeenkomen met de droogvalduur op de suppleties. De locaties zijn verdeeld in drie groepen rondom de hoger gelegen gebieden aan de oostelijke en westelijke kant en in het midden van de Roggenplaat (Figuur B2-4).



*Figuur B2-5. Boven, hoogteligging (Lidar metingen); Onder, mediane korrelgrootte van de referentie locaties (RefRGPLT) en van de suppleties (S1 tot S7) alle jaren samen.*

Waar de hoogteligging van de referentielocaties goed overeenkomt met die op de suppleties is de mediane korrelgrootte op de referentie locaties duidelijk lager (tussen 200 en 225 µm) dan de op de suppleties (tussen 225 en 325 µm, Figuur B2-5). De korrelgrootte neemt bovendien toe samen met de hoogteligging van de suppleties gaande van suppleties S3, S2, S6, S5, S1, S7 en S4. Deze positieve relatie tussen korrelgrootte en hoogteligging is ook waargenomen buiten de suppleties (Figuur B2-3). De rangschikking van de suppleties op basis van hoogteligging en korrelgrootte komt ook overeen met de toenemende aanlegdikte tussen de suppleties (Tabel B1-9).

---

### B2.2.3. Gegevensverwerking en statistische analyse

De bodemdierengemeenschappen zijn beschreven op basis van de volgende indicatoren:

- Totale dichtheid N/m<sup>2</sup>, biomassa (AFDW g/m<sup>2</sup>) en aantal soorten.
- Taxonomische samenstelling op basis van dichtheden geaggregeerd op het niveau van de klassen (wormen, schelpdieren, schaaldieren overige);
- Selectie van vogel prooi-soorten o.b.v. Swarts et al (2011): *Crangon*, *Carcinus*, *Arenicola*, *Nereis*, *Cerastoderma*, *Mya*, *Mytilus*, *Crassostrea* en Leopold et al (2004): *Hydrobia*, *Spisula*, *Lanice*, *Scrobicularia*, *Corophium*, *Capitella*, *Palaemonetus*, *Scoloplos*, *Heteromastus*, *Scololepis*, *Macoma*, *Nephtys*, *Ensis*. Voor de analyse zijn deze dichtheden van deze soorten geaggregeerd in de volgende groepen:
  - **Kokkels:** *Cerastoderma edule*
  - **Schaaldieren:** *Crangon crangon*, *Carcinus maenas*, *Corophium arenarium*, *Gammarus* sp., *Gammarus locusta*
  - **Wadpieren:** *Arenicola marina*
  - **Zeeduizendpoten:** *Hediste diversicolor*, *Alitta succinea*, *Alitta virens*, *Nereidinae* sp., *Malacoceros tetracerus*
  - **Nonnetjes:** *Macoma balthica*
  - **Overig\_Schelpdieren:** *Scrobicularia plana*, *Ensis* sp., *Ruditapes philippinarum*, *Ruditapes* sp.
  - **Wadslakjes:** *Hydrobia*, *Peringia ulvae*
  - **Overig Wormen:** *Lanice conchilega*, *Capitella* sp., *Capitellidae*, *Scoloplos armiger*, *Heteromastus filiformis*, *Nephtys cirrosa*, *Nephtys hombergii*

Bij de analyse tussen de bodemdieren indicatoren en de omgevingsfactoren wordt veelal gebruikt gemaakt van boxplots waarmee verschillen tussen groepen van gegevens visueel beoordeeld kunnen worden door de weergave van de statistische percentielwaarden.

Multivariate analyse (RDA, Redundantieanalyse) is gebruikt als verkenningsmiddel om de relaties tussen de bodemdiergemeenschappen en de omgevingsfactoren te bepalen. De RDA is een ordinatiemethode waarbij een hoofdcomponentenanalyse (PCA) wordt gecombineerd met een regressieanalyse waarmee de relatie tussen individuele soorten dichtheid, monsterlocaties en de omgevingsfactoren worden berekend en grafisch weergegeven.

Voor deze RDA is gebruik gemaakt van de dichtheden van de soorten na een dubbelwortel transformatie om de onevenredige invloed van de talrijke soorten t.o.v. van de overige soorten te verminderen. Slechts de soorten die voorkomen in meer dan 5% van de monsters zijn meegenomen in de analyse om de effecten van 'toevaltreffers' te verminderen. De omgevingsfactoren zijn gestandaardiseerd (allen tussen 0 en 1) zodat verschillen in het numerieke bereik van de verschillende indicatoren geen invloed kunnen hebben op het resultaat zoals voor 'ms5prctl' met waarden tussen 0.24 en 0.87 en Med\_mu tussen 80 en 350.

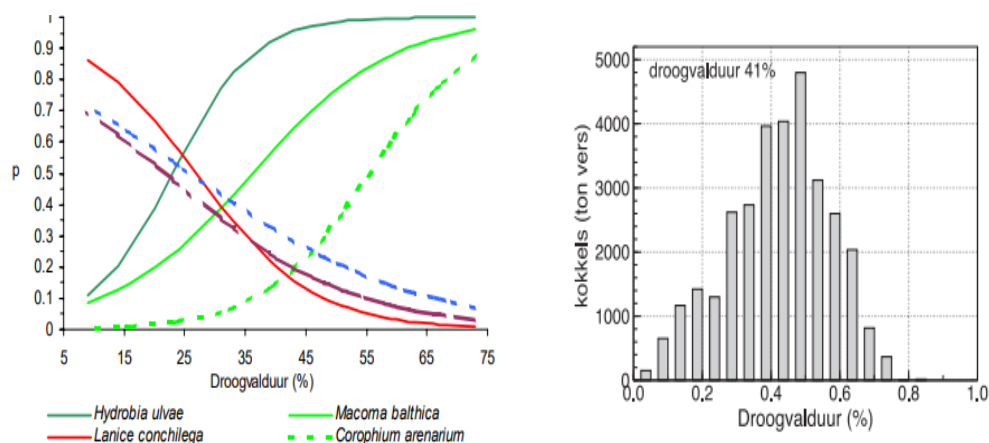


## B2.3 Achtergrond: relatie tussen de bodemdieren en de omgevingsfactoren in de intergetijdgebieden van de Oosterschelde

Om een goed onderbouwd antwoord te kunnen geven op de eerste evaluatievraag is het van belang om de waargenomen veranderingen in de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) te kunnen relateren aan de omgevingsfactoren. Het identificeren van dergelijke causale verbanden draagt bij aan een beter begrip van de ecologie van de bodemdieren en aan een verhoging van ons voorspellings-vermogen m.b.t. toekomstige ontwikkelingen.

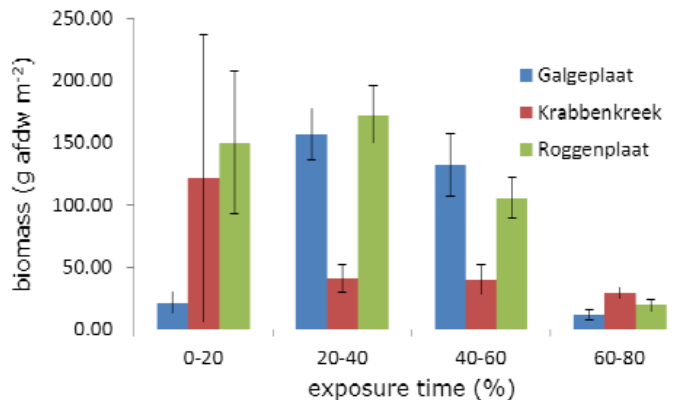
De eerste kennisvraag doelt op de definitie van de relaties tussen het voorkomen van de bodemdiengemeenschappen en de dominante omgevingsfactoren op de Roggenplaat. Er is al een omvangrijke verzameling van ecologische studies naar de relaties tussen bodemdieren en de omgevingsfactoren in intertidale gebieden verzameld in een vorige rapportage (de Vet et al., 2023). Hieronder een samenvatting van de resultaten uit deze eerdere studies die leidend zijn voor de huidige analyse; een uitgebreide beschrijving van deze resultaten is beschikbaar in de Vet et al. (2023).

De ruimtelijke verdeling van bodemdieren in de intergetijdgebieden van de Oosterschelde is sterk beïnvloed door de droogvalduur (Figuur B2-6) met soorten die de voorkeur hebben voor gebieden met korte droogvalduur zoals de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*), de strandgaper (*Mya arenaria*) en de alikruik (*Littorina littorea*). Andere soorten zoals het nonnetje (*Macoma balthica*) de slijkgarnaal (*Corophium arenarium*) en het wadslakje (*Hydrobia ulvae*, nu *Peringia ulvae* genoemd) hebben juist de voorkeur voor gebieden met een lange droogvalduur. Een derde groep van soorten zoals kokkels hebben een voorkeur voor gebieden met een intermediaire droogvalduur (Figuur B2-6).



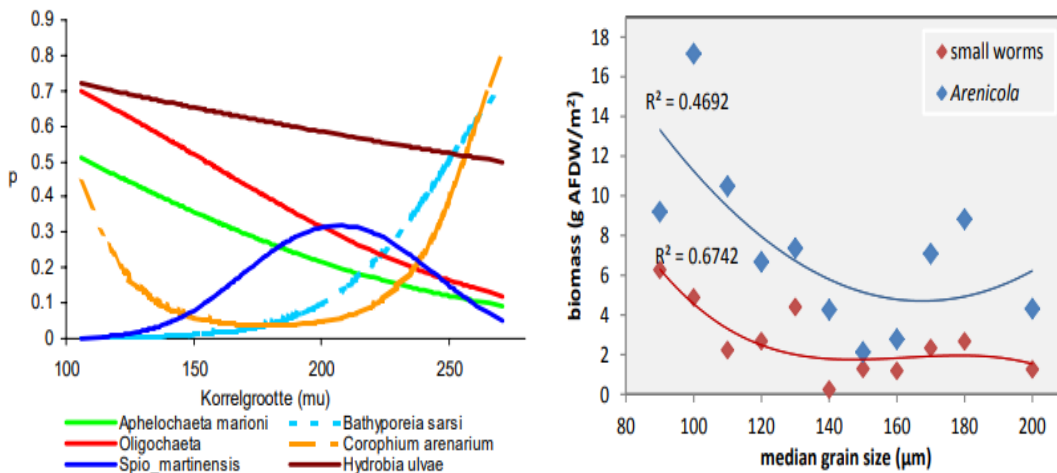
Figuur B2-6. Links: Trefkans voor bodemdieren soorten als functie van droogvalduur (%) in de Oosterschelde (Escaravage et al., 2003). Rechts: Verdeling van kokkelbiomassa (na de zomergroei) over droogvalduurklassen (Rappoldt et al., 2006)

De invloed van droogvalduur op de soortensamenstelling van de bodemdieren vertaalt zich ook in sterke variatie in bodemdierbiomassa en dus voedselbeschikbaarheid voor vogels (Figuur B2-7) als functie van de droogvalduur.



Figuur B2-7. Totale bodemdieren biomassa op de Galgeplaat, Krabbenkreek en Roggenplaat voor verschillende klassen van droogvalduur (Troost & Ysebaert, 2011).

Naast de droogvalduur, suggereren de verschillen in de relatie tussen de bodemdierbiomassa en de droogvalduur voor de verschillende gebieden in de Oosterschelde in Figuur B5-3 (Troost & Ysebaert, 2011) de bijdrage van andere factoren voor het verklaren van de bodemdierbiomassa. Zoals eerder beschreven voor de droogvalduur zorgt ook de sedimentsamenstelling voor verschuivingen in soortensamenstelling en significante verschillen in bodemdieren biomassa (Figuur B2-7).



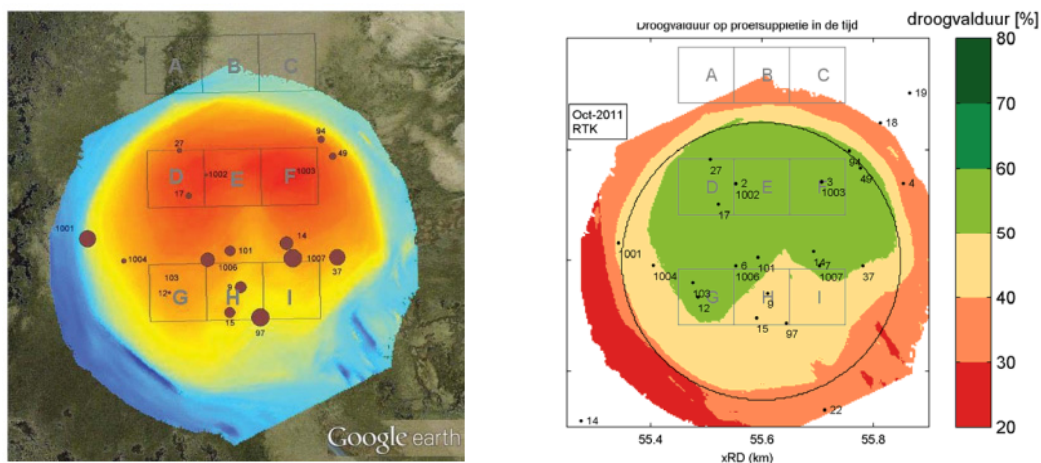
Figuur B2-8. Links: Trefkans voor bodemdieren soorten als functie van de mediane korrelgrootte (Escaravage et al., 2003). Rechts: Biomassa van wadpieren (*Arenicola*) en overige kleine wormen als functie van de mediane korrelgrootte (Zwarts et al., 2011).

Waar de meeste wormen (oligochaeta, *Aphelochaeta*, *Arenicola*) en het wadslakje vaker voorkomen in gebieden met fijnere sediment worden vlokreeftjes zoals *Bathyporeia sarsi* en *Corophium arenarium* juist meer getroffen in gebieden met grover sediment (Figuur B2-8). Ook schelpdieren zoals de kokkel, het nonnetje, de strandgaper en de platte slijkgaper tonen een significante voorkeur voor slijbrijke gebieden (van der Meer, 1991).

## B2.4 Achtergrond: ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de zandsuppletie van de Galgenplaat

Eerdere studies naar de ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de zandsuppletie van de Galgenplaat bieden zeer relevante waarnemingen voor de huidige evaluatievraag en kunnen een leidende rol spelen voor de analyse. Hieronder een overzicht van de huidige kennis op basis van deze studies waarvan een uitgebreide beschrijving beschikbaar is in de Vet et al. (2023).

Drie jaar na aanleg van de suppletie op de Galgeplaat in (van der Werf et al., 2013) is de gemiddelde biomassa aan de zuidelijke en laaggelegen kant van de suppletie van dezelfde orde van grootte als in het referentiegebied. Dit was echter niet het geval voor het hoge deel ten noorden van de suppletie waar de herkolonisatie veel trager op gang is gekomen (Figuur B2-9).



Figuur B2-9. Links: Ruimtelijke verdeling van bodemdierbiomassa op de suppletie (drie jaar na het suppleren). Rechts: Droogvalduur drie jaar na aanleg van de suppletie op de Galgeplaat, uit van der Werf et al. (2013).

Van der Werf et al. (2013) wijzen naar de hoeveelheid bodemvocht als een mogelijke verklarende factor voor de trage herkolonisatie op de Galgeplaat suppletie. De suppletie bestond inderdaad uit grover sediment dan oorspronkelijk voorkwam op de getijdeplaat, in combinatie met de dikte van de suppletie (vooral aan de Noordelijke kant), bleek dit grove sediment, bij laag water, een beperkte vermogen te hebben om water vast te houden zoals waargenomen door Schaap (2012).

Het negatieve effect van een grove korrelgrootte samenstelling op het waterretentievermogen van het sediment werd beschreven door Van Dusen et al. (2012). Hier beschreven ze dat na het terugtrekken van de zee het water langer bleef staan op de plaatdelen met hoge slibpercentages in vergelijking tot op de overige gebieden die sneller droog werden bij laag water en een lager slibpercentage hadden.

Deze bevindingen kunnen verklaard worden door de hydraulische conductiviteit (capillaire werking) van het sediment die sterk beïnvloed is door korrelgrootte zoals bevestigd door veldmetingen in Drabsch (1999). In de studie van Drabsch (1999) bleek een geringe toename in slib grote gevolgen te hebben op het vermogen van plaatdelen om water vast te houden bij laagwater en vervolgens op de ontwikkeling van bodemdiergemeenschap zoals voorgesteld in van der Werf et al. (2013) als verklaring voor de observaties op de Galgeplaat suppletie. Hun hypothese was gebaseerd op de resultaten in Borsje et al. (2012) waar vochtige bodems een hogere biomassa aan bodemdieren bevatten dan droge bodems.

## B2.5 Hoe ontwikkelt de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) zich op de Roggenplaat na uitvoering van de suppletie

In deze paragraaf gaan we in op de eerste evaluatievraag met betrekking tot de ontwikkeling van de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) op de Roggenplaat na aanleg van de suppleties.

### Evaluatievraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 1

Hoe ontwikkelt de voedselbeschikbaarheid voor vogels (i.e. bodemdieren) zich op de Roggenplaat na uitvoering van de suppletie?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Gelet op de grote invloed van droogvalduur op de bodemdieren en de rol van die factor voor de kwaliteit van de suppleties is de temporele ontwikkeling in de bodemdierengemeenschappen onderzocht na het ordenen van de waarnemingen op basis van droogvalduurklassen.

De laagste dichtheid, biomassa en soortenrijkdom zijn gevonden in de gebieden met de laagste droogvalduur (droogvalduurklassen 0-10% en 10-20%). De hoogste waarden van dichtheid en biomassa komen voor tussen droogvalduurklassen 50-60% en 60-70% waar soortenrijkdom hogere waarden bereikt tussen droogvalduurklassen 30-40% en 40-50%.

Buiten de suppleties blijven de totale dichtheid, biomassa en aantal soorten van de bodemdieren binnen de verschillende droogvalduurklassen op de Roggenplaat door de jaren heen vrij stabiel (Figuur B2-10). Dit is ook het geval voor de taxonomische samenstelling (Figuur B2-11, Figuur B2-12) en de biomassa van relevante prooidieren voor steltlopers (Figuur B2-13).

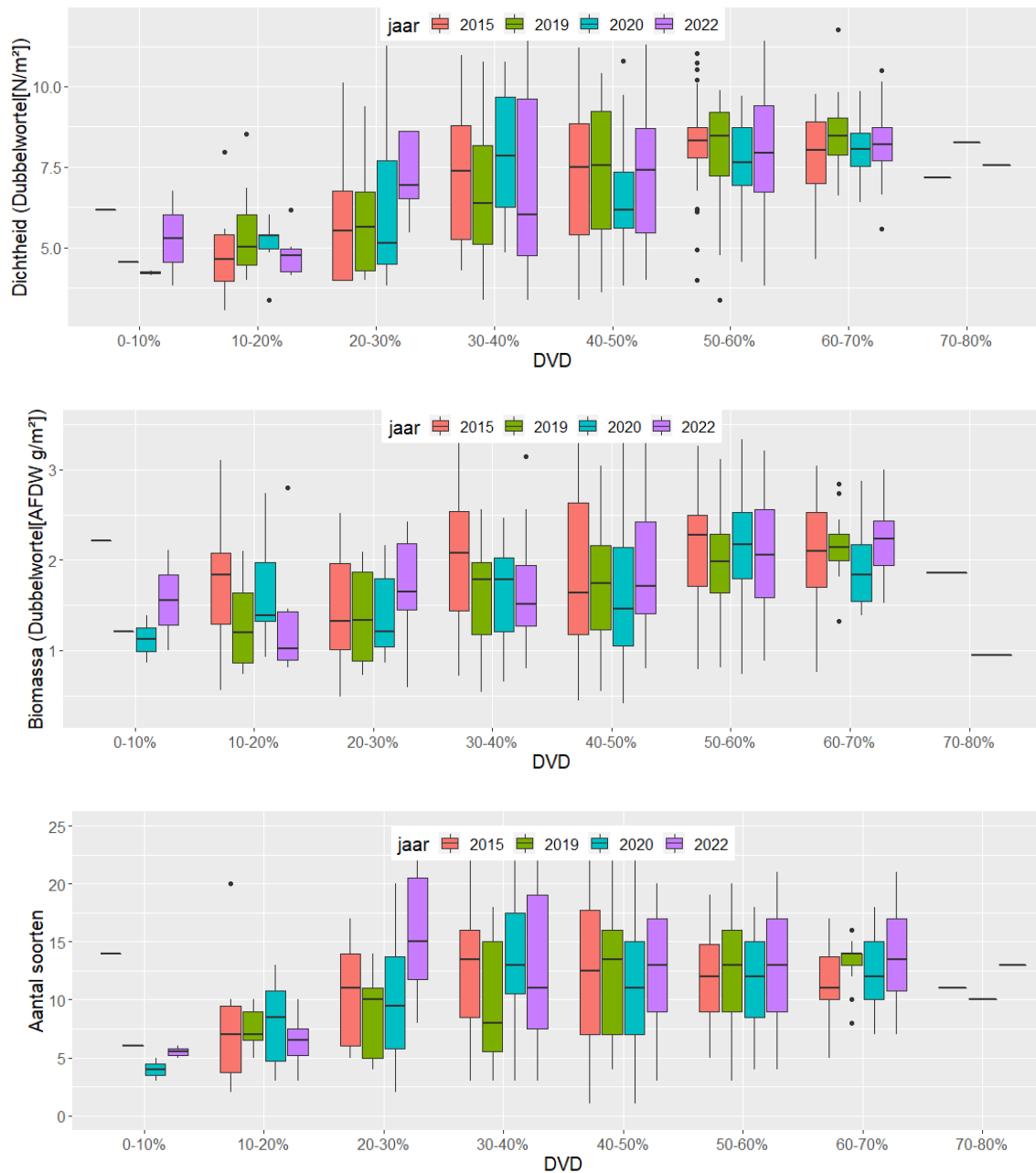
### B2.5.1. Temporele variatie in de bodemdierengemeenschappen op de Roggenplaat

Gelet op de grote invloed van droogvalduur op de bodemdieren en de rol van die factor voor de kwaliteit van de suppleties is de temporele ontwikkeling in de bodemdierengemeenschappen onderzocht na het ordenen van de waarnemingen op basis van droogvalduurklassen.

De ontwikkeling van de totale dichtheid, biomassa en aantal soorten van de bodemdieren door de jaren heen als functie van de droogvalduur zijn weergegeven in Figuur B2-10. Hieruit blijkt de variatie van de meetwaarden binnen elke droogvalduurklasse en tussen de jaren vrij hoog te zijn. Een aantal patronen kunnen wel onderscheiden worden:

De laagste dichtheid aan bodemdieren wordt gevonden in de gebieden met de laagste droogvalduur (droogvalduurklassen 0-10% en 10-20%) en neemt toe richting hogere gelegen gebieden tussen droogvalduurklassen 20-30% en 40-50% en het bereiken van de hoogste waarden tussen droogvalduurklassen 50-60% en 60-70%. Voor de biomassa komen vooral hogere waarden in droogvalduurklassen 50-60% en 60-70% duidelijk naar voren. Uit de lagergelegen gebieden springt geen duidelijke patroon uit op basis van deze waarnemingen. Ook het aantal soorten laat vooral lage waarden zien in de lagergelegen gebieden (droogvalduurklassen 0-10% en 10-20%) en bereikt hogere waarden tussen droogvalduurklassen 30-40% en 40-50%.

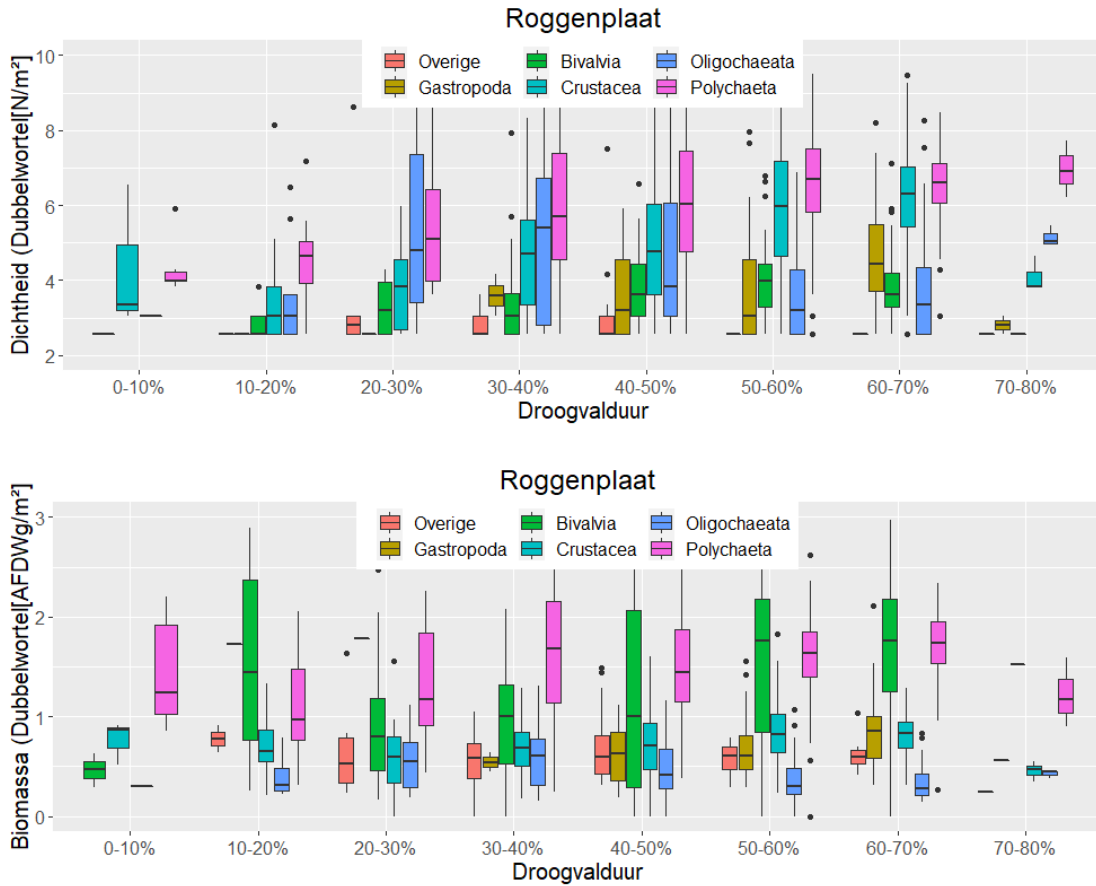
De jaar tot jaar variatie binnen elke droogvalduurklasse valt meestal binnen de ruimtelijke variatie aanwezig binnen elk gebied (overlap tussen de boxplots in Figuur B2-10). Een aantal verschillen tussen jaren springen wel in het oog zoals de afwisseling van hoge en lage biomassa in droogvalduurklasse 10-20% met relatieve hoge waarden in 2015 en 2020 t.o.v. 2019 en 2022. In het jaar 2022 komen hoge waarden van dichtheid, biomassa en aantal soorten voor in droogvalduurklasse 20-30% (Figuur B2-10).



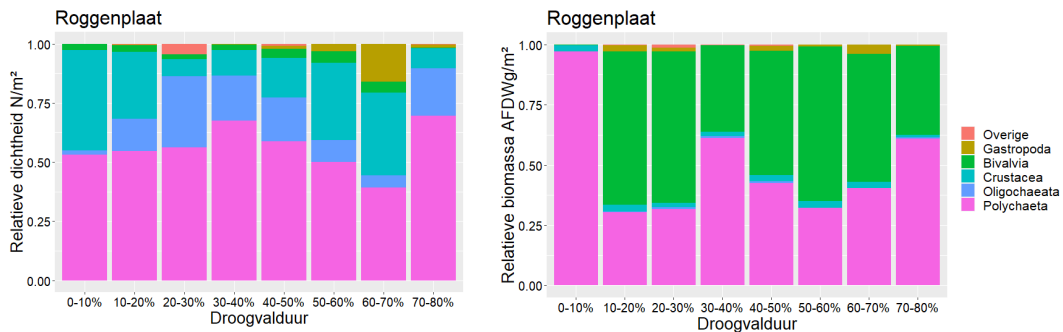
Figuur B2-10. Bodemdieren totale dichtheid ( $\sqrt{N/m^2}$ ), biomassa ( $\sqrt{AFDWg/m^2}$ ) en aantal soorten als functie van de droogvalduur (DVD) op de Roggenplaat door de jaren heen.

Het onderscheiden van de taxonomische groepen bij de weergave van de dichtheid en biomassa waarnemingen (alle jaren samen) als functie van de droogvalduur was bedoeld om de specifieke respons van de verschillende groepen op de gradiënt in droogvalduur te tonen (Figuur B2-11).

Dichtheden zijn bijna overal gedomineerd door polychaeta, samen met oligochaeta in DVD klassen 20-30% tot 40-50% en met crustacea vanaf DVD klassen 40-50% tot 60-70%. Bivalvia komen voor in DVD klassen 20-30% en samen met gastropoda tot DVD klasse 60-70%. Polychaeta vormen ook de dominante groep in bijna alle droogvalduurklassen met betrekking tot de biomassa wel samen met bivalvia in droogvalduurklassen 10-20% t/m 60-70%.



Figuur B2-11. Taxonomische klassen dichtheid ( $\sqrt{N/m^2}$ ) en biomassa ( $\sqrt{AFDWg/m^2}$ ) als functie van de droogvalduur (DVD) op de Roggenplaat met alle monsterjaren (2015, 2019, 2020, 2022) samen.



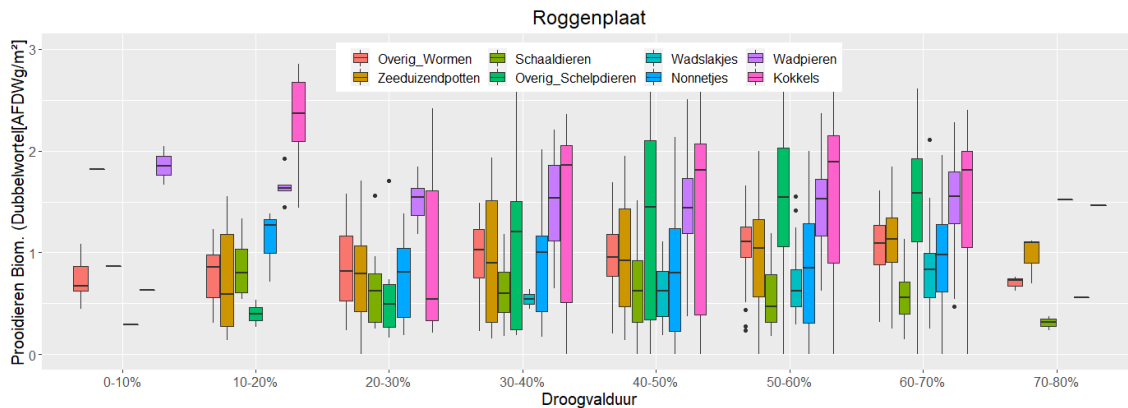
Figuur B2-12. Taxonomische verdeling als relatieve dichtheid en biomassa op basis van de gemiddelde berekend binnen elke droogvalduurklassen op de Roggenplaat voor alle monsterjaren (2015, 2019, 2020, 2022) samen.

De variatie in dichtheid en biomassa van de taxonomische groepen als functie van de droogvalduur zijn samengevat in Figuur B2-12 met waarbij de individuele dichtheden en biomassa's per taxonomische klasse zijn uitgedrukt als de relatieve bijdrage van elke groep tot de totale waarde waargenomen dichtheid en biomassa binnen elke droogvalduurklasse over alle jaren samen.

Bij de interpretatie van deze grafiek moet wel rekening worden gehouden met het feite dat slechts 6 locaties gevonden zijn in droogvalduurklasse 0-10% en 3 locaties in de droogvalduurklasse 70-80% respectievelijk. Tussen doorvalduurklassen 10-20% en 60-70% dragen de polychaeta significant bij aan de totale biomassa met hogere waarden in de middenklasse 23-40%. Waar oligochaeta hun hoogste relatieve dichtheid bereiken tussen droogvalduur klassen 20-30% en 40-50% tonen de

crustacea een tegenovergestelde patroon met de hoogste relatieve bijdrage in droogvalduurklassen 10-20% en tussen 50 en 70%. De relatieve bijdrage van de gastropoda aan de dichtheid vindt vooral plaats in droogvalduurklasse 60-70%.

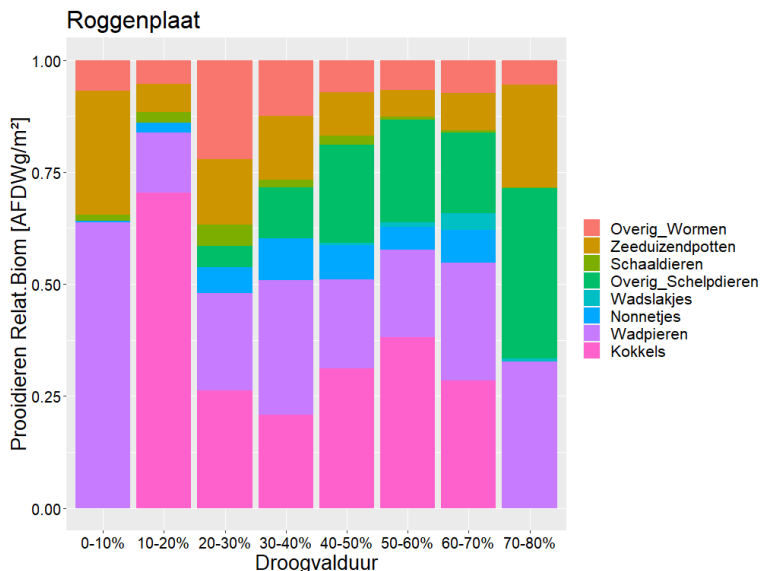
Op de onder-bemonsterde droogvalduurklassen 0-10% en 70-80% blijft de verdeling van de biomassa tussen de taxonomische klasse vrij homogeen met constante dominantie van de biomassa door de bivalvia gevolgd door de polychaeta. Slechts in droogvalduurklasse 30-40% domineren de polychaeta over de bivalvia. De andere groepen spelen geen rol van betekenis met betrekking tot de relatieve biomassa.



Figuur B2-13. Biomassa ( $\sqrt[4]{AFDWg/m^2}$ ) aan geselecteerde prooi-soorten als functie van de droogvalduur (DVD) op de Roggenplaat met alle monsterjaren (2015, 2019, 2020, 2022) samen.

De verdeling van prooidieren biomassa over de droogvalduurklassen (Figuur B2-13) laat voor een aantal groepen/soorten weinig verandering zien zoals voor de wormen (wadpieren, zeeduizendpotten en overige wormen) en de schaaldieren. Bij de groepen hieronder zijn er wel duidelijke veranderingen te zien langs de droogvalduur gradiënt:

- Kokkels en nonnetjes (wel in mindere mate) bereiken een piekwaarde in droogvalduurklasse 10-20%
- Overige schelpdieren nemen toe tussen droogvalduurklassen 10-20% en 60-70%
- Wadslakjes nemen toe tussen droogvalduurklasse 30-40% en 60-70%



Figuur B2-14. Relatieve biomassa van de geselecteerde prooi-soorten op basis van de gemiddelde berekend binnen elke droogvalduurklassen voor alle monsterjaren (2015, 2019, 2020, 2022) op de Roggenplaat samen.

---

De weergave als relatieve biomassa van de verschillende prooidieren in Figuur B2-14 geeft een samenvatting van de dominante patronen beschreven op basis van Figuur B2-13 met de piek in kokkel biomassa in droogvalduurklasse 10-20%, de toename van de overige schelpdieren tussen droogvalduurklassen 20-30% en 60-70% en de toename in wadslakjes tussen droogvalduurklassen 30-40% en 60-70%



---

## B2.6 Ecologische ontwikkelingen op de suppleties

Deze paragraaf is gericht op de tweede evaluatievraag over de ecologische ontwikkeling van de suppleties rekening gehouden met hun beoogde bijdrage aan de voedselbeschikbaarheid voor de steltlopers. Gezien het belang van de bodemdieren als voedsel voor de steltlopers, worden waarnemingen van bodemdierengemeenschappen gebruikt voor het volgen van de ecologische ontwikkeling op de suppleties.

### Evaluatievraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 2

Hoe ontwikkelt de bodemdiergemeenschap zich op de afzonderlijke suppletie-elementen?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Na een sterke afname in dichtheid biomassa en aantal soorten op alle suppleties een jaar (2020) na de suppletie nemen die drie indicatoren weer toe in 2021 en 2022 tot niveau's in de dunne suppleties die goed vergelijkbaar zijn met de waarden in de referentie locaties. De waarden van dichtheid biomassa en aantal soorten zijn hoger in de dunne (vooral S2 en S6) dan in de dikke suppleties.

De eerste jaren na de suppletie zijn vooral gekenmerkt op de suppleties door de numerieke dominantie door polychaeta en malcostraca. Tussen 2020 en 2022 neemt de bijdrage van de bivalvia aan de biomassa op de suppleties weer toe vooral op de dunste suppleties S2 en S6.

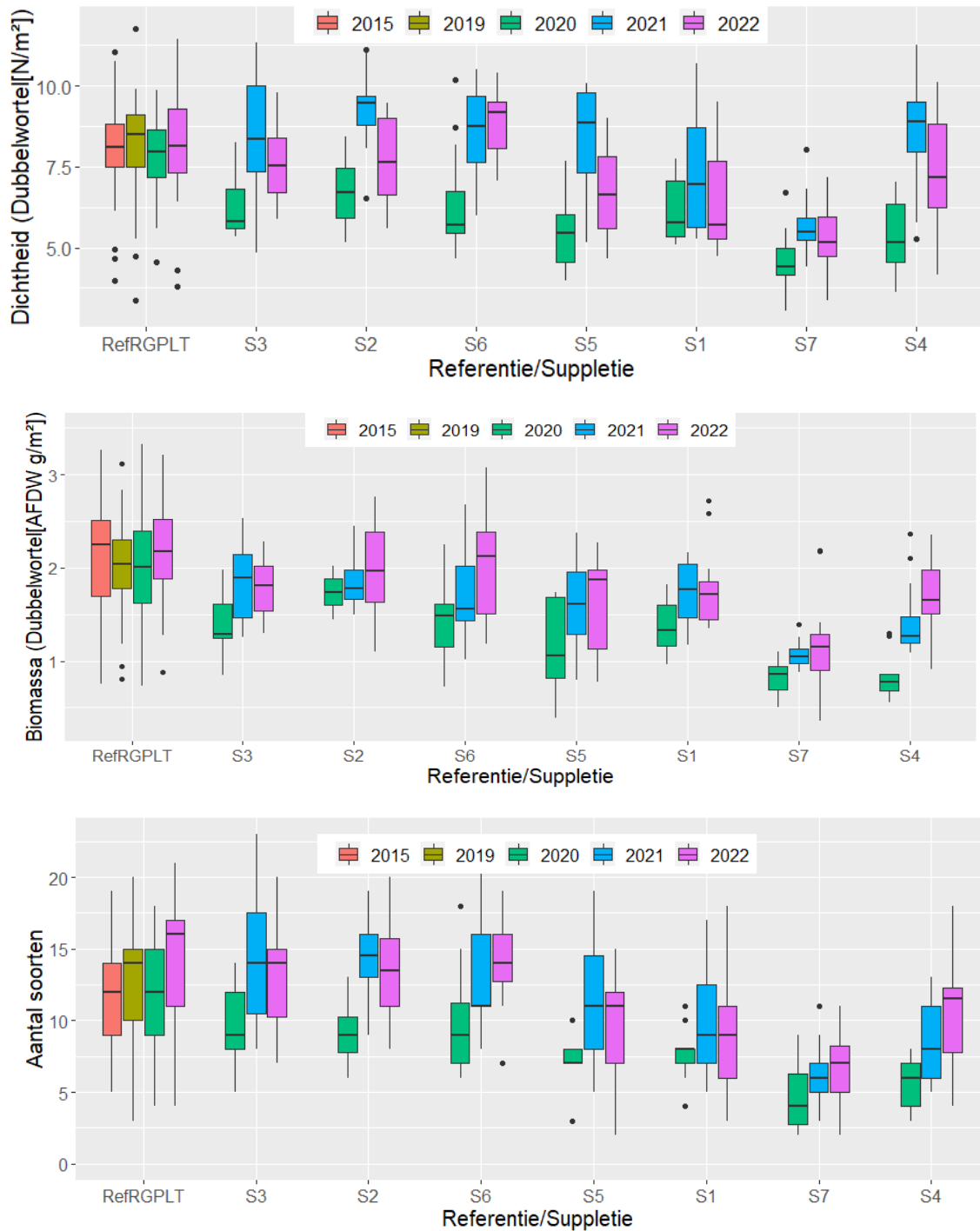
Op de meeste suppleties blijft in 2022 de bijdrage van de bivalvia aan de biomassa steeds lager dan in de referentie locaties. De relatief dune suppletie S3 is gekenmerkt door een relatief trage ontwikkeling, lage biomassa en de dominantie door wormen.

In de verdere analyses zijn, bij de weergave van de bodemdieren waarnemingen (dichtheid, biomassa, aantal soorten), de suppleties gerangschikt volgens die volgorde van toenemende gradiënten in aanlegdikte, bodemhoogte en korrelgrootte: S3-S2-S6-S5-S1-S7-S4.

De totale dichtheid, biomassa en aantal soorten van bodemdieren op de referentie locaties (RefRGPLT) schommelen zonder duidelijke trend en nog steeds met een grote overlap tussen de jaren (Figuur B2-15).

In het eerste jaar na de aanleg (2020) nemen, op alle suppleties, dichtheid biomassa en aantal soorten sterk af vergeleken met de referentie locaties. Bij de drie indicatoren zijn de laagste waarden bereikt in de dikste suppleties S7 en S4.

Tussen 2020 en 2021 nemen dichtheid en aantal soorten enorm toe op de meeste suppleties en dit gebeurt ook op de dikste suppletie S4 (Figuur B2-15). Ook de biomassa neemt op de meeste suppleties toe tussen die jaren maar wel minder duidelijk dan voor dichtheid en het aantal soorten. De sterke biomassa toename in suppletie 4 (de dikste) tussen 2020 en 2021 valt hier op. De niveaus van dichtheid zijn in 2021 op vele suppleties binnen hetzelfde bereik als in de referentie locaties met uitzondering van suppletie 7 die duidelijk achterblijft t.o.v. alle andere suppleties m.b.t. de drie indicatoren dichtheid, biomassa en het aantal soorten.



Figuur B2-15. Bodemdieren totale dichtheid ( $\sqrt[4]{N/m^2}$ ), biomassa ( $\sqrt[4]{AFDWg/m^2}$ ) en aantal soorten in de referentie locaties (RefRGPLT) en op de suppleties (S1 tot S7) over de jaren (geen RefRGPLT monster in 2021). De suppleties zijn gesorteerd op toenemende aanlegdikte.

Tussen 2021 en 2022 neemt de dichtheid weer af (S3, S2, S5, S4) of blijft onveranderd (S6, S1, S7). Ook voor de biomassa en het aantal soorten is er sprake in 2022 van een stabilisatie, lichte toename of lichte afname ten opzichte van het niveau bereikt in 2021. Op S4 blijft de biomassa, voor de tweede jaar achter elkaar, sterk toenemen tussen 2021 en 2022. In 2022 blijven de niveaus van dichtheid, biomassa en aantal soorten op het laagste niveau in suppletie 7.



Figuur B2-16. Taxonomische verdeling als relatieve dichtheid op basis van het gemiddelde berekend elk monsterjaar voor de referentie locaties (RefRGPLT) en op de suppleties (S1 tot S7). De suppleties zijn gesorteerd op toenemende aanlegdikte.

Met betrekking tot de dichtheden laat de relatieve taxonomische samenstelling Figuur B2-16 door de jaren heen geen grote verschuiving zien op de suppleties. Polychaeta en malacostraca zijn hier de twee dominante groepen net zoals waargenomen op de Roggenplaat referentielocaties (Figuur B2-18). Tussen 2019 en 2020 neemt in de referentie locaties (RefRGPLT) de bijdrage van malacostraca aan de totale dichtheid sterk toe, waarbij de relatieve waarden overeenkomen met de niveaus waargenomen op de suppleties (Figuur B2-16). Tussen 2020 en 2021 valt een relatieve afname van de malacostraca in de dunste suppleties (S3, S2, S6) op waar deze groep sterk domineert op de dikste suppleties S7 en S4.

In 2022 tonen de relatieve taxonomische dichtheden een goede overeenkomst tussen de suppleties onderling en ook t.o.v. de referentie locaties (RefRGPLT). Naast de aanhoudende dominantie door polychaeta en malacostraca neemt op de meeste suppleties in 2022 de bijdrage van oligochaeta, bivalvia, en gastropoda toe zoals ook waargenomen op de referentie locaties.



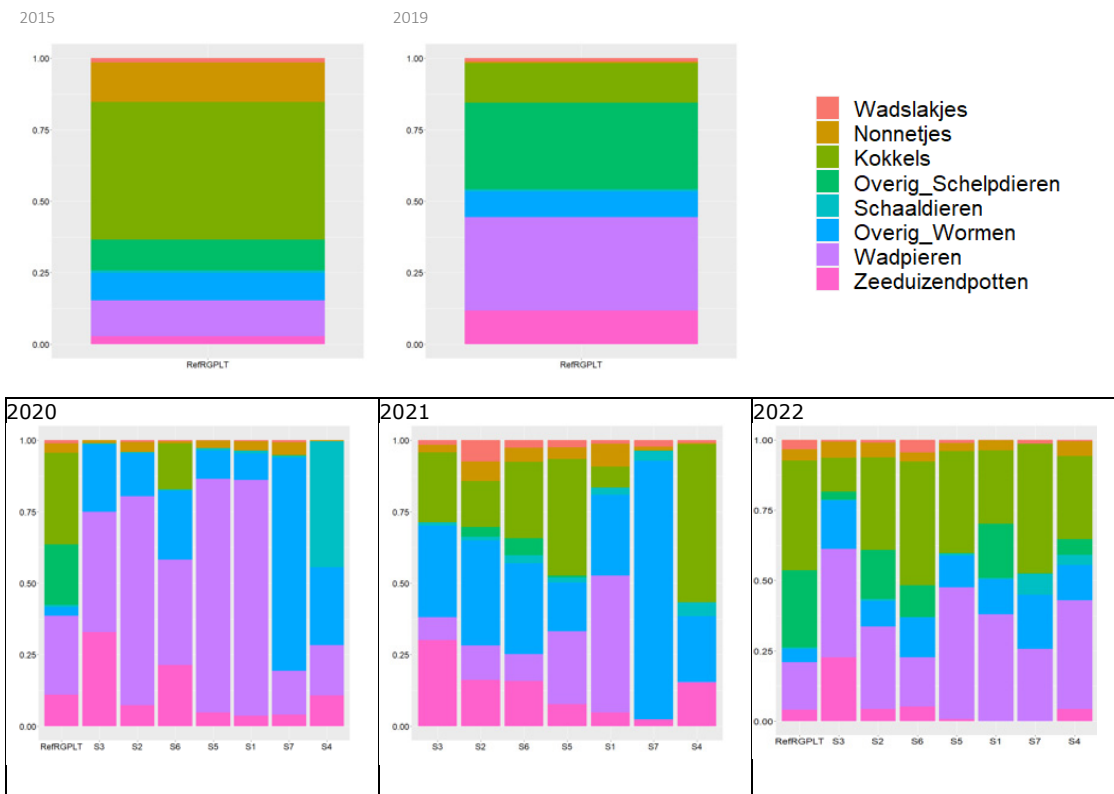
Figuur B2-17. Taxonomische verdeling als relatieve biomassa op basis van de gemiddelde berekend elk monsterjaar voor de referentie locaties (RefRGPLT) en op de suppleties (S1 tot S7). De suppleties zijn gesorteerd op toenemende aanlegdikte.

De relatieve biomassa's per taxonomische groep worden op de suppleties en op de referentielocaties (RefRGPLT) gedomineerd door polychaeta en bivalvia met een incidenteel omvangrijke toename in de bijdrage van malacostraca op de dikste suppleties in 2020 op S4 en in 2021 op S7 én S4 (Figuur B2-17).

De relatieve bijdrage aan polychaeta verdubbelt (ten laste van de bivalvia) in de referentie locaties tussen 2015 en 2019 terwijl geen noemenswaardige verandering waargenomen worden in de totale biomassa (Figuur B2-15). Tussen 2019, 2020 en 2022 keert de verhouding tussen de relatieve biomassa aan polychaeta en bivalvia terug naar het niveau van 2015 in de referentie locaties met een duidelijke dominantie door bivalvia (ca 75%).

Het jaar 2020 (een jaar naar de aanleg) kenmerkt zich op de suppleties door een sterke dominantie van de biomassa door polychaeta samen met malacostraca op S4 en, in mindere mate, met bivalvia op S6.

Tussen 2020, 2021 en 2022 neemt de bijdrage van bivalvia op alle suppleties toe (zie het groener worden van de balken tussen 2020 en 2022 in Figuur B2-17). Waar de taxonomische verdeling van de biomassa met de sterke dominantie door bivalvia overeenkomt tussen suppletie 6 en de referentie locaties blijft de dominantie door polychaeta nog steeds sterker in de overige suppletielocaties (Figuur B2-17). Dit is vooral in suppletie 3 zichtbaar in vergelijking tot de referentielocaties (Figuur B2-17).



Figuur B2-18. Relatieve biomassa van de geselecteerde prooi-soorten op basis van de gemiddelde berekend elk monsterjaar voor de referentie locaties (RefRGPLT) en op de suppleties (S1 tot S7). De suppleties zijn gesorteerd op toenemende aanlegdikte.

De relatieve biomassa van de geselecteerde prooi-soorten laat een sterke dynamiek zien op de referentie locaties (refRGPLT) waar dominantie van kokkels en overige schelpdieren op de biomassa eerst afneemt tussen 2015 en 2019 en vervolgens weer toenemen tussen 2019 en 2022 (Figuur B2-20).

In 2020, een jaar na de aanleg, is de biomassa op de suppleties vooral gedomineerd door wadpieren en overige wormen. Terwijl op de referentielocaties schaaldieren (vooral vlokreeftjes) samen met kokkels en overige schelpdieren bijna de helft van de biomassa vertegenwoordigen.

Tussen 2020, 2021 en 2022 neemt de relatieve bijdrage van kokkels en overige schelpdieren toe in de suppleties en nadert in suppletie 6 het niveau waargenomen in de referentie locaties. Echter blijft de relatieve bijdragen van de wormen nog steeds groter in 2022 in alle suppleties dan in de referentie locaties.

## B2.7 Analyse naar het voorkomen en ontwikkeling van bodemdieren-gemeenschappen op de Roggenplaat

### B2.7.1. Relaties tussen het voorkomen van de bodemdierengemeenschap en de omgevingsfactoren.

#### Onderliggende kennisvraag Voedselbeschikbaarheid voor vogels 1

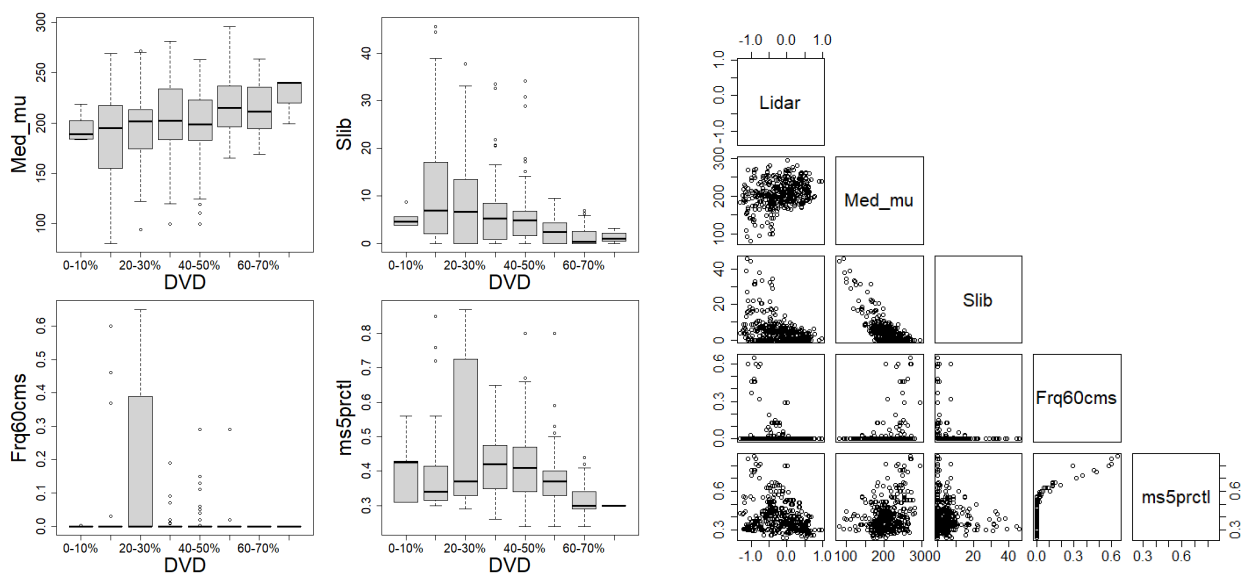
Is het voorkomen van de bodemdierengemeenschap op de Roggenplaat gerelateerd aan droogvalduur, hydrodynamica en/of sedimentsamenstelling?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Sedimentsamenstelling, hydrodynamica en droogvalduur zijn van belang bij het voorkomen van de bodemdierengemeenschap in de intergetijdengebieden. Deze omgevingsfactoren hebben sterke onderlinge relaties waardoor niet eenduidig is aan te wijzen welke omgevingsfactor verantwoordelijk is voor een bepaalde verandering in bodemdierengemeenschap. Een multivariate analyse op basis van de soortensamenstelling van de bodemdieren wijst op de droogvalduur (ofwel bodemhoogte) en de mediane korrelgrootte als de twee dominante factoren die het voorkomen van de soorten bodemdieren grotendeels beïnvloedt.

Voor het bepalen van de relaties tussen de bodemdiersoorten en de omgevingsfactoren zijn de macrofaunamonsters die na 2019 zijn verzameld op de suppleties uitgesloten. In totaal zijn er 414 monsters geselecteerd voor deze analyse verdeeld in 113, 112, 97 en 92 monsters verzameld respectievelijk in de jaren 2015, 2019, 2020 en 2022.

De volgende vijf omgevingsfactoren zijn gebruikt als verklarende factoren voor de samenstelling van de bodemdieren gemeenschappen: **Lidar** hoogtemetingen en afgeleide **DVD** (droogvalduur); **Slib** en **Med\_mu**, respectievelijk sedimentaire slibfractie (<63µm) en mediane korrelgrootte uit de boxcorer monsters; **ms5prctl** en **Frq60cms**, respectievelijk ondergrens van de hoogste 5 percentielwaarden en Frequentie van overschrijding van 60 cm/s voor getijstroom uit model simulaties (zie §B1.2.3 voor nadere uitleg).



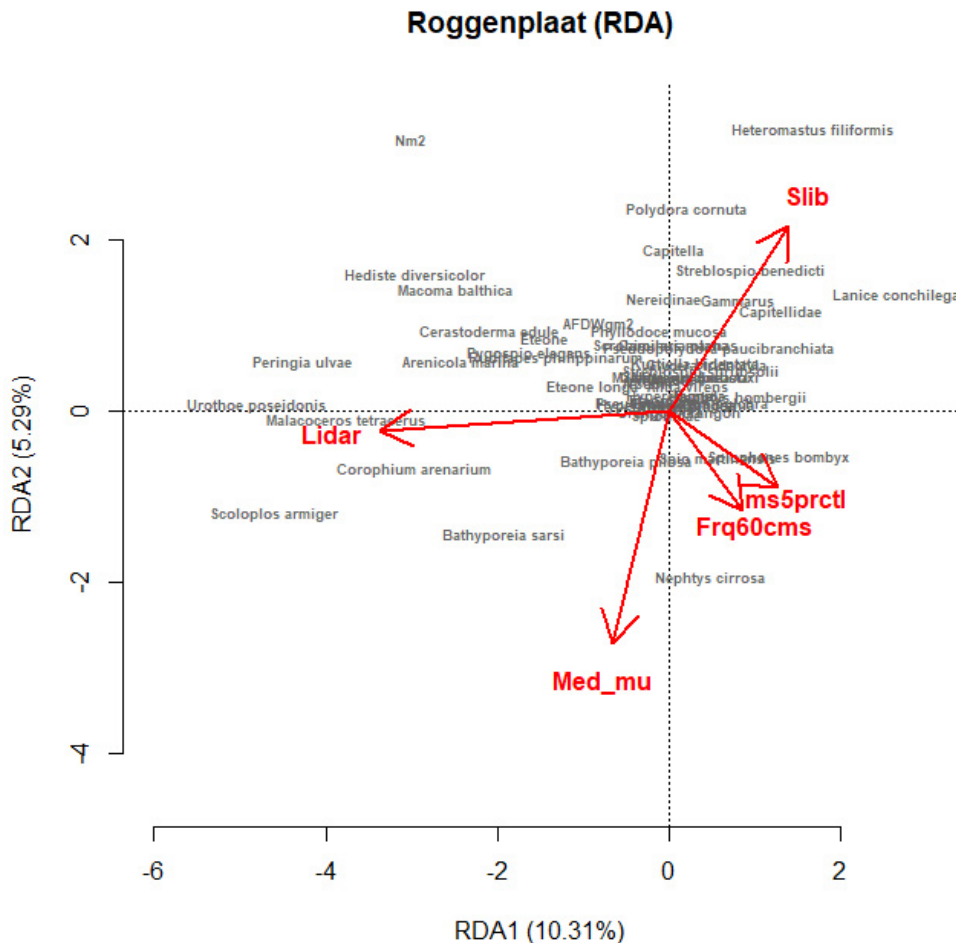
Figuur B2-19. Relaties (links: correlatie plots, rechts: boxplots) tussen de omgevingsfactoren gebruikt als verklarende factoren voor de samenstelling van de bodemdieren gemeenschappen: Lidar hoogte metingen en afgeleide DVD droogvalduur; Slib en Med\_mu, sedimentaire slib fractie (<63µm) en mediane korrelgrootte uit de boxcorer monsters; ms5prctl en Frq60cms, ondergrens van de hoogste 5<sup>de</sup> percentielwaarden en Frequentie van overschrijding van 60 cm/s voor getijstroom uit model simulaties (zie §B1.2.3 voor uitgebreid uitleg).

De relaties tussen de omgevingsfactoren zijn weergegeven in de correlatie plots in Figuur B2-19. Ondanks een grote variatie in de meetwaarden vallen sommige patronen op. Zoals verwacht gaan toenemende slibgehalte gepaard met afnemende mediane korrelgrootte van het sediment. Waar de hoogste waarden van de slibfractie voorkomen in relatief laaggelegen gebieden (lage Lidar waarden dus lage bodemhoogte), worden de hoogste niveaus van hydrodynamica (ms5prctl en Frq60cms) juist gevonden in de hoger gelegen gebieden op de getijdeplaat.

De boxplot weergave in Figuur B2-5 geeft inzicht in de variatie in sedimentsamenstelling en hydrodynamiek als functie van de droogvalduur (Figuur B2-19):

Waar het sediment grover (toename mediane korrelgrootte en afname slib inhoud) wordt tussen de droogvalduurklassen 10-20% en 70-80% lijkt de slibfractie sterk af te nemen tussen droogvalduurklassen 0-10% (langs de waterlijn bij laagwater) en 10-20%. De hoogste niveaus in hydrodynamiek (ms5prctl en Frq60cms) zijn waargenomen op locaties tussen 20% en 50% droogvalduur.

Als een eerste verkenning voor de abiotische factoren welke de bodemdierengemeenschap sturen op de Roggenplaat (exclusief de suppleties) is een multivariate analyse (RDA, zie § B2.2.2) uitgevoerd tussen de vijf omgevingsfactoren (Lidar, Slib, Med\_mu, ms5prctl en Frq60cms zie §B1.2.3) en de drieënvijftig bodemdieren taxa voorkomend in meer dan 5% van de monsters van elk jaar. De resulterende weergave van de RDA met de twee meest verklarend assen van variantie (RDA1, RDA2) zijn weergegeven in Figuur B2-20.



Figuur B2-20. Eerste twee assen van de RDA (verklaarde fractie% van totale variatie) berekend op basis van de bodemdieren soorten dichtheden ( $N/m^2$ ) na dubbelwortel transformatie en standaardisatie van de omgevingsfactoren (Lidar: bodemhoogte, Slib en Med\_mu: Sedimentaire slib (<math><63\mu m</math>) en mediane korrelgrootte in de boxcorer monsters, ms5prctl en Frq60cms: Ondergrens van de hoogste 5 percentielwaarden en Frequentie van overschrijding van 60 cm/s voor getijstroom uit model simulatie (zie §B2.2.1 voor uitleg).

---

De huidige analyse verklaart m.b.v. de vijf omgevingsfactoren (met sterke onderlinge covariantie, Figuur B2-20) 17,6% van de totale variantie aanwezig in de verspreiding van de 53 taxa over de 414 monsters. Alhoewel een verklaringsvermogen van c.a. 18% als laag beschouwd kan worden, is het al een redelijke score rekening gehouden met het feite dat de analyse uitgevoerd is op meerjarige waarnemingen met slechts 5 verklaringsfactoren waarvan de helft sterk aan elkaar gecorreleerd zijn.



## B2.7.2. Ontwikkeling van de bodemdieren op de suppleties in relatie tot de omgevingsfactoren

### Onderliggende kennisvraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 2

Is de ontwikkeling van de bodemdierengemeenschappen op de suppleties gerelateerd aan, veranderingen in droogvalduur, hydrodynamiek, sedimentdynamiek, etc.?

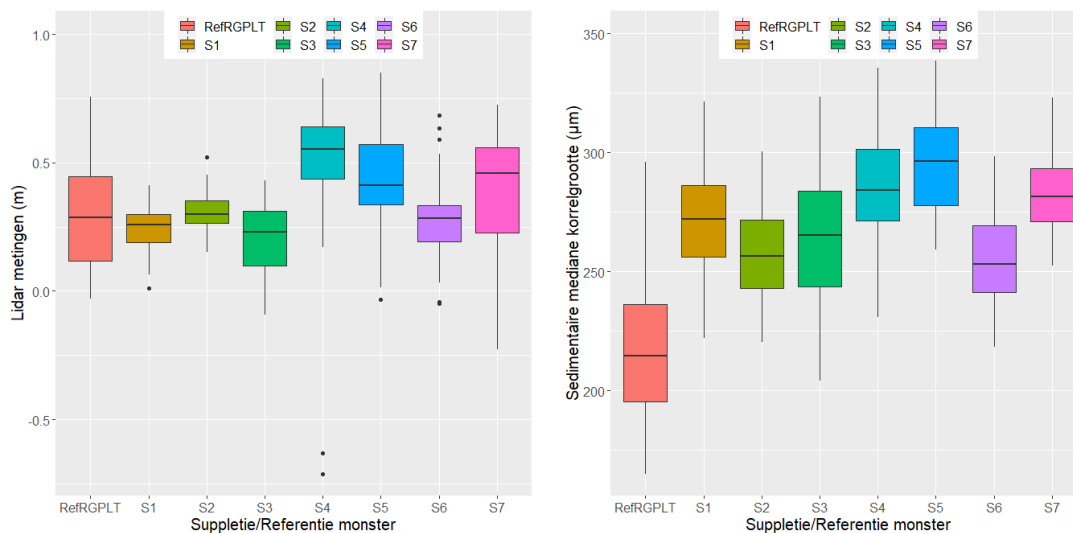
*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Er is een positieve relatie tussen de aanlegdikte van de suppleties, de droogvalduur en de korrelgrootte. De 'dunne suppleties', S3, S2, S1 en S6, worden gekenmerkt door een relatief korte droogvalduur en fijnere sedimentsamenstelling dan de 'dikke suppleties' S4, S5 en S7.

Dit verschil zorgt waarschijnlijk voor een snellere herkolonisatie op de dunne t.o.v. de dikke suppleties.

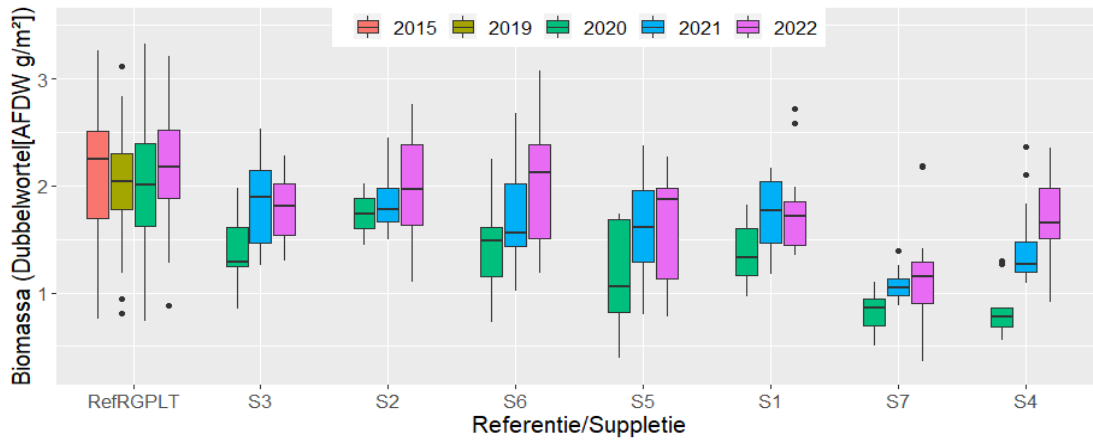
De verfijning van de sediment samenstelling waargenomen na de aanleg op de suppleties en ook op de niet-gesuppleerde delen van de plaat zou positief kunnen bijdragen aan het herkolonisatie proces op de suppleties.

De huidige kennisvraag is gericht op de verklaring van de ontwikkelingen van de bodemdierengemeenschappen op de verschillende suppleties in relatie tot de omgevingsfactoren. Op basis van de achtergrondinformatie in paragraaf B2.3 blijken de droogvalduur en de sediment samenstelling significant bij te dragen aan het voorkomen van de bodemdieren gemeenschap. De dominante bijdrage van deze twee factoren voor de verspreiding van de bodemdieren-gemeenschappen werd ook bevestigd door de analyse in paragraaf B2.3.



Figuur B2-21. Links, hoogteligging (Lidar metingen); Rechts, mediane korrelgrootte van de referentie locaties (RefRGPLT) en van de suppleties (S1 tot S7) alle jaren samen.

De korrelgrootte op de suppleties neemt toe samen met de hoogteligging van de suppleties gaande van suppleties S3, S2, S6, S5, S1, S7 en S4. Deze positieve relatie tussen korrelgrootte en hoogteligging is ook waargenomen buiten de suppleties (Figuur B2-3). De rangschikking van de suppleties op basis van hoogteligging en korrelgrootte komt ook overeen met de toenemende aanlegdikte tussen de suppleties (Tabel B1-9).



*Figuur B2-22. Bodemdieren totale biomassa ( $\sqrt[4]{AFDWg/m^2}$ ) in de referentie locaties (RefRGPLT) en op de suppleties (S1 tot S7) over de jaren (geen RefRGPLT monster in 2021). De suppleties zijn gesorteerd op toenemende aanlegdikte.*

De herkolonisatie (biomassa toename in Figuur B2-22) is sterker in de dunne suppleties (vooral S2 en S6) met korte droogvalduur en fijn sediment (Figuur B2-21) dan in de dikke suppleties zoals S7. Het bevorderen van het herkolonisatie proces door fijn sediment behoort tot de verwachting op basis van de relaties beschreven in paragraaf B2.3.

Zoals beschreven in paragraaf B1.7.3 en Figuur B1-53 neemt het percentage fine sediment toe in de periode na de aanleg op de suppleties maar ook op de niet-gesuppleerde delen van de plaat. Voor de dikste suppleties (S4 en S7) duurt het orde een jaar langer voordat het percentage grotere fracties weer afneemt en het percentage kleinere fracties weer toeneemt. Deze verfijning van de sediment samenstelling zou positief kunnen bijdragen aan het herkolonisatie proces op de suppleties.

### B2.7.3. Effect van het 'primen' op de herkolonisationsnelheid van een suppletie

#### Onderliggende kennisvraag voedselbeschikbaarheid voor vogels 3

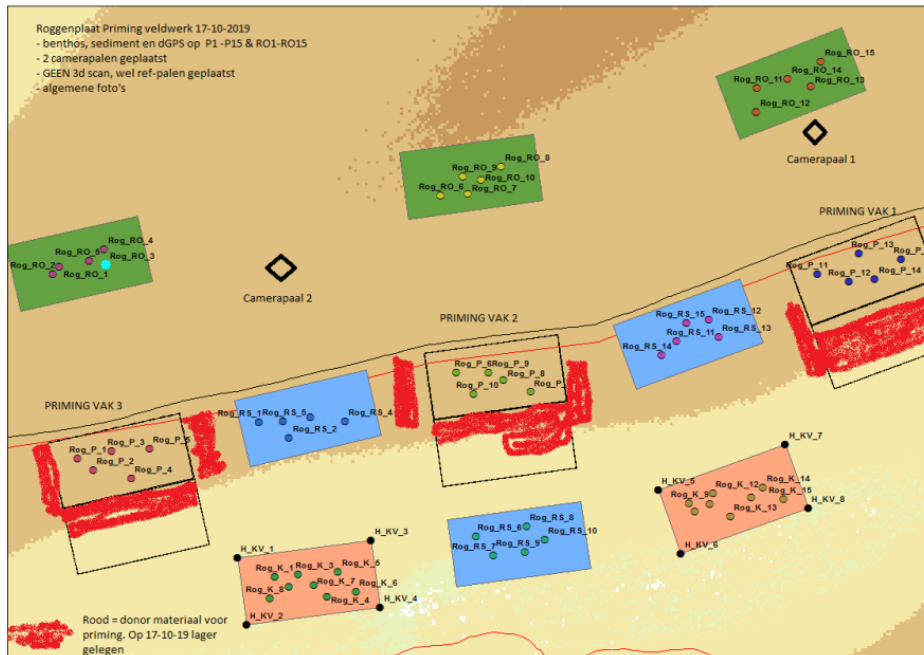
Kan de herkolonisationsnelheid van een suppletie bevorderd worden door het 'primen' van de suppletie met een levende bodemdiergemeenschap?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

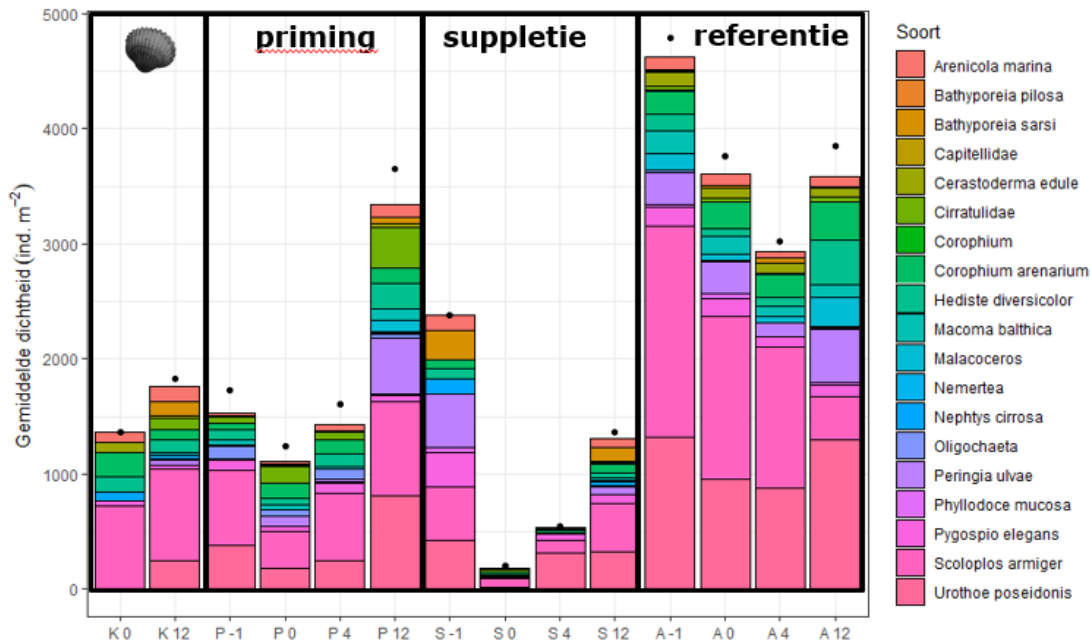
De priming met sediment van de Roggenplaat zelf (inclusief bodemleven) versnelt de herkolonisatie. Een jaar na aanleg zijn soortendichtheden hoger op de 'geprimeerde' locaties (P12) dan op suppletielocaties zonder priming (S12 in Figuur B2 22). Het aanbrengen van sediment tijdens de priming zorgt voor het fijner worden van het sediment wat, naast het inenten met organismen een positief effect kan hebben op het herstel van de bodemdierengemeenschap.

De kokkelpriming leidt direct, na de suppletie (K0), zoals de priming (P0) tot hogere dichtheden en diversiteit dan op de 'kale' suppletie (S0). Een jaar na de aanleg is het verschil tussen de kokkelpriming (K12) en de suppletie zonder priming (S12) zeer beperkt. Primen met kokkels lijkt hiermee minder efficiënt te zijn in vergelijking tot het primen met eigen sediment (inclusief bodemleven).

In totaal werden elf vakken van 50x100 m afgebakend: acht op suppletie S2 en drie erbuiten (Figuur B2-23). Op de suppletie zijn drie vakken 'geprimeerd' met gebiedseigen sediment (inclusief bodemleven) (P), twee vakken geprimeerd doormiddel van het uitstrooien van kokkels (K) en drie vakken hebben als controle geen priming ondergaan (S). De drie vakken buiten (100 m ten noorden) de suppletie (A) dienen als referentie t.o.v. de suppletie met of zonder priming. Het bodemleven is een maand vooraf en vervolgens een week, 4 maanden, 7 maanden en een jaar na aanleg van de suppletie bemonsterd. Een volledig beschrijving van de werkzaamheden en bemonsteringsmethoden is weergegeven in Walles et al. (2021b).



*Figuur B2-23. Overzicht bemonstering priming bij het suppletie element S2. Zwartomlijnde vakken geven priming vak 1, 2 en 3 weer met per vak 5 monsterlocaties. Groene en blauwe vakken zijn referentievakken buiten de suppletie (groen) en op de suppletie (blauw) met in elk vak 5 monsterlocaties. In de roze vakken zijn kokkels aangebracht op het gesuppleerde sediment afkomstig uit de winplaats. Hier bevinden zich 8 monsterlocaties per vak. De rode gebieden geven aan waar het materiaal voor de priming met gebiedseigen materiaal afkomstig van was (uit Walles et al., 2021b).*



Figuur B2-24. Gemiddelde dichtheid van dominante bodemdieren soorten (op basis van vier monsters per tijdstip) in de vier behandelingen Kokkels (K), Priming (P), Suppletie (S) en Referentie (A) op verschillende tijdstippen in maanden ten opzichte van de suppletie aanleg: -1, 0, 4 en 12 maanden: P-1, een maand vóór de aanleg en P0, P4, P12 een week, 4 maanden en 12 maanden na de aanleg in de priming vakken.

Voor vrijwel alle groepen nemen borstelwormen het grootste aandeel van de benthos dichtheden in beslag (Figuur B2-24). De 'priming' en 'suppletie' gebieden tonen een maand vóór de aanleg (P-1 en S-1) beduidend lagere dichtheden dan de 'referentie' gebied wat vragen roept over de geschiktheid van de referentie. Na het uitvoeren van de suppletie (tussen T<sub>-1</sub> en T<sub>0</sub>) nemen de dichtheden van alle soorten enorm af op de kale suppletie (S). Pas na 12 maanden is er weer een geleidelijke toename in de bodemdieren dichtheid te zien.

Het aanbrengen van gebiedseigen sediment inclusief bodemleven (primen) of van kokkels op het gesuppleerde sediment voorkomt de sterke afname in bodemdieren dichtheden zoals waargenomen op de kale suppletie (Figuur B2-24). Al hoewel dit wel goed te begrijpen is voor de priming, is dit zeker onverwacht voor de kokkelbehandeling. Immers, zoals verwoord in de memo van Boskalis (Wallis et al, 2021b), er zijn alleen kokkels uitgestrooid op de kale gesuppleerde bodem na aanleg van het suppletie element 2. In ieder geval liggen de bodemdierendichtheden een jaar na de aanleg duidelijk hoger op de geprimed vakken dan op de kale suppletie of de kokkel behandeling. Het aanbrengen van sediment tijdens de priming zorgt ook voor het fijner worden van het sediment wat, naast het inenten met organismen een positief effect kan hebben op het herstel van de bodemdierengemeenschap. Bij de priming met gebiedseigen sediment is een jaar na aanleg de bodemdierendichtheid toegenomen tot dezelfde orde grootte in vergelijking tot de referentievakken buiten de suppletie.

De grafieken van dichtheden in de bodemdiersoorten gegroepeerd per taxonomische klassen in Figuur B2-25 laat het toe om de respons van de individuele soorten op de behandelingen beter te volgen. De referentielocaties laten grote veranderingen in dichtheid zien die vooral veroorzaakt zijn door een afname van twee soorten de wapenworm, nl. *Scoloplos armiger* over de hele periode (-1 tot 12 maanden t.o.v. de aanleg) en het vlokreeftje *Urothoe poseidonis* tussen t<sub>-1</sub> en t<sub>4</sub> (Figuur B2-25). Vervolgens neemt de dichtheid van het vlokreeftje weer toe tussen t<sub>4</sub> en t<sub>12</sub> zoals die van de zeeduizendpoot (*Hediste diversicolor*). Het wadslakje *Peringia ulvia* neemt juist toe over de hele periode in de referentievakken.

Veel soorten, waaronder het wadslakje *Peringia ulvia*, het knipsprietkreeftje *Bathyporeia* en de wadpier *Arenicola marina* zijn compleet verdwenen na de aanleg (tussen T<sub>-1</sub> en T<sub>0</sub>) op de suppletie (S) worden weer waargenomen een jaar na de aanleg (T<sub>12</sub>, Figuur B2-25). De dichtheid van het vlokreeftje *Urothoe poseidonis* is vier maanden na de aanleg toegenomen en komt dan zelfs in hogere

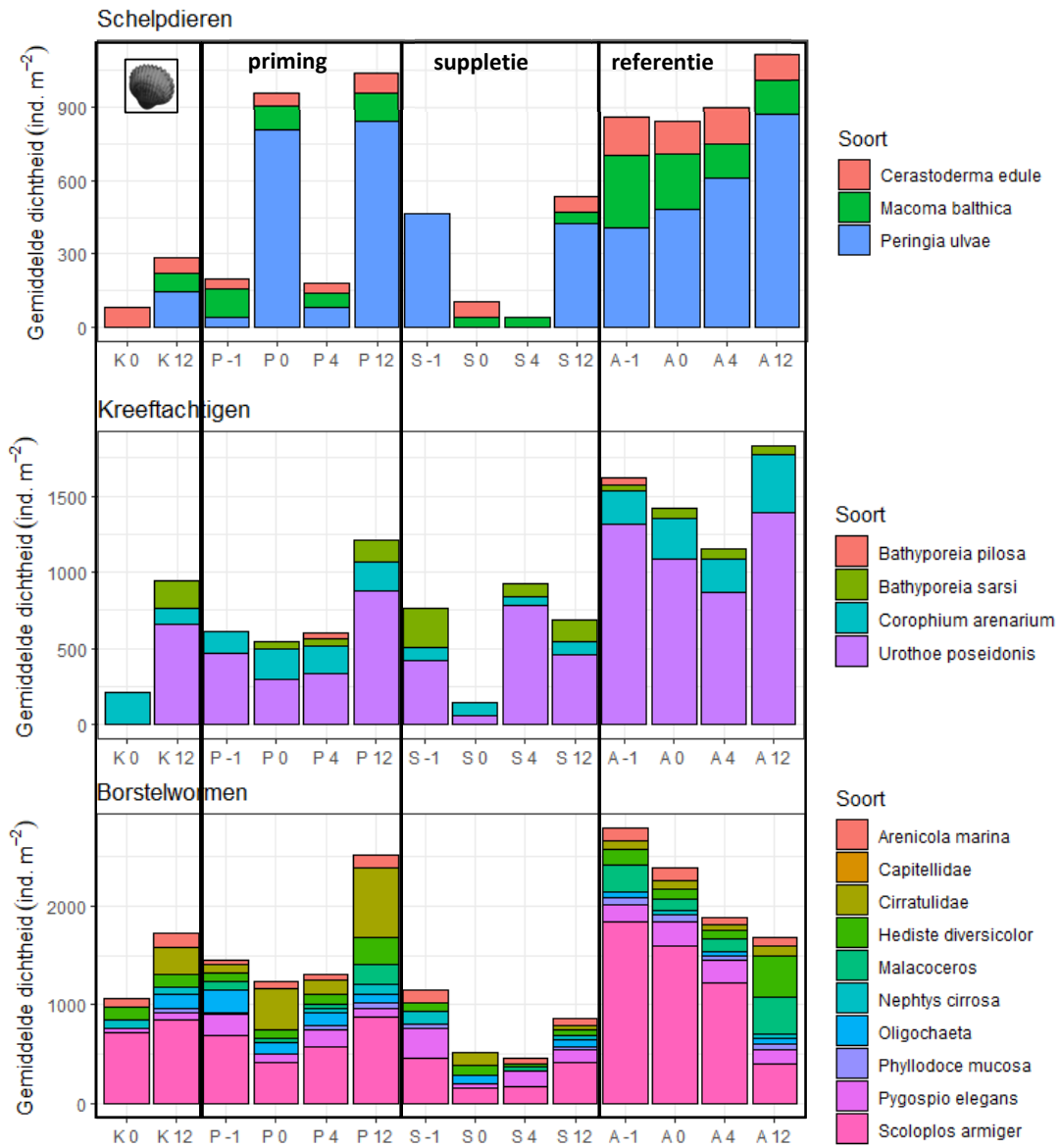
---

aantallen voor dan voor de aanleg. Tussen 4 en 12 maanden na de aanleg neemt het aantal soorten op de suppletie weer toe met het grootste aandeel aan de benthos dichtheid vertegenwoordigd door het wadslakje (*Peringia ulvae*), het vlokreeftje (*Urothoe poseidonis*) en de wapenworm *Scoloplos armiger*.

Op de vakken met de kokkelbehandeling, zit de wapenworm *Scoloplos armiger*, reeds aanwezig op  $T_0$ , twaalf maanden later ( $T_{12}$ ) grofweg in dezelfde dichtheid (Figuur B2-25). Overigens ligt de aanwezigheid van de wapenworm in dezelfde ordegrrootte dan bij de andere behandelingen. Naast de wapenworm bestaat de bodemdieren gemeenschap op de kokkelpriming vakken twaalf maand na de aanleg voornamelijk uit het vlokreeftje *Urothoe poseidonis*, het wadslakje (*Peringia ulvae*) en natuurlijk de kokkel (*Cerastoderma edule*).

Net na de priming ( $T_0$ ) blijkt een groot hoeveelheid aan wadslakjes (*Peringia ulvae*) aanwezig te zijn op de suppletie (Figuur B2-25). Vier maanden later zijn de dichtheden teruggekeerd op het niveau waargenomen een maand voor de aanleg. Een jaar na de aanleg zit de dichtheid van de wadslakjes wel op een gelijk niveau als de referentievakken. De hoge dichtheden waargenomen op de geprimede vakken een jaar naar de aanleg zijn vooral te danken, naast het wadslakje, aan de wapenworm *Scoloplos armiger* en het vlokreeftje *Urothoe poseidonis*, samen met kniksprietkreeftjes (*Bathyporeia*) een een drietal borstelwormsoorten, nonnetjes (*Macoma balthica*) en kokkels (*Cerastoderma edule*) (Figuur B2-25).

Priming met gebiedseigen sediment komt dus naar voren als een doeltreffende en haalbare methode in vergelijking met het inzaaien van kokkels op suppletie-elementen. Onderzoeksresultaten wijzen op aanzienlijke positieve effecten op de ecologische ontwikkeling door priming, waarbij de toplaag van het suppletiegebied wordt voorbehandeld met lokaal sediment. Deze aanpak lijkt niet alleen effectiever, maar ook praktisch eenvoudiger dan het inzaaien van kokkels. De voordelen van priming, zoals de stimulering van natuurlijke processen en de aanwezigheid van inheems sediment, kunnen de lokale biodiversiteit en ecologische veerkracht ten goede komen. Dit benadrukt het potentieel van priming als een duurzame en praktische strategie voor natuurherstel op suppletiegebieden, waarbij de complexiteit en uitdagingen van kokkelinzaai mogelijk kunnen worden omzeild.



Figuur B2-25. Gemiddelde dichtheid van dominante soorten schelpdieren, kreeftachtigen en borstelwormen (op basis van vier monsters per tijdstip) in de vier behandelingen Kokkels (K), Priming (P), Suppletie (S) en Referentie (A) op verschillende tijdstippen in maanden ten opzichte van de suppletie aanleg: -1, 0, 4 en 12 maanden.

---

# Bijlage 3 Natuurlijke oesterriffen

## B3.1 Opbouw hoofdstuk

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de veranderingen in de omvang van de oesterriffen zoals waargenomen tussen 2018 en 2023.

### Evaluatievragen:

1. Hoe ontwikkelen de natuurlijke oesterriffen zich in de periode 2018 – 2024 op de Roggenplaat?

### Onderliggende kennisvragen:

1. Hebben natuurlijke oesterriffen een rol in het vasthouden van (gesuppleerd) sediment op de Roggenplaat? Die kennisvraag is behandeld in het hoofdstuk geomorfologie (paragraaf B1.7.6)

## B3.2 Methodologie

In het kader van de WOT schelpdierbestanden inventarisatie zijn de natuurlijke oesterriffen op de Roggenplaat eens in de drie jaar nagelopen voor een contour metingen in 2018, 2020 en 2023. Onderstaande beschrijving van de werkwijze gebruikt voor de meting is overgenomen van Troost et al. (2022). De banken worden bij laagwater te voet ingemeten volgens een vast protocol (De Vlas et al., 2005; Troost et al., 2022). Er wordt rond de banken gelopen en met een handheld-GPS worden merkpunten vastgelegd. Aan boord worden de merkpunten ingeladen in het programma QGIS. Op basis van de vastgelegde punten worden de contouren ingetekend en wordt het oppervlak van de bank bepaald. De gegevens van 2023 zijn op het moment van schrijven nog niet beschikbaar op de WMR interface (<https://www.wur.nl/nl/artikel/schelpdiermonitor.htm>) maar wel intern beschikbaar via projectleider Karin Troost.

## B3.3 Evaluatie ontwikkeling van de oesterriffen in de periode 2018 – 2024 op de Roggenplaat

### Evaluatievraag oesterriffen 1

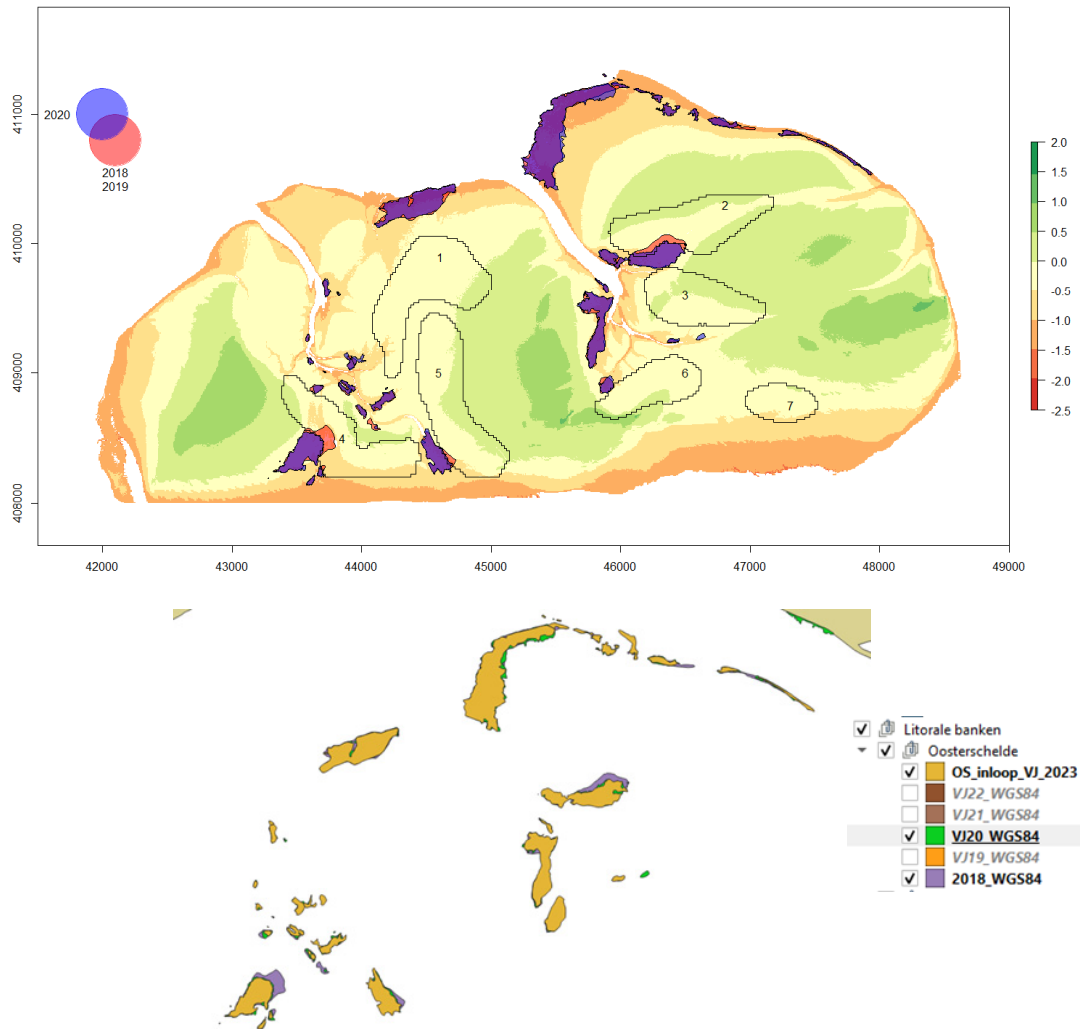
Hoe ontwikkelen de oesterriffen zich in de periode 2018 – 2024 op de Roggenplaat?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Een deel van de natuurlijke oesterriffen binnen de suppletiecontouren van de suppleties S2, S4 en S5 zijn bedolven onder het zand. De omvang van de overige oesterriffen is stabiel gebleven vanaf de aanleg tot en met 2023.

Tijdens de survey in het voorjaar van 2020 is vastgesteld dat suppletie 2, 4 en 5 de nabijgelegen natuurlijke oesterriffen deels bedekt hebben waardoor het areaal van de oesterriffen is afgenomen met 5.7 ha naar een totaal areaal van 56.2 ha in 2020 (Wallis et al., 2021b).

Tussen 2020 en 2023 hebben er geen noemenswaardige veranderingen plaatsgevonden m.b.t. de omvang van de natuurlijke oesterriffen op de Roggenplaat (Figuur B3-1).



Figuur B3-1. Boven: Locaties oesterriffen op de Roggenplaat vóór aanleg van de suppleties in 2018-2019 en na aanleg 2020-2021 (Figuur 6-69, Walles et al., 2021). Onder: Waarnemingen verzameld in het voorjaar van 2023 (K. Troost, pers.com.)

De onderliggende kennisvraag met betrekking tot of de natuurlijke oesterriffen een rol spelen in het vasthouden van (gesuppleerd) sediment op de Roggenplaat is behandeld in het hoofdstuk morfologie (B1.7.6).



---

# Bijlage 4 Gebruik van de Roggenplaat door benthos-etende vogels in relatie tot de suppleties

<b>Bijlage 4 Gebruik van de Roggenplaat door benthos-etende vogels in relatie tot de suppleties</b>	<b>144</b>
B4.1 Opbouw hoofdstuk	144
B4.2 Methodologie laagwatertellingen	144
B4.3 Gebruik van de Roggenplaat door steltlopers, soorten, aantallen en ruimtelijk gebruik	146
B4.3.1. Verspreiding van vogels vs omgevingsfactoren	154
B4.3.2. Het benutten van de suppleties door de vogels	157

## B4.1 Opbouw hoofdstuk

In dit hoofdstuk worden de resultaten getoond van de ontwikkeling in aantallen en soortsaamenstelling van (met name) steltlopers op de Roggenplaat door middel van laagwatertellingen die zijn uitgevoerd sinds 2015 tot en met 2022 (T3). Dit hoofdstuk is gestructureerd aan de hand van de onderzoeksvragen die hieronder zijn opgesomd. Deze vragen komen overeen (herformuleringen daargelaten) met de vragen uit het oorspronkelijke monitoringsplan (Ysebaert et al., 2016).

### Evaluatievragen:

1. Hoe wordt de Roggenplaat gebruikt door steltlopers in ruimte en tijd? Welke soorten komen voor en in welke aantallen?

### Onderliggende kennisvragen:

1. Is de verspreiding van steltlopers gerelateerd aan factoren zoals droogvalduur, sedimentsamenstelling (vocht) en voedselbeschikbaarheid?
2. Hoe worden de suppleties benut door steltlopers in vergelijking tot niet-gesuppleerde delen van de Roggenplaat?

## B4.2 Methodologie laagwatertellingen

Het uiteindelijke doel van de zandsuppleties van de Roggenplaat is de instandhouding van voldoende foerageergebied voor steltlopers. Specifiek gaat het om de soorten steenloper (*Arenaria interpres*), bonte strandloper (*Calidris alpina*), kanoet (*Calidris canutus*), strandplevier (*Charadrius alexandrinus*), bontbekplevier (*Charadrius hiaticula*), scholekster (*Haematopus ostralegus*), rosse grutto (*Limosa lapponica*), wulp (*Numenius arquata*), zilverplevier (*Pluvialis squatarola*), kluut (*Recurvirostra avosetta*), bergeend (*Tadorna tadorna*), zwarte ruiter (*Tringa erythropus*), groenpootruiter (*Tringa nebularia*) en tureluur (*Tringa totanus*). Om de ontwikkelingen in aantallen, soortsaamenstelling en ruimtelijk gebruik van deze en andere benthos-etende soorten in kaart te brengen zijn laagwatertellingen uitgevoerd over de jaren.

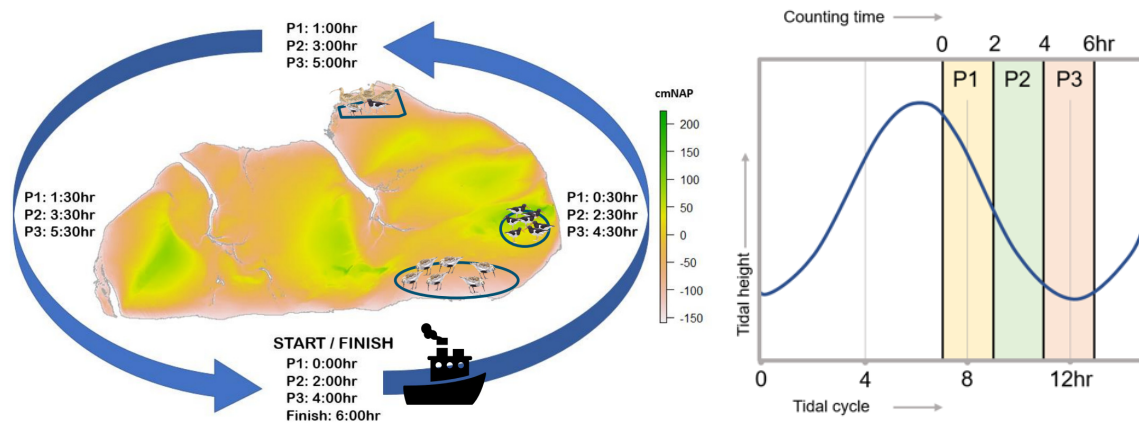
Tellingen zijn uitgevoerd bij afgaand water door ervaren vogeltellers van Deltamilieu Projecten (Arts et al., 2017) vanaf een boot die voldoende hoogte had zodat ook tijdens laagwater de vogels midden op de plaat geteld konden worden (Figuur B4-1). De boot voer in twee uur tijd rond de Roggenplaat (tegen de klok in). Van hoog naar laag water konden op die manier drie tellingen worden uitgevoerd;

telrondes. Telrondes gebeurden 1-2 uur na hoog water, 3-4 na hoog water, en rond de laagwaterperiode (5-6 uur na hoog water). Vogels werden vanaf de boot op het zichtbare deel van de plaat geteld door twee tellers. Vogels konden met een telescoop bij gunstige weersomstandigheden tot midden op de plaat worden geteld.

De ruimtelijke verspreiding van vogels is in kaart gebracht door groepen in te tekenen op een kaart. Per polygoon werd de soort, het aantal vogels van de soort en het gedrag genoteerd. Tijdens de teldagen werden alle steltlopers, bergeend en rotgans tot op soort geteld en de verspreiding in kaart gebracht. Er werd onderscheid gemaakt tussen foeragerende en niet foeragerende vogels, met name als het ging om grote groepen rustende vogels. Daarnaast werden waar mogelijk en relevant vliegbewegingen genoteerd. Per teldag is een dagverslag gemaakt voor het vastleggen van de telomstandigheden.

De tellingen zijn uitgevoerd in de maanden januari, februari, maart, mei, augustus, oktober, november en december en vonden plaats tussen 2015 en 2022 (Arts et al., 2017; Van der Werf et al., 2016; Walles et al., 2020b). Het was niet mogelijk om in alle maanden te tellen gedurende alle jaren. In een aantal jaren zijn teldagen uitgevallen door bijvoorbeeld slechte weersomstandigheden. Omdat er in 2015 en 2016 onregelmatiger geteld is, zijn die tellingen niet gebruikt in onderstaande figuren. Deze tellingen zijn wel gebruikt in eerdere verslaglegging (Walles et al., 2020a, 2020b). In 2021 is éénmaal een telling uitgevoerd in juni. Omdat de aantallen vogels in die maand veel lager zijn dan in andere maanden, is deze telling in sommige figuren ook weggelaten. Voor de figuren die het totaal aantal vogels tonen, zijn benthos-etende vogels (alle getelde steltlopers en de bergeend) en meeuwen geselecteerd.

De foerageerdruk is berekend door het aantal benthos-etende foeragerende vogels te vermenigvuldigen met 2 uur foerageren (de tijd van een telronde) en deze vervolgens per teldag bij elkaar op te tellen (cumulatief). De foerageerdruk geeft dan het aantal uren aan foeragerende vogels per 6 tot 0 uur voor laagwater. Op deze manier kunnen alle drie de tellingen tegelijkertijd mee worden genomen in een figuur en wordt ook meegenomen als een bepaalde vogelsoort meer in het begin van het getij of juist later in het getij foerageert.



Figuur B4-1. Visualisatie van de uitvoering van de laagwatertellingen op de Roggenplaat. Links: De boot vaart driemaal tegen de klok in om de Roggenplaat, elk rondje duurt ongeveer 2 uur. Getelde vogels worden ingetekend in polygonen. Rechts: tellingen vinden plaats van hoog naar laagwater.

## B4.3 Gebruik van de Roggenplaat door steltlopers, soorten, aantallen en ruimtelijk gebruik

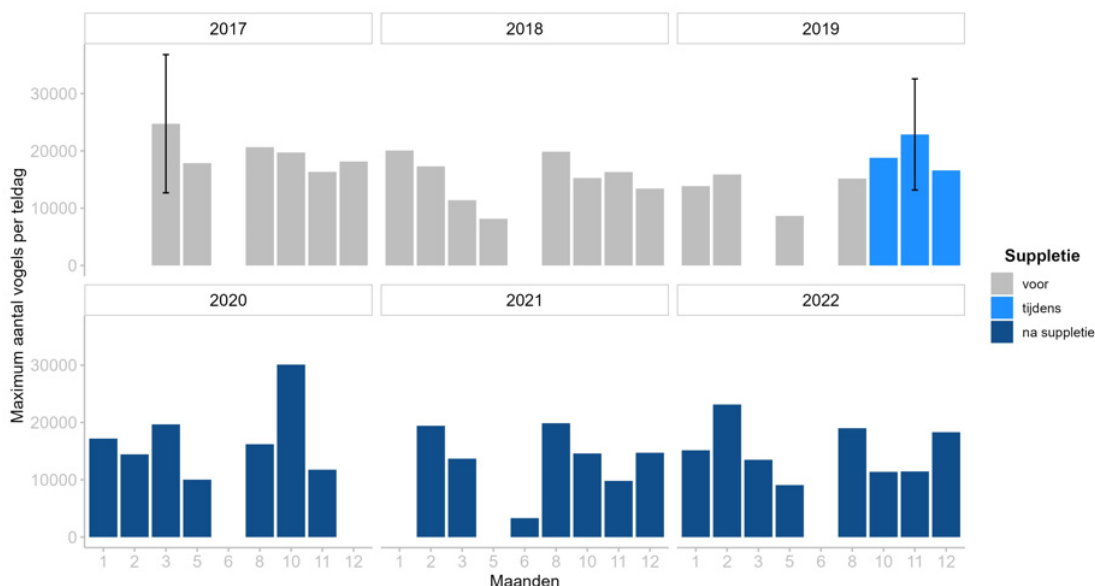
### Evaluatievraag steltlopers 1

Hoe wordt de Roggenplaat gebruikt door steltlopers in ruimte en tijd? Welke soorten komen voor en in welke aantallen?

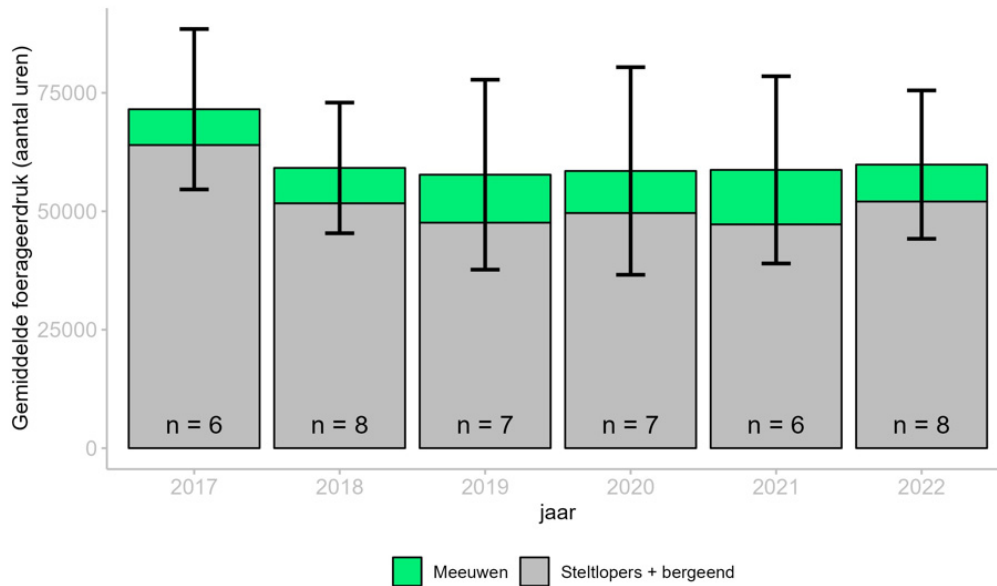
*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

De Roggenplaat wordt met laagwater bezocht door gemiddeld per teldag rond de 20.000 steltlopers, bergeenden en meeuwen. Hiernaast foerageren ook een aantal andere vogelsoorten op de Roggenplaat zoals rotganzen (met name op wieren) en visetende vogels zoals lepelaars en reigers. De vogels zijn geteld tussen 2015 en 2022 in maximaal acht maanden per jaar. Tellingen vonden plaat vanaf een boot die iedere twee uur om de Roggenplaat heenvoer. Hierdoor kon driemaal tijdens laagwater tussen 6 en 0 uur voor laagwater geteld worden. De resultaten laten zien dat de aantallen behoorlijk kunnen schommelen per telling en dat de soortensamenstelling verschilt per maand. De zomer (augustus) wordt ieder jaar gekenmerkt door een grote groep kokmeeuwen (6000-9000 individuen) die in de andere maanden bijna afwezig zijn en lage aantallen van de anders frequente bonte strandloper. De scholekster (~5000 individuen) en wulp (~4000 individuen) hebben beiden hun piek in de periode augustus tot en met oktober. De wintermaanden november tot en met januari komen vrij sterk overeen qua soortensamenstelling. In deze maanden is de bonte strandloper de meest voorkomende soort (5000-9000 individuen). Het broedseizoen (mei) wordt gekenmerkt door vooral grote aantallen rosse grutto's (~2000 individuen) en zilverplevierien (~2000 individuen).

Het aantal steltlopers en de soortensamenstelling op de Roggenplaat fluctueert over de teldagen en maanden. Er lijkt geen duidelijk verband met de aanleg van de suppleties. Het ruimtelijk gebruik van de Roggenplaat door vogels is wel duidelijk veranderd na de aanleg van de suppleties. Vogels vermeden de suppleties vlak na aanleg. In 2022 lijken vogels langzaam terug te keren op de suppleties, al dan niet op een ander (eerder) moment gedurende het getij. Hieronder zullen deze resultaten in meer detail worden toegelicht. Het aantal benthos-etende vogels dat foerageert op de Roggenplaat fluctueert behoorlijk per teldag, maar lijkt niet opvallend te zijn veranderd over de tijd of na aanleg van de suppleties (Figuur B4-2). Ook de foerageerdruk lijkt niet veranderd te zijn over de tijd (Figuur B4-3).

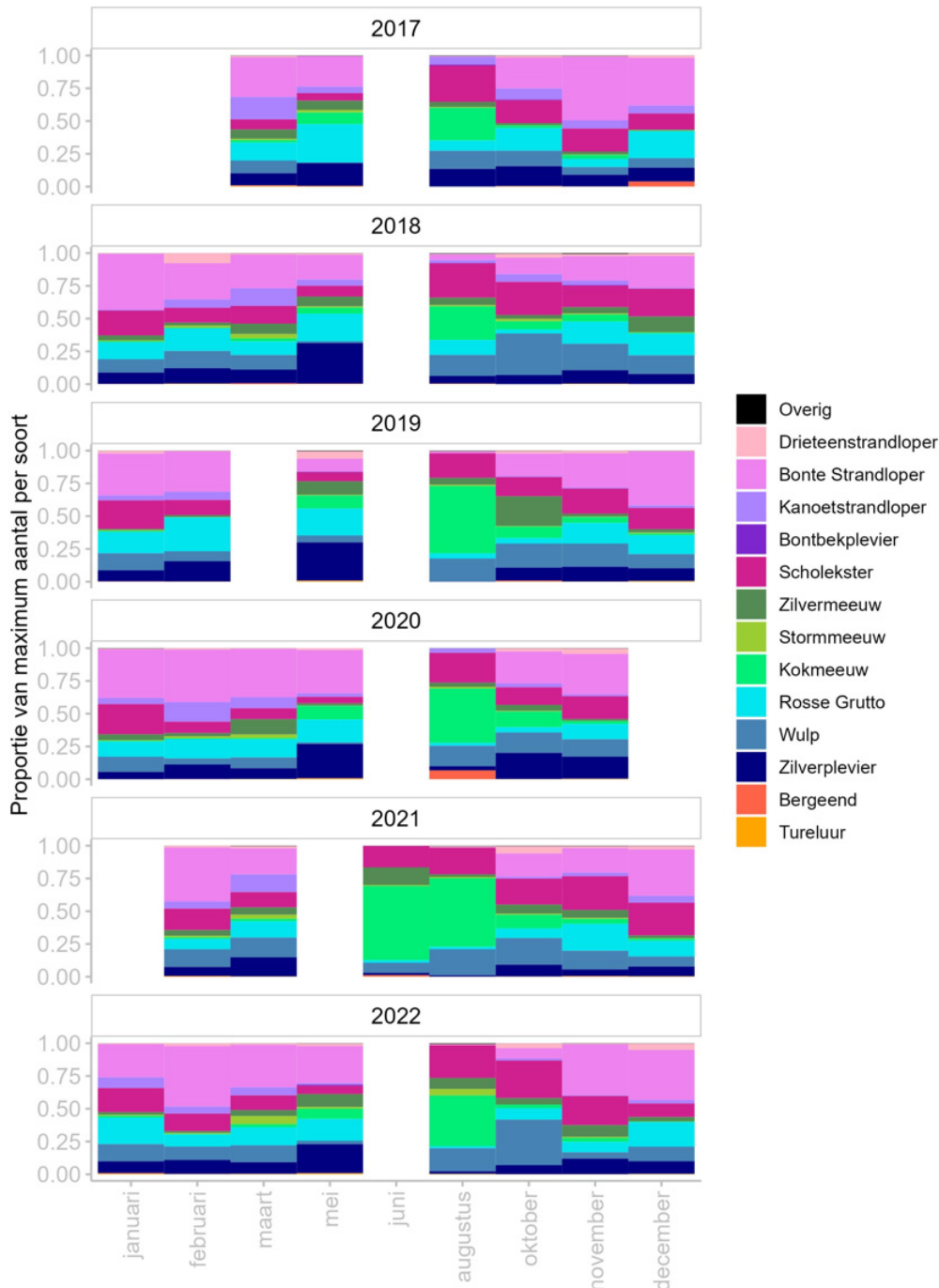


Figuur B4-2. Maximum aantal vogels uit de drie telrondes per teldag over de jaren 2017-2022. In kleur is aangegeven welke metingen voor, tijdens en na de suppleties hebben plaatsgevonden. In maart 2017 en november 2019 is er tweemaal geteld en is het gemiddelde en standaarddeviatie weergegeven.



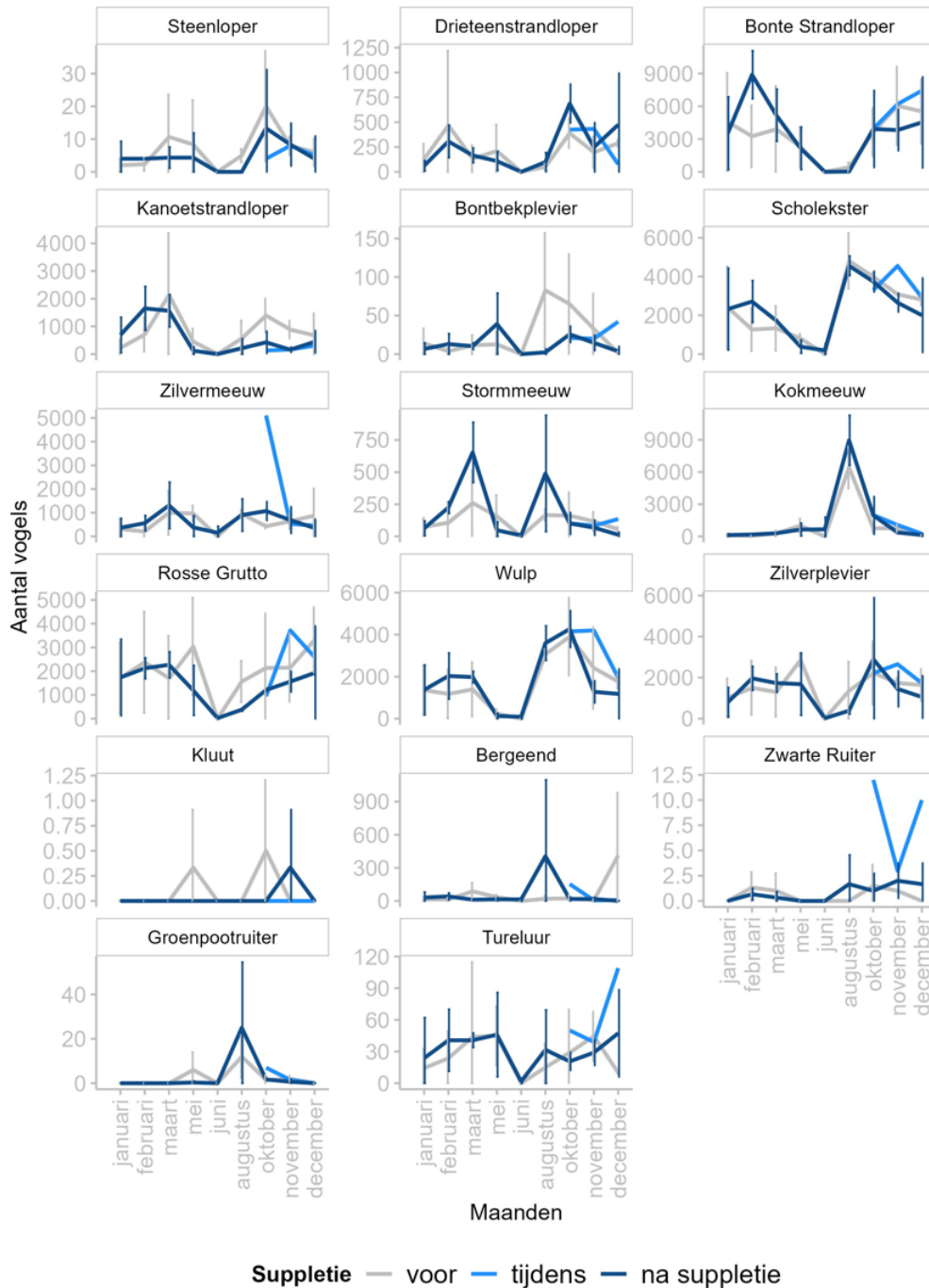
*Figuur B4-3. Foerageerdruk (aantal vogeluren 6-0 uur voor laagwater) per dag gemiddeld over het jaar met weergave van de standaarddeviatie. Binnen elke bar staat het aantal maanden (n) dat is gebruikt om het gemiddelde te berekenen. In 2021 is als enige jaar ook een telling uitgevoerd in juni. Omdat aantallen fors lager lagen in deze maand is deze weggelaten in het berekenen van het gemiddelde (zie ook Figuur B4-2). In deze barplot is onderscheid gemaakt tussen stelllopers + bergeend en meeuwensoorten.*

Soortsaamenstelling van de vogels op de Roggenplaat fluctueert afhankelijk van het seizoen, maar lijkt vrij stabiel over de jaren (Figuur B4-4). De zomer (augustus) wordt steevast gekenmerkt door een grote groep kokmeeuwen die in de andere maanden bijna afwezig zijn en lage aantallen van de anders frequent voorkomende bonte strandloper. De scholekster en wulp hebben beiden hun piek in augustus en oktober. De wintermaanden november tot en met januari komen vrij sterk overeen qua soortsaamenstelling. In deze maanden is de bonte strandloper de meest frequente soort. Het breedseizoen (mei) wordt gekenmerkt door vooral grote aantallen van rosse grutto's en zilverplevieren. Over het algemeen lijkt de soortsaamenstelling van de vogels op de Roggenplaat niet substantieel te zijn veranderd na de aanleg van de suppleties.



Figuur B4-4. Relatieve proportie van de 13 meest voorkomende benthos-etende soorten per maand en jaar. Soorten die minder vaak voorkwamen zijn gegroepeerd in "Overig".

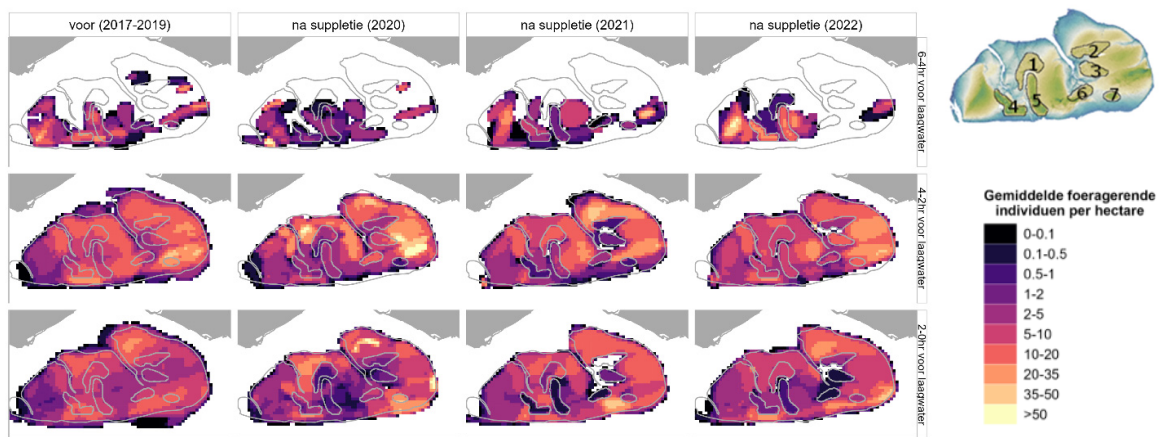
Voor de meeste soorten geldt dat de aantallen en seizoenspatronen er nog min of meer hetzelfde uitzien als voor de aanleg van de suppleties (Figuur B4-5). De bonte strandloper laat iets hogere aantallen zien na de suppleties in de maand februari, maar rest van het seizoenspatroon blijft hetzelfde. De kanoetstrandloper is gemiddeld in iets hogere aantallen geteld in het najaar voor de suppleties. De zilvermeeuw is in opvallend hoge aantallen geteld in de eerste maand van de suppletiewerkzaamheden. De stormmeeuw is gemiddeld in iets hogere aantallen geteld in maart en augustus, maar met grote spreiding in de data waardoor hogere waarden mogelijk door één meting veroorzaakt kunnen zijn. Dit geldt ook voor de bontbekplevier die voor aanleg van de suppleties iets hogere aantallen had in het najaar, maar wederom grote standaarddeviaties.



Figuur B4-5. Maximaal aantal per teldag en standaarddeviatie van de 13 meest voorkomende benthosetende vogelsoorten plus de overige N2000 soorten die geteld zijn op de Roggenplaat (steenloper, kluut, zwarte ruiter en groenpootruiter, de strandplevier zijn niet aangetroffen tijdens de tellingen) per maand over de periode 2017-2022. Kleuren geven aan of de tellingen voor tijdens of na de suppletie uitgevoerd zijn.

Voor het inschatten van het ruimtelijk gebruik, zijn de ingetekende polygonen opgewerkt tot shapefiles en over een raster van 100 bij 100 meter gelegd. Per cel is het percentage overlap met iedere shapefile berekend. Vervolgens is het aantal vogels berekend per rastercel, waarbij gecorrigeerd is voor het percentage overlap met het desbetreffende shapefile.

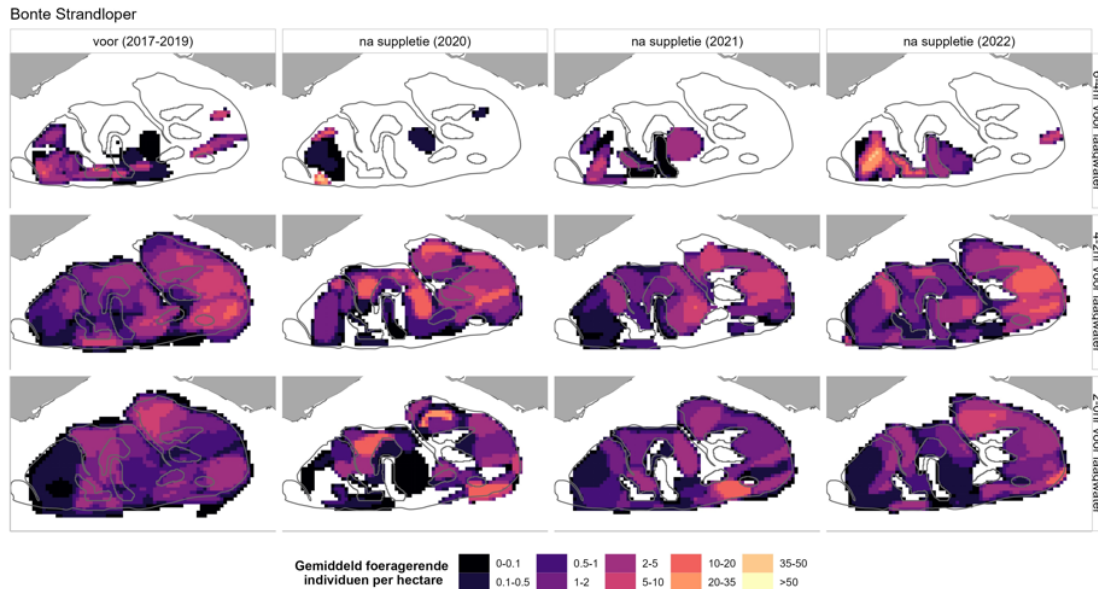
In tegenstelling tot de totale aantallen vogels en de soortensamenstelling is de ruimtelijke verspreiding wel erg veranderd nadat de zandsuppleties zijn uitgevoerd (Figuur B4-6). De suppleties worden direct na de suppleties gemeden door benthos-etende vogelsoorten. In 2021, maar vooral in 2022, komt daar voor sommige suppleties verandering in. Wat opvalt is dat in 2022 de suppleties 4 en 5 gebruikt worden vroeg in de ebperiode (6-4 uur voor laagwater), terwijl dit gebied in de jaren ervoor niet zo gebruikt werd als foerageerhabitat. De hogere ligging en het herstel van bodemdieren maakt deze suppleties mogelijk interessant op het moment dat een groot deel van de Roggenplaat nog onderwater ligt. Verder valt op dat de suppleties 4-2 uur voor laagwater in 2022 meer gebruikt worden dan in de eerste 2 jaar na de suppleties. Het gebruik is wat betreft aantallen voor sommige suppleties weer vergelijkbaar met de aantallen voor de suppleties (bijvoorbeeld suppletie 1, 4, 5 en 3). Het gebruik van de suppleties door foeragerende vogels in de laagwaterperiode (2-0 uur voor laagwater) is nog steeds erg afwijkend van het beeld voor de suppleties. Ondanks de positieve ontwikkeling van bodemdieren op deze plekken kunnen andere variabelen een rol spelen. Zo liggen de suppleties hoger dan voorheen. Vogels lopen vaak (deels) met de waterlijn mee, en zijn met laagwater daarom meer op de lagere delen van de plaat te vinden.



*Figuur B4-6. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende benthos-etende vogels op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd. Rechtsboven een plaatje met de nummering van de suppleties.*

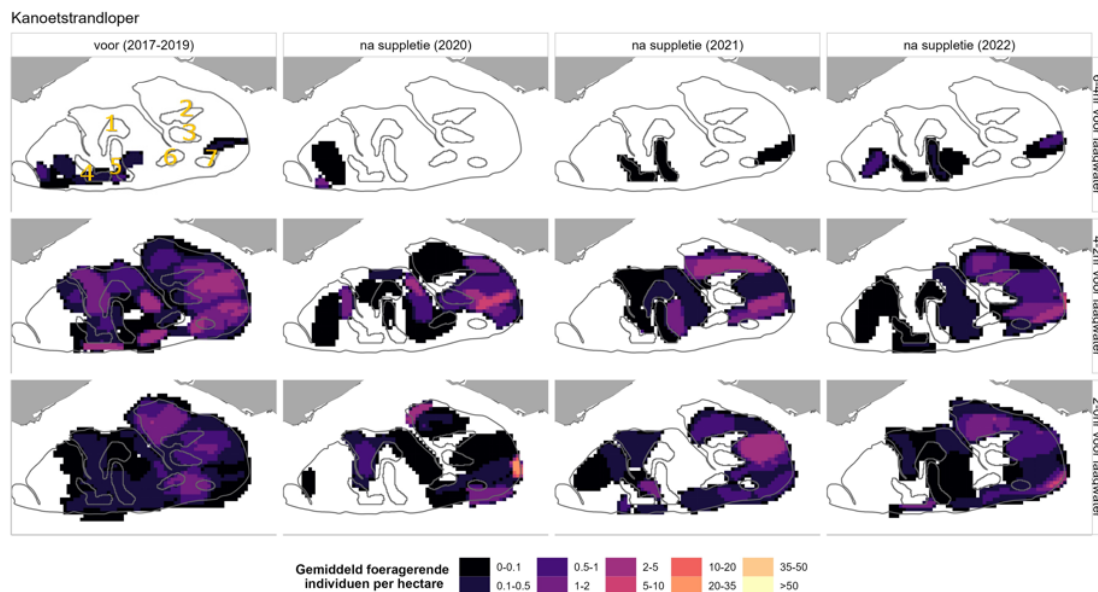
Omdat de suppleties specifiek zijn uitgevoerd voor een aantal Natura2000 soorten, zijn de verspreidingskaarten voor deze soorten nog verder uitgelicht. Het gaat hier om de soorten steenloper, bonte strandloper, kanoetstrandloper, bontbekplevier, scholekster, rosse grutto, wulp, zilverplevier, bergeend, zwarte ruiter, groenpootruiter, tureluur. De strandplevier is hierin ook een doelsoort, maar die is niet geobserveerd gedurende de hele periode. Sommige soorten komen in zeer lage dichtheden voor op de Roggenplaat, waardoor verschillen in verspreiding niet goed te interpreteren zijn. Dit geldt voor de steenloper, bontbekplevier, bergeend, zwarte ruiter, groenpootruiter, tureluur. Deze soorten zijn daarom ook niet getoond in aparte ruimtelijke figuren.

Na aanleg van de suppleties verschilt de verspreiding van de bonte strandloper nog steeds in 2022 vergeleken met voor de suppleties (Figuur B4-7). Wat opvalt is dat 6-4 uur voor laagwater er hoge dichtheden zijn te vinden ten westen en oosten van suppleties 4 en 5. Twee uur later (4-2 uur voor laagwater) lijkt de verspreiding in 2022 meer terug te keren naar die van voor de suppleties, met gebruik van bijna de gehele plaat met uitzondering van suppleties 3 en 6.



Figuur B4-7. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende bonte strandlopers op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd. Nummers van de suppleties zijn in de plot linksboven aangegeven.

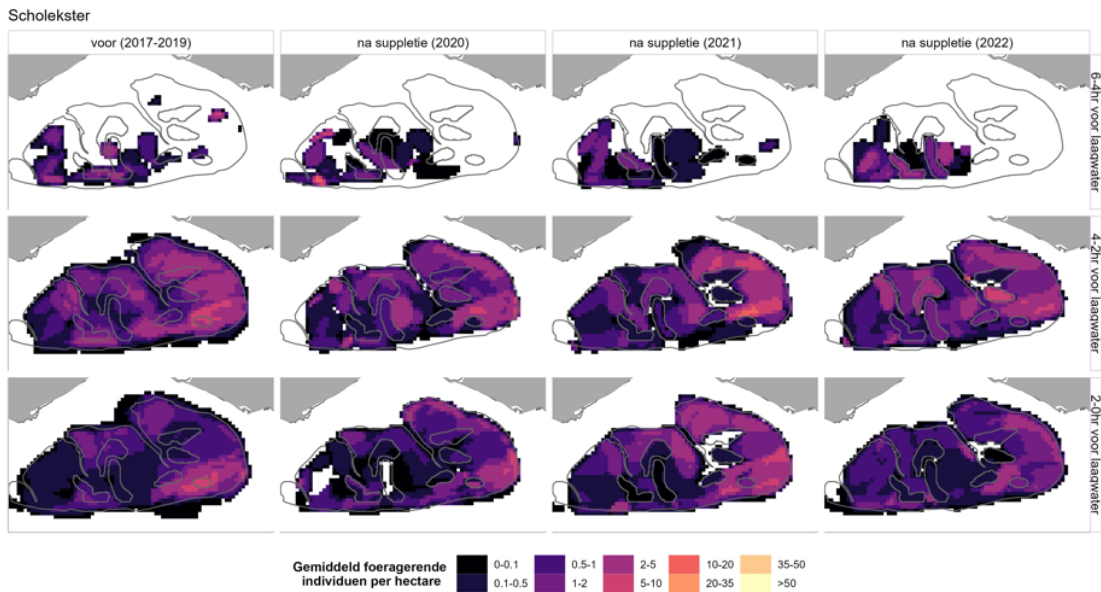
De kanoetstrandloper gebruikt de Roggenplaat ook anders (Figuur B4-8). Vanaf 2021 worden echter suppleties 4 en 5 wel weer gebruikt 6-4 uur voor laagwater. Tijdens de tweede telronde (4-2 uur voor laagwater) wordt afhankelijk van het jaar bepaalde suppleties wel of niet gebruikt (bijvoorbeeld suppleties 1, 4, 5 of 2). Tijdens de derde telronde (2-0 uur voor laagwater) worden de suppleties nauwelijks gebruikt met uitzondering van suppleties 1 en 5.



Figuur B4-8. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende kanoetstrandlopers op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd. Nummers van de suppleties zijn in de plot linksboven aangegeven.

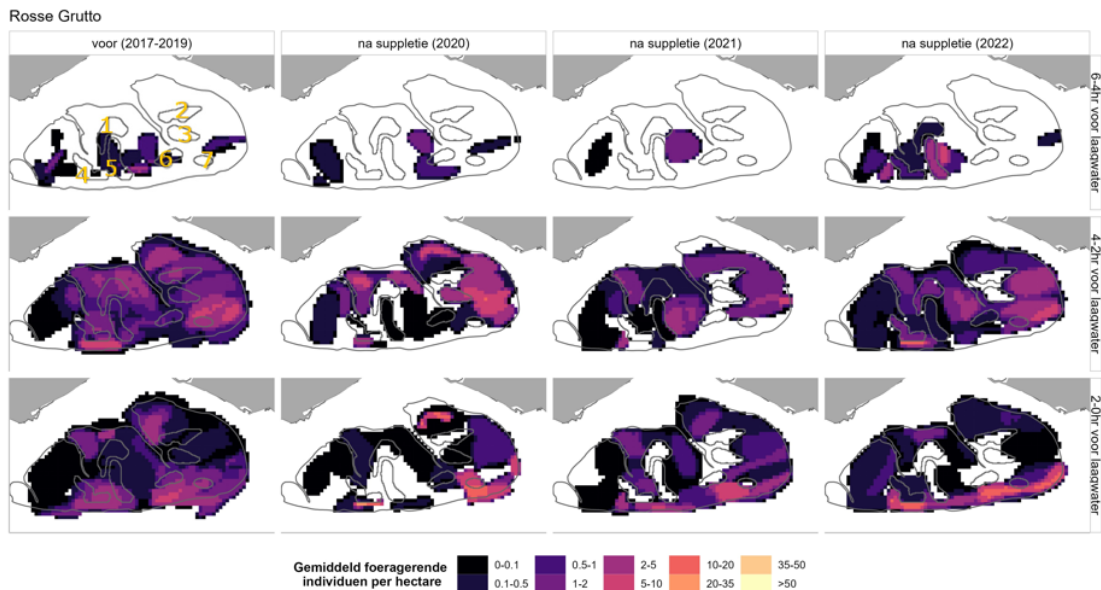


Scholeksters gebruiken net als een aantal andere soorten suppletie 4 en 5 6-4 uur voor laagwater in 2022 (Figuur B4-9). Tijdens de tweede telronde (4-2 uur voor laagwater) gebruiken scholeksters alle suppleties weer, met name suppletie 1 en 3. Laagwater (2-0 uur voor laagwater) laat een wisselend beeld zien tussen de jaren wat betreft in welke mate suppleties worden gebruikt.



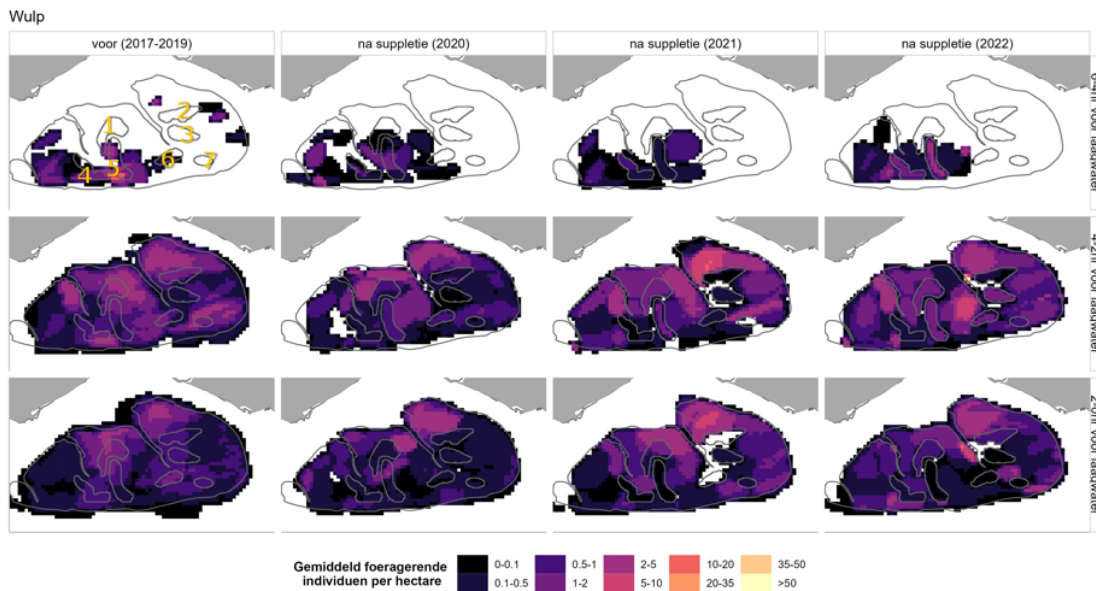
Figuur B4-9. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende scholeksters op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd. Nummers van de suppleties zijn in de plot linksboven aangegeven.

Ook rosse grutto's gebruiken in 2022 het gebied op en rond suppletie 4 en 5 tijdens de eerste telronde (6-4 uur voor laagwater) (Figuur B4-10). Tijdens de tweede telronde (4-2 uur voor laagwater) worden alle suppleties weer gebruikt met uitzondering van suppletie 2 en 3. Met laagwater (2-0 uur voor laagwater) ziet het beeld er nog duidelijk anders uit. Er zijn dan hoge dichtheden te vinden langs de zuidkant van de plaat.



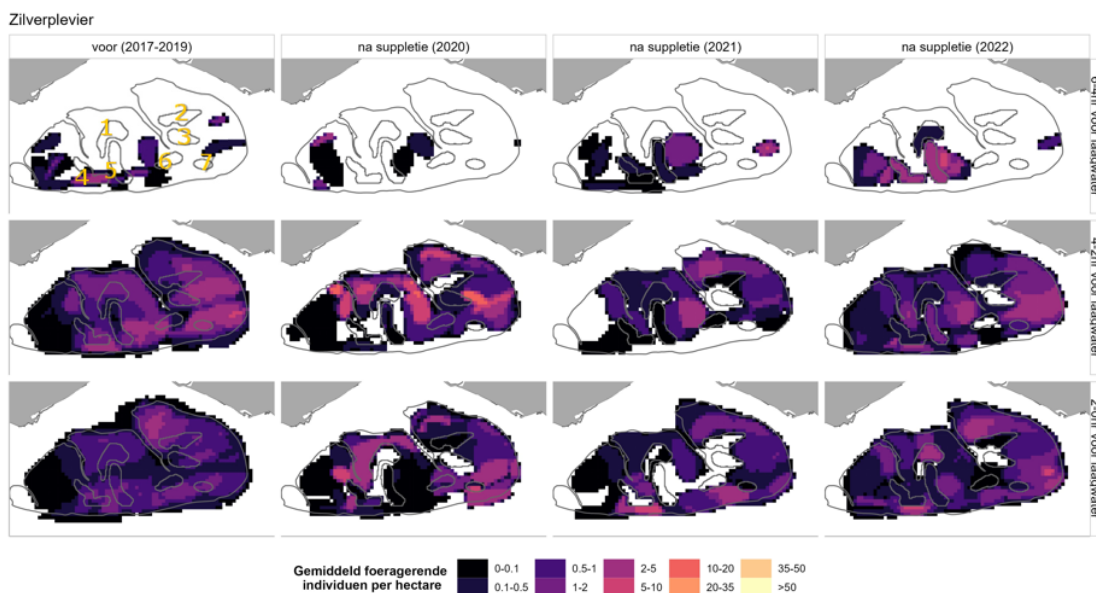
Figuur B4-10. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende rosse grutto's op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd. Nummers van de suppleties zijn in de plot linksboven aangegeven.

De verspreiding van de wulp is 6-4 uur voor laagwater redelijk hetzelfde gebleven, alhoewel in 2022 suppletie in 4 en 5 in toenemende mate gebruikt wordt (Figuur B4-11). Verder valt op dat gedurende de tweede telling de suppleties weer in toenemende mate gebruikt worden, met name suppleties 1 en 5, maar in 2022 ook 3 en 6. Verspreidingspatronen keren langzaam terug naar die van voor de suppleties.



Figuur B4-11. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende wulpen op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd. Nummers van de suppleties zijn in de plot linksboven aangegeven.

De zilverplevier gebruikt in 2022 maar ook in 2021 de suppleties 4 en 5 gedurende de eerste telronde (6-4 uur voor laagwater) (Figuur B4-12). Gedurende de twee daaropvolgende tellingen (4-0 uur voor laagwater) worden de suppleties over de jaren na aanleg minder gemeden, met name suppleties 5 en 1 worden gebruikt.



Figuur B4-12. Ruimtelijke verspreiding van gemiddelde dichtheid foeragerende zilverplevieren op de Roggenplaat in de aangegeven periode. De grijze belijning binnen de plaat geeft aan waar de suppleties zijn aangelegd. Nummers van de suppleties zijn in de plot linksboven aangegeven.

### B4.3.1. Verspreiding van vogels vs omgevingsfactoren

#### Onderliggende kennisvraag vogels 1

Is de verspreiding van benthos-etende vogels gerelateerd aan factoren zoals droogvalduur, sediment (vocht), voedselkwaliteit?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

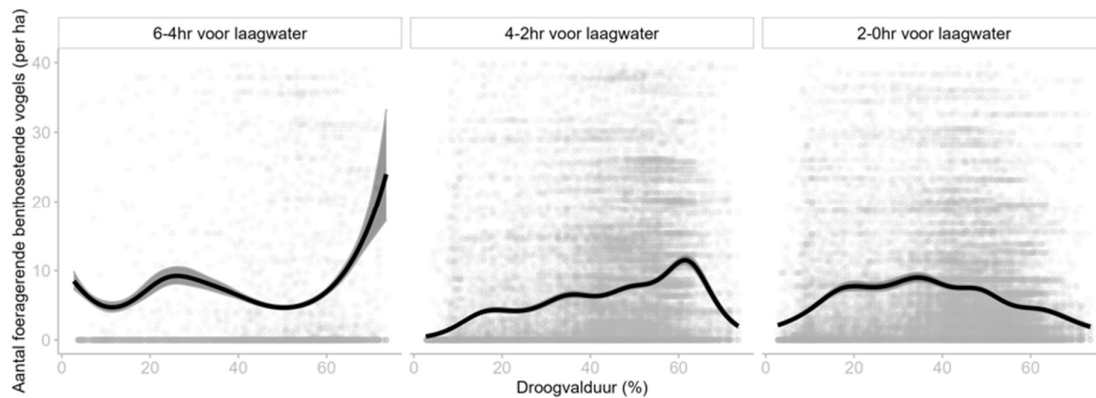
Verspreiding van steltlopers, bergeenden en meeuwen is gerelateerd aan droogvalduur. Ze beginnen met foerageren vroeg in het getij op de hogere delen van de plaat waar ze dan voorkomen in relatief hoge dichtheden. Vervolgens bewegen ze deels mee met het wegtrekkende water naar lageregelegen delen op de Roggenplaat. Rond de laagwater periode (2-0 uur voor laagwater) zijn de dichtheden per hectare lager omdat de plaat dan grotendeels droog ligt en vogels zich meer over de plaat hebben verspreid. Soorten verschillen in hun voorkeur voor droogvalduur per telmoment. Zo zit de zilvermeeuw 2 tot 0 uur voor laagwater op de allerlaagste delen van de plaat. De rosse grutto lijkt ook een sterke voorkeur te hebben voor de allerlaagste gebieden in deze telperiode. De wulp blijft daarentegen in het algemeen relatief hoog op de plaat, maar is vroeg in het getij ook al wel in relatief hoge aantallen op relatief lagere delen aanwezig, die gedurende de eerste telronde nog deels onder water staan. Andere soorten zitten meer 'op een kluitje' vroeg in het getij en verspreiden zich meer over de plaat wanneer dit kan, zoals de bonte strandloper, kanoet en zilverplevier. Andere variabelen zijn waarschijnlijk ook belangrijk in het verklaren van verspreiding van vogels, zoals sedimentsamenstelling, bodemdiersamenstelling en -dichtheid en mogelijk het vochtgehalte in het zand. Deze variabelen zullen in de eindrapportage aan bod komen.

De verspreiding van benthos-etende vogels is gerelateerd aan allerlei variabelen, zoals sedimentsamenstelling, droogvalduur en voedselkwaliteit (Bakker et al., 2021; Rappoldt et al., 2006; Swarts et al, 2009). Echter, verschillen deze relaties tussen soorten en gebieden. Door de relaties tussen (a-)biotiek en vogels te bestuderen in de Oosterschelde, leren we waarom bepaalde gebieden belangrijk zijn voor vogels en waarom bepaalde gebieden gemeden worden. In dit hoofdstuk tonen we vooral een aantal explorerende plots van de relatie tussen droogvalduur en vogeldichtheden en de rol die de suppleties hierbij hebben gespeeld. Voor de hieronder gepresenteerde figuren is de ruimtelijke data gebruikt als beschreven hierboven voor de ruimtelijke plots. Deze is gekoppeld aan de jaarlijkse hoogtekarten die weer zijn omgerekend naar een percentage droogvalduur (%) (van Donk, 2022). De gebruikte hoogtekarten waren niet op alle plekken waar vogels geteld zijn dekkend. De aantallen aan de randen van de plaat zonder hoogtemeting zijn daarom verwijderd. Ook zijn binnen de analyse 24 punten met een droogvalduur boven de 80% verwijderd.

Voor de analyse tussen droogvalduur en foeragerende vogels voor de suppleties is een generalized additive model gefit met een negatieve binomiale verdeling. Dit model beschrijft de patronen in de data het best; de relatie tussen responsvariabele en verklarende variabele zijn niet lineair en variëren tussen twee extremen (dat is er zitten veel nullen in de data) waar dit model beter mee om kan gaan. In dit model zijn de aantal foeragerende benthos-etende vogels gebruikt als responsvariabele en droogvalduur (tussen de 0% en 100%), telperiode (6-4hr voor, 4-2hr voor en 2-0hr voor laagwater) en een interactie tussen deze twee als verklarende variabelen. De interactie tussen droogvalduur en telperiode is toegevoegd, omdat we verwachten dat niet alleen de intercept (startpunt van een regressielijn), maar ook het patroon tussen foeragerende benthos-etende vogels en droogvalduur verschilt tussen de telperiodes.

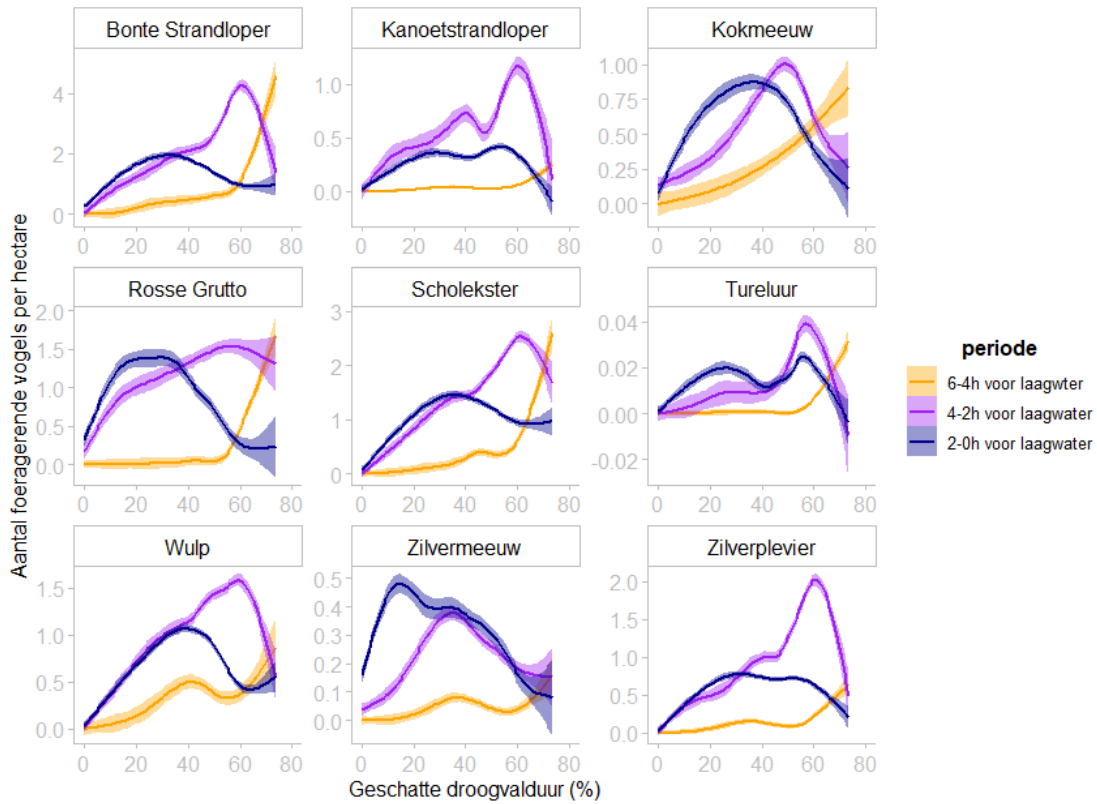
De dichtheid foeragerende vogels weergegeven in Figuur B4-14 is verklaard m.b.v. een statistisch model op basis van zowel de droogvalduur van een plek en het moment van de telling ( $p < 0.001$ ). Benthos-etende vogels beginnen vroeg in het getij op de hogere delen, in relatief hoge dichtheden, met foerageren en bewegen deels mee met het wegtrekkende water naar lageregelegen delen op de Roggenplaat (Figuur B4-14). Rond de laagwaterperiode (2-0 uur voor laagwater) verspreiden vogels zich meer over de plaat. Het is niet helemaal duidelijk waarom er ook relatief hoge dichtheden vogels worden voorspeld op iets lageregelegen delen (~20% droogvalduur), ook deels op nog niet drooggevallen delen, gedurende de eerste telperiode. Het kan zijn dat een aantal zeer hoge tellingen

van specifieke soorten dit effect teweegbrengt, bijvoorbeeld vogels die in dieper water foerageren 6-4 uur voor laagwater. Analyses per vogelsoort kunnen hier verduidelijking in brengen.



Figuur B4-14. Modeluitkomsten van het aantal foeragerende benthos-etende vogels (steltlopers, bergeend en meeuwen) per hectare in relatie tot droogvalduur (selectie jaren 2017-2019 met uitzondering van de maanden van de suppletie). Een plek met een droogvalduur van nul komt (zo goed als) nooit droog te liggen en een plek met droogvalduur 100 verdwijnt niet onder het water. De doorzichtige band om de lijnen geeft de standaardfout aan. De (doorzichtige) punten geven de datapunten gebruikt in het model. Voor de leesbaarheid van de grafiek is de y-as ingekort.

Het gebruikte model was duidelijk beter dan een nul-model (een model zonder verklarende variabelen) zoals gebleken uit een vergelijking van beide modellen met een zogenaamde Akaike Information Criterion (AIC). De AIC wordt gebruikt als maat voor het verklaringsvermogen van een model. Hoe lager de AIC ten opzichte van een ander model, hoe beter het verklaringsvermogen. Het gebruikte model was 2371 AIC lager dan het nul-model en het model verklaarde 2.93% van de spreiding. Dit laatste betekent dat het model nog verre van perfect is; er is nog veel onverklaarde variatie in de data. Dit is echter gedeeltelijk ook te verwachten, omdat vogels reageren op veel factoren in hun omgeving, zoals lokale weerscondities, verstoringen door mensen of predatoren, gedrag van soortgenoten of conditie van vogels zelf. Veel van deze factoren hebben we niet gemeten of kunnen we niet meten.



Figuur B4-15. Aantal foeragerende vogels voor de meest voorkomende soorten per telperiode per hectare in relatie tot droogvalduur, per telperiode (selectie jaren 2017-2022). De relatie tussen droogvalduur en aantal foeragerende vogels is in de grafiek getekend met de smoother functie van ggplot, die de functie 'gam' and formula 'y ~ s(x, bs = "cs")' gebruikt.

Soorten verschillen hun voorkeur voor droogvalduur per telmoment (Figuur B4-15). Zo zit de zilvermeeuw 2-0 uur voor laagwater op de allerlaagste gebieden. De rosse grutto lijkt ook een sterke voorkeur te hebben voor de allerlaagste gebieden in deze telperiode. De wulp blijft daarentegen in het algemeen relatief hoog op de plaat, maar is vroeg in het getij al wel in relatief hoge aantallen op wat lagere delen aanwezig. Andere soorten zitten meer `op een kluitje vroeg in het getij en verspreiden zich meer over de plaat wanneer dit kan zoals de bonte strandloper, kanoet en zilverplevier.

### B4.3.2. Het benutten van de suppleties door de vogels

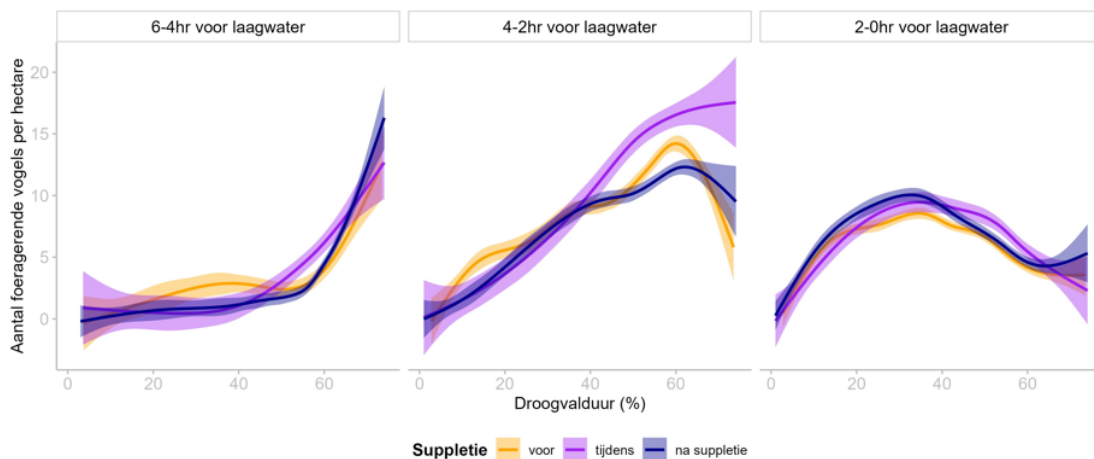
#### Onderliggende kennisvraag vogels 2

Hoe worden de suppleties benut door benthos-etende vogels in vergelijking tot niet-gesuppleerde delen van de Roggenplaat?

*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Foerageerdruk, aantallen benthos-etende vogels en soortsaamenstelling op de gehele plaat lijken niet enorm veranderd te zijn na de suppleties. Ook is het patroon tussen foeragerende vogels en droogvalduur grotendeels vergelijkbaar voor en na de suppleties. Maar vogels zijn de plaat na de suppleties wel anders gaan gebruiken in ruimtelijke zin. Vogels vermeden de gesuppleerde delen direct na de aanleg grotendeels. Hierdoor is de foerageerdruk in de jaren na de werkzaamheden op plekken waar is gesuppleerd lager dan voorheen, vergeleken met gebieden met een vergelijkbare droogvalduur. De foerageerdruk nam op gesuppleerde delen af na de suppleties eind 2019, met name in droogvalduurcategorieën 40-60% en 60-80%. In 2022 lijkt de foerageerdruk op de suppleties tussen gebieden in de categorie 60-80% wel weer bijgetrokken. Wanneer we inzoomen op de suppleties zelf, is te zien dat sommige suppleties weer min of meer terug zijn op de foerageerdruk van voor de suppleties, zoals suppletie S3, S5, S1 en S4. Dit wordt deels veroorzaakt doordat vogels op sommige suppleties meer tijd hebben om te foerageren doordat deze vroeger droogvallen (6 tot 4 uur voor laagwater). Op suppletie S3 zijn in het laatste jaar (2022) opvallend veel scholeksters en kokmeeuwen waargenomen die op de suppletie foerageren. Suppletie S4 werd in 2022 meer dan voorheen bezocht door drieteenstrandlopers.

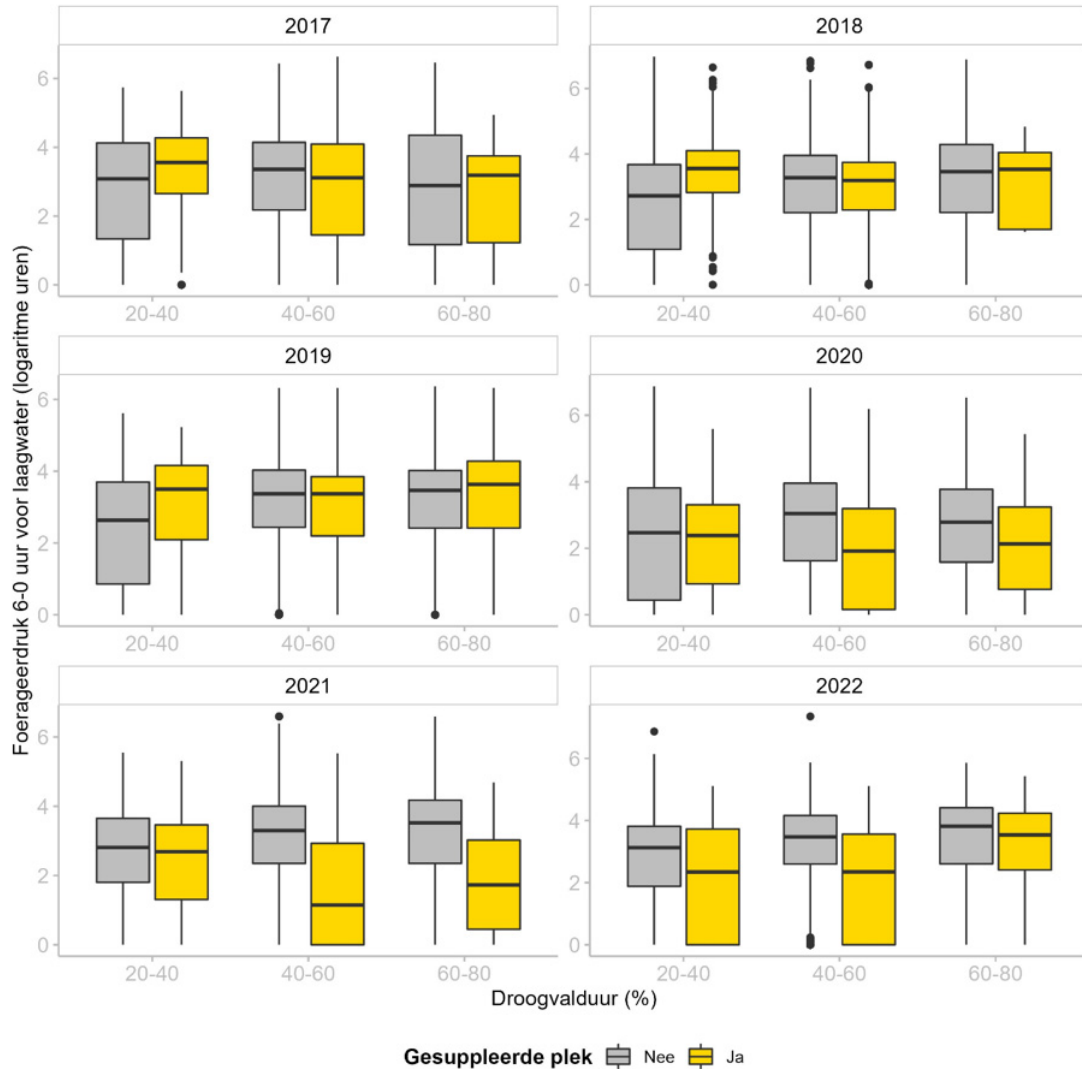
Na en tijdens de suppletie zijn de patronen van het gebruik van het gebied wat betreft droogvalduur nog grotendeels hetzelfde (Figuur B4-16). Tijdens de suppleties lijken er wat hogere dichtheden vogels te foerageren op hoger gelegen delen 4-2 uur voor laagwater, alhoewel deze periode maar 3 maanden aan data bevat.



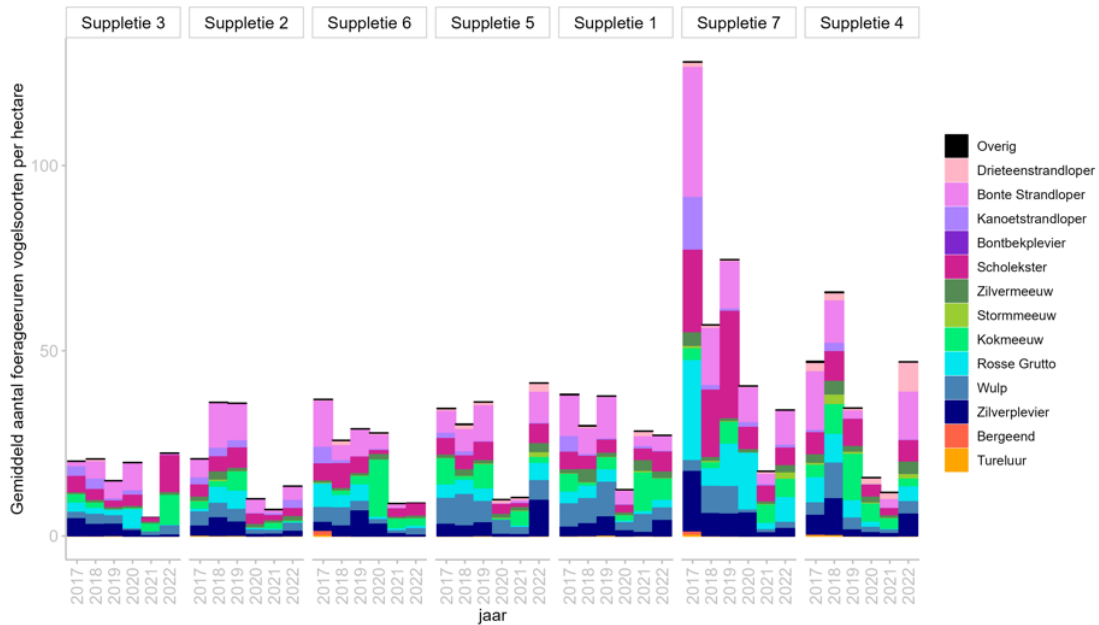
*Figuur B4-16. Aantal foeragerende benthos-etende vogels (steltlopers, bergeend en meeuwen) per hectare in relatie tot droogvalduur, voor, tijdens en na de suppleties (selectie jaren 2017-2022). De relatie tussen droogvalduur en aantal foeragerende vogels is in de grafiek getekend met de smoother functie van ggplot, die de functie 'gam' and formula 'y ~ s(x, bs = "cs")' gebruikt.*

Ondanks dat de algehele patronen wat betreft foerageren en droogvalduur niet in extreme mate veranderd lijken te zijn, is de foerageerdruk in de jaren na de werkzaamheden op suppleties wel degelijk lager dan voorheen vergeleken op plekken met een vergelijkbare droogvalduur (Figuur B4-17).

De foerageerdruk tussen 6-0 uur voor laagwater is berekend door elke getelde vogel om te zetten naar 2 foerageeruren. Op deze manier kunnen de drie telmomenten bij elkaar opgeteld worden. Te zien is dat voor de suppleties uitgevoerd werden (eind 2019) de plekken waar wel en niet gesuppleerd is ongeveer een vergelijkbare foerageerdruk hadden. In de jaren erna lijkt de foerageerdruk vooral in de droogvalduurcategorie 40-60% en 60-80% lager dan in niet gesuppleerde delen. In 2022 lijkt de foerageerdruk tussen gebieden in de categorie 60-80% wel weer bijgetrokken.

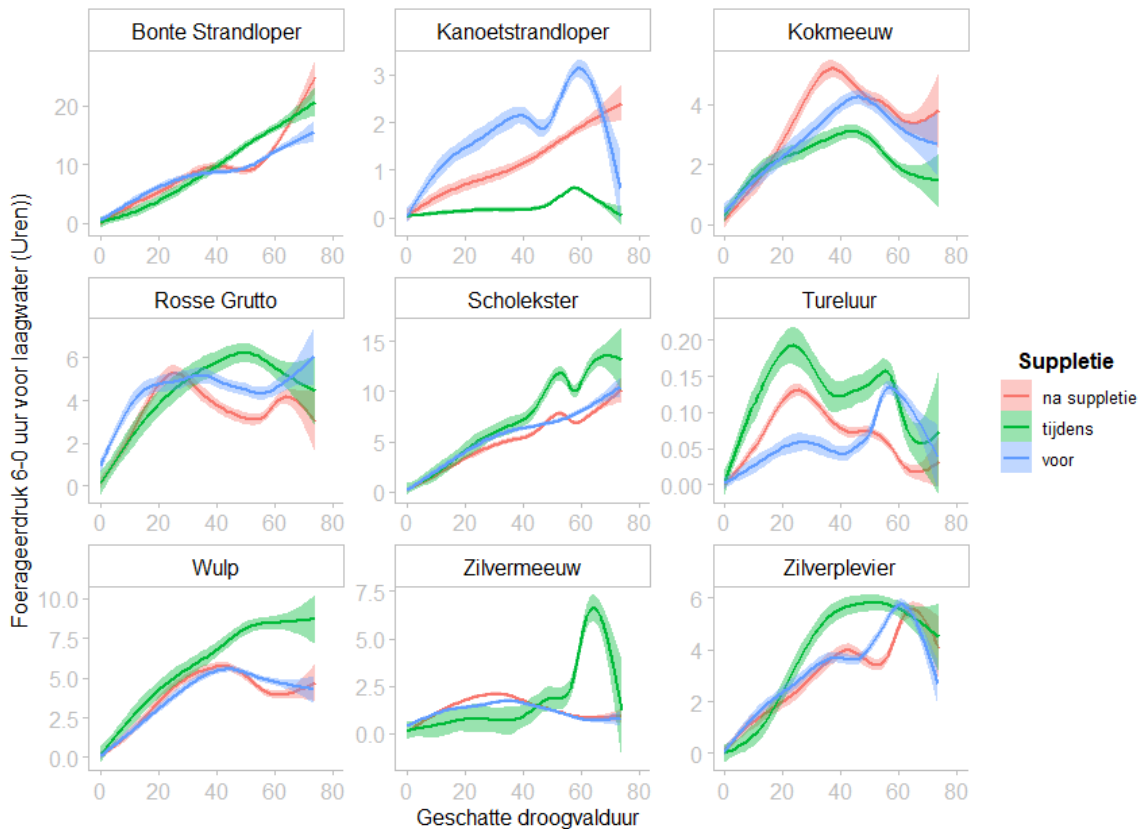


Figuur B4-17. Foerageerdruk van benthozetende soorten op logaritmische schaal (steltlopers, bergeenden en meeuwen) in relatie tot droogvalduur in categorieën, bekeken voor plekken die gesuppleerd zijn en niet gesuppleerd zijn. Droogvalduur <20% is weggelaten omdat daar geen suppleties liggen.



Figuur B4-18. Gemiddeld aantal Foerageeruren per hectare van benthosetende soorten op de verschillende suppleties, geordend van de dunste naar de dikste suppletie.

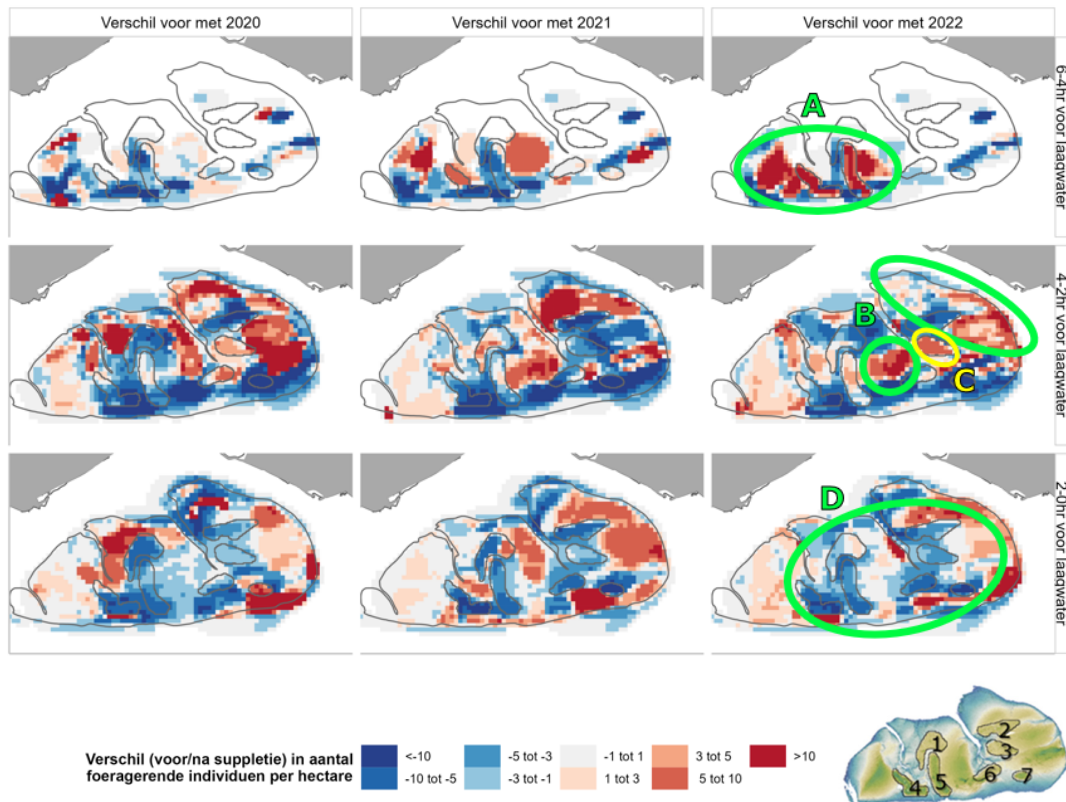
Wanneer we inzoomen op de suppleties zelf, is te zien dat sommige suppleties weer min of meer terug zijn op de foerageerdruk van voor de aanleg van de suppleties, zoals suppletie 3, 5, 1 en 4 (Figuur B4-18). Suppletie 3 heeft in het laatste jaar wel opvallend veel scholeksters en kokmeeuwen die op de suppletie foerageren. Suppletie 4 wordt in 2022 meer dan voorheen bezocht door drieteenstrandlopers.



Figuur B4-19. Foerageerdruk voor de negen meest voorkomende soorten in relatie tot droogvalduur, voor, tijdens en na de suppleties (selectie jaren 2017-2022) op de gehele Roggenplaat. De relatie tussen droogvalduur en aantal foeragerende vogels is in de grafiek getekend met de smoother functie van ggplot, die de functie 'gam' and formula 'y ~ s(x, bs = "cs")' gebruikt.



De foerageerpatronen in relatie tot droogvalduur ten opzichte van de aanleg (ervoor, tijdens, erna) lijken voor sommige soorten min of meer hetzelfde gebleven zoals voor de scholekster, wulp, zilvermeeuw en zilverplevier, maar wijken nog af voor andere soorten zoals de kanoet, kokmeeuw en tureluur alhoewel die laatste in erg lage dichtheden voorkomt op de Roggenplaat (Figuur B4-19).



Figuur B4-20. Verschilkaarten van het aantal foeragerende individuen per hectare tussen de periode vóór de aanleg (2017-2019) en de jaren 2020, 2021 en 2022 (blauw staat voor afname in dichtheden en rood staat toename in dichtheden). Gekleurde ellipsen wijzen op een aantal ontwikkelingen tussen de aanleg in 2022 die met letters (A-C) worden toegelicht in de tekst. Onder: Legenda en weergave van de suppleties nummering.

De verschilkaarten van het aantal foeragerende individuen per hectare tussen de periode vóór de aanleg (2017-2019) en de jaren 2020, 2021 en 2022 (Figuur B4-20) verduidelijken veranderingen in het ruimtelijk gebruik van de Roggenplaat door vogels. De volgende ontwikkelingen vallen hier op tussen foerageergedrag vóór aanleg en het laatste complete teljaar 2022:

- Sterke toename in foerageerdruk op en rondom (ten oosten en westen) suppleties 4 en 5 6 tot 4 uur voor laagwater.
- Tussen 4 en 2 uur voor laagwater schuiven de verhoogde niveaus van foerageerdruk naar het noordoosten, wel buiten suppleties 2, 6 en 7.
- Toename in foeragerende individuen op suppletie 3 (vooral scholeksters en kokmeeuwen) tussen 2 en 4 uur voor laagwater
- Tijdens de telling van 2-0 uur voor laagwater worden alle suppleties minder gebruikt door foeragerende vogels vergeleken met de periode voor de suppleties. In deze periode verplaatsen vogels zich meer naar de buitenrand van de plaat, langs de waterlijn.

---

# Bijlage 5 Zeehonden

## B5.1 Opbouw hoofdstuk

Dit hoofdstuk presenteert de tellingen van zeehonden die sinds 2018 zijn uitgevoerd op de Roggenplaat in het kader van de MWTL maandelijkse (vliegtuig)zeehondentellingen en maakt de vergelijking met overige tellingen uitgevoerd in de Oosterschelde. Het doel van dit hoofdstuk is om antwoord te geven aan onderstaande evaluatie vraag

### **Evaluatievragen:**

- 1.-Hoe ontwikkelt de zeehondenpopulatie zich op de Roggenplaat sinds 2018 op de Roggenplaat (in vergelijking met de Oosterschelde populatie)

## B5.2 Methodologie

Om te onderzoeken hoe de zeehondenpopulatie zich op de Roggenplaat ontwikkelt t.o.v. de trends in de gehele Oosterschelde en Delta is gebruik gemaakt van MWTL maandelijkse vliegtuig-zeehondentellingen (opgenomen in het biologisch monitoring programma van de Zoute Rijkswateren) vanaf 2015, zie Walles et al. (2021).

De zeehondentellingen op de Roggenplaat bestaat uit zes locaties (Middengeul, Westgeul, Oliegeul, Oude oliegeul, Roggenplaat West, Roggenplaat Oost). Omdat een groot aantal tellingen ontbreken voor de laatste vier locaties, zijn slechts de tellingen uit de Middengeul en Westgeul meegenomen voor deze analyse.

Om de tellingen van de Roggenplaat (Middengeul en Westgeul) te vergelijken met de rest van de Oosterschelde zijn de volgende zes tellocaties geselecteerd waarvan voldoende tellingen beschikbaar zijn voor vergelijking: Galgeplaat, Neeltje Jans, Neeltje Jansplaat, Stormvloedkering zeezijde, Werkeiland Neeltje Jans en Yerseke Noordergaatje.

## B5.3 Evaluatie ontwikkeling zeehondenpopulatie

In deze paragraaf staat onderstaande evaluatievraag centraal.

### **Evaluatievraag zeehonden 1**

Hoe ontwikkelt de zeehondenpopulatie zich op de Roggenplaat sinds 2018 (in vergelijking met de Oosterschelde populatie)?

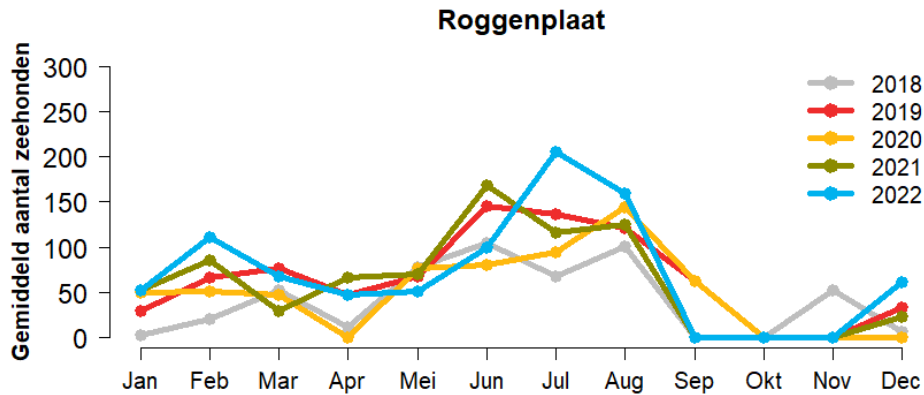
*Voorlopige samenvattende beantwoording:*

Zeehonden tonen een duidelijke seizoenvariatie aan met hogere aantallen op de Roggenplaat tussen juni en augustus. Er is geen duidelijke jaarlijkse trend gevonden in de hoogte van deze zomerwaarden mogelijk in verband te brengen met de aanleg van de suppleties. De verschillen tussen de Roggenplaat en de rest van de Oosterschelde op basis van maandelijkse dan wel jaarlijkse gemiddelden in zeehonden aantallen zijn niet significant verschillend.

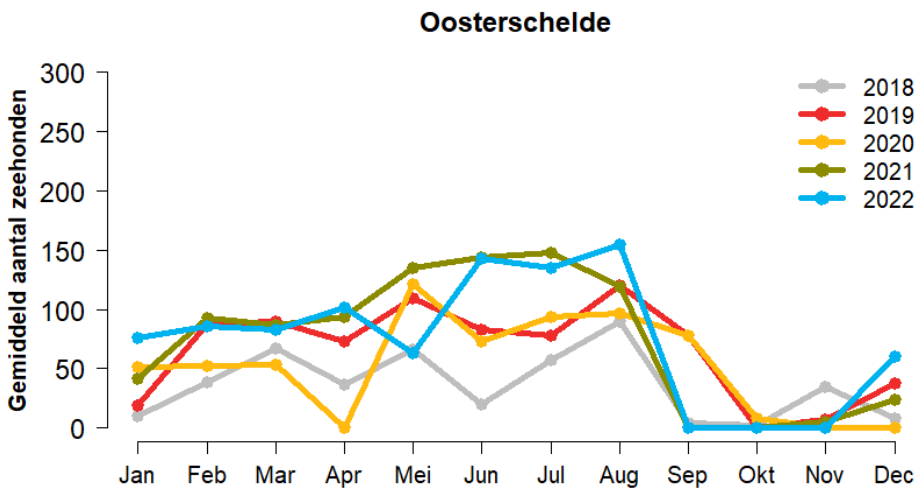
Op de Roggenplaat zoals in de rest van de Oosterschelde bestaat de zeehondengemeenschap vooral uit gewone zeehond waarbij de grijze zeehond, af en toe wordt waargenomen op de Galgeplaat. Daardoor zijn onderstaande resultaten exclusief gebaseerd op de tellingen van gewone zeehonden.

De tellingen tonen een duidelijke seizoensvariatie aan met hogere aantallen zeehonden op de Roggenplaat tussen juni en augustus (Figuur B5-1). Er is geen duidelijke jaarlijkse trend in het maandelijks gemiddelde aantal zeehonden geteld op de Roggenplaat.

De zomerpiek in aantal zeehond is minder geaccentueerd (vlakker) in de Oosterschelde dan op de Roggenplaat (Figuur B5-2) maar de verschillen tussen de Roggenplaat en de Oosterschelde op basis van maandelijks dan wel jaarlijkse gemiddelden zijn niet significant verschillend.



Figuur B5-1. Trend van het gemiddeld aantal zeehonden per maand op de Roggenplaat tussen 2018 en 2022. De waarden zijn gebaseerd op maandelijks tellingen.



Figuur B5-2. Trend van het gemiddeld aantal zeehonden per maand in de Oosterschelde over de periode 2018 tot en met 2022. De waarden zijn gebaseerd op maandelijks tellingen.

---

## Bijlage 6 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.

Het Chemisch en Benthos laboratorium beschikken over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het Chemisch en Benthos laboratorium hebben hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwaame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie ([www.rva.nl](http://www.rva.nl)).

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

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken cq bekwaamheidsonderzoeken (3<sup>e</sup> lijnscontrole).

Daarnaast worden bij iedere meetserie nog andere kwaliteitscontroles uitgevoerd waaronder 1<sup>e</sup> lijns (controlemonsters) en 2<sup>e</sup> lijns controles.

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

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

---

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)

---

**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.

Bezoekers adres:

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



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'