

Vorstudie Suppletie Middengebied Oosterschelde

Systeemkennis en aanbevelingen voor het ontwerpproces



Voorstudie Suppletie Middengebied Oosterschelde

Systeemkennis en aanbevelingen voor het ontwerpproces

Auteur(s)

Lodewijk de Vet
Brenda Walles
Nienke Vermeer
Jebbe van der Werf
Susanne van Donk
Vincent Escaravage

Foto omslag: aanleg Roggenplaat suppletie in 2019 (Edwin Paree/Rijkswaterstaat)

Voorstudie Suppletie Middengebied Oosterschelde

Systemekennis en aanbevelingen voor het ontwerpproces

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zee en Delta
Contactpersonen	de heer R.J.P. Blok (TM) en de heer C.A. Schipper (PM) in opdracht van project PAGW Galgeplaat e.o.
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Suppletie, Oosterschelde, Middengebied, Behoud foerageerfunctie, Zandhonger

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	27-10-2023
Projectnummer	11208553-002
Document ID	11208553-002-ZKS-0004
Pagina's	111
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Lodewijk de Vet	Deltares
	Brenda Walles	WMR
	Nienke Vermeer	Deltares
	Jebbe van der Werf	Deltares
	Susanne van Donk	WMR
	Vincent Escaravage	WMR

Samenvatting

Rijkswaterstaat is binnen de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) van plan om in het Middengebied van de Oosterschelde in 2026/2027 te suppleren met als belangrijkste doelstelling de foerageerfunctie van de intergetijdengebieden in de Oosterschelde te behouden. Suppleren is in het kader van de Natura-2000 instandhoudingsdoelen noodzakelijk omdat deze intergetijdengebieden onder druk staan door zandhonger (afkalving van de zandplaten als gevolg van de Oosterscheldekering) en versnelde zeespiegelstijging. Met deze suppletie wordt concreet beoogd de foerageerfunctie voor de steltlopers in het Middengebied voor de komende 25 jaar in stand te houden.

Dit rapport, gezamenlijk opgesteld door Deltares en Wageningen Marine Research (WMR), ontsluit kennis en ervaring van het Middengebied en de voorgaande suppleties in de Oosterschelde sinds 2008, in het bijzonder de Roggenplaat suppletie van 2019. Deze voorstudie resulteert in aanbevelingen voor de aanstaande ontwerpstudie van de Middengebied suppletie en voor project-overstijgend suppletieonderzoek in de Oosterschelde.

De belangrijkste aanbeveling is om het ontwerpproces zoals gevolgd bij de Roggenplaat suppletie als startpunt te nemen voor het ontwerp van de suppletie in het Middengebied. Hierbij kunnen het destijds gehanteerde afwegingskader en de ontwerpprincipes grotendeels overgenomen worden. Om recht te doen aan de belangrijkste doelstelling – behoud van de foerageerfunctie – is het advies om in de ontwerpstudie de draagkracht van het foerageersysteem van het Middengebied in beschouwing te nemen inclusief de niet-gesuppleerde gebieden. De suppletie zelf zorgt namelijk voor een tijdelijke achteruitgang in foerageerhabitat die opgevangen moet kunnen worden door de niet-gesuppleerde gebieden.

De rekolonisatie van bodemleven en het herstel van de foerageerfunctie is complex en van vele factoren afhankelijk, en nog niet voldoende begrepen. Daarom is doorontwikkeling van kennis en ontwerpconcepten essentieel. Diverse uitbreidingen van de ontwerpprincipes en pilot-experimenten zijn voorgesteld om te pogen de ecologische meerwaarde van de suppletie (ten bate van de foerageerfunctie) zo groot mogelijk te maken en de ecologische hersteltijd van de suppletie te beperken. Met monitoring van de toekomstige suppleties kan de kennisopbouw voor opvolgende suppleties in de Oosterschelde worden geborgd, zodat deze steeds doelmatiger kunnen worden ontworpen en gerealiseerd.

Een uitgebreidere samenvatting van dit rapport is te vinden in Hoofdstuk 5.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doelstelling voorstudie	9
1.3	Verantwoording en input externen	10
1.4	Leeswijzer	10
2	Huidige praktijk van suppletieontwerp in de Oosterschelde	11
2.1	Overzicht van uitgevoerde suppleties in de Oosterschelde	11
2.1.1	Galgeplaat (2008)	12
2.1.2	Schelphoek (2011)	13
2.1.3	Oesterdam (2013)	13
2.1.4	Roggenplaat (2019)	14
2.2	Ontwerp van de Roggenplaat suppletie	14
2.2.1	Ontwerpproces	14
2.2.2	Afwegingskader	15
2.2.3	Doelstellingen van de Roggenplaat suppletie	16
2.2.4	Doelindicatoren	16
2.2.5	Randvoorwaarden voor opstellen uitsluitingsgebieden	17
2.2.6	Ontwerpprincipes	18
3	Eco-morfologische beschrijving van het projectgebied	20
3.1	Hydromorfologie	20
3.1.1	Droogvalduur	20
3.1.2	Wind	21
3.1.3	Golven	22
3.1.4	Stroomsnelheden	23
3.1.5	Bodemhellingen	27
3.1.6	Sedimentsamenstelling	27
3.1.7	Morfologische ontwikkelingen	28
3.2	Vogels	39
3.2.1	Trends van steltlopers in de Oosterschelde	39
3.2.2	Steltlopers in het Middengebied van de Oosterschelde	44
3.2.3	Verklaringen verspreiding van vogels	50
3.2.4	Relatie benthos en vogels Middengebied	52
3.2.5	Interviews vogelonderzoekers	54
3.2.6	Wat kunnen we leren van de Roggenplaat suppleties en gedrag vogels	55
3.3	Macrofauna	60
3.3.1	Macrofauna en omgevingsfactoren in de intergetijdengebieden	60
3.3.2	Semi-kwantitatieve monitoring in het Middengebied	65
3.3.3	Effect van de suppleties op macrofauna op de Galgeplaat en de Roggenplaat	70
3.3.4	Benthos priming	73
3.3.5	Discussie over de ontwikkeling van bodemdieren in relatie tot suppleties	75

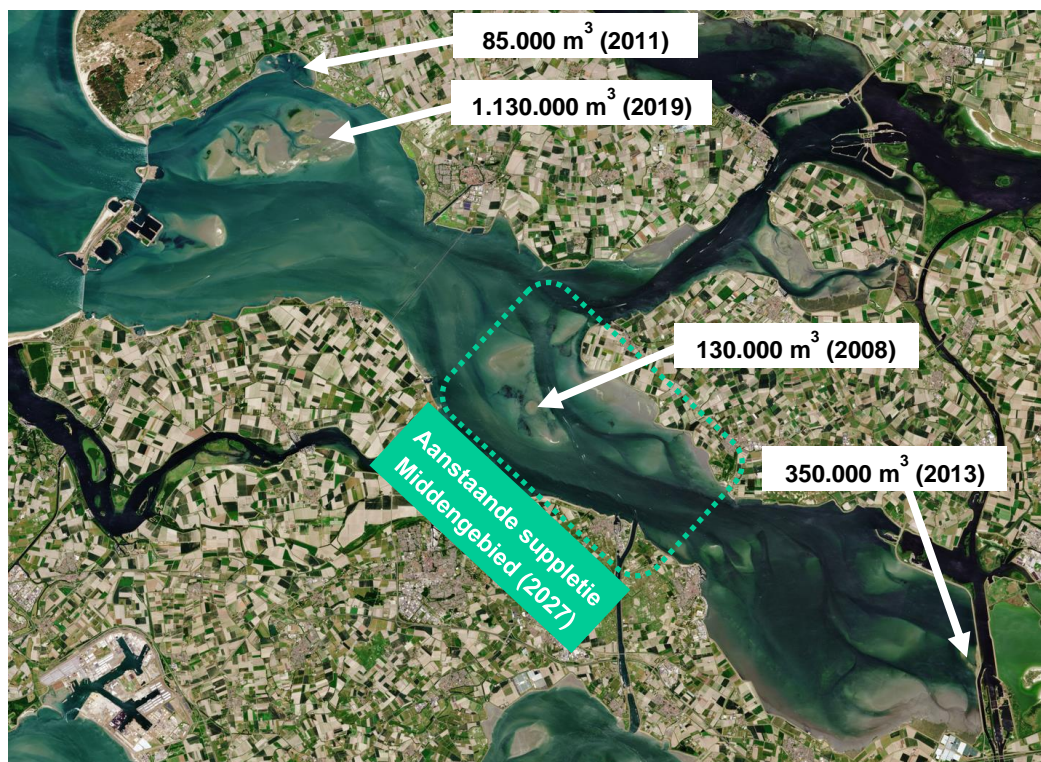
3.4	Oesterriffen	77
3.4.1	Ontwikkeling	77
3.4.2	Trends in sedimentatie en erosie	78
3.4.3	Uitstralingseffect	79
3.4.4	Biodiversiteit	79
3.4.5	Aanleg kunstmatige riffen	81
4	Toepasbaarheid en mogelijke verrijkingen van de huidige praktijk van suppletieontwerp in de Oosterschelde	85
4.1	Inleiding	85
4.2	Doelstellingen	85
4.2.1	Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Middengebied voor de komende 25 jaar	85
4.2.2	Voorkomen van een ongewenste golfaanval op de kust	86
4.2.3	Ontwikkelen van kennis voor flexibel, klimaatbestendig en kosteneffectief kustmanagement	87
4.3	Afwegingskader	87
4.3.1	Doelindicatoren	87
4.3.2	Randvoorwaarden voor opstellen uitsluitingsgebieden	88
4.4	Ontwerpprincipes	89
4.5	Belangenafweging en locatiekeuze	91
4.6	Suppletievolume	93
4.7	Erosie-remmende maatregelen	93
4.8	Maakbaarheid en uitvoerbaarheid	93
5	Synthese	94
5.1	Eco-morfodynamiek van het Middengebied	94
5.2	Suppleren in de Oosterschelde	95
5.3	Aanbevelingen ten aanzien van de ontwerpstudie suppletie Middengebied	97
5.3.1	Ontwerpproces	97
5.3.2	Doelstellingen en indicatoren	97
5.3.3	Randvoorwaarden voor opstellen uitsluitingsgebieden	98
5.3.4	Ontwerpprincipes	98
5.3.5	Pilot-experimenten	98
5.4	Project-overstijgend suppletieonderzoek in de Oosterschelde	99
	Literatuur	100

1 Introductie

1.1 Achtergrond

De intergetijdengebieden van de Oosterschelde vervullen een essentiële foerageerfunctie voor diverse vogelsoorten (met name steltlopers). Sinds de voltooiing van de Oosterscheldekering en compartimenteringsdammen (1987) zijn de intergetijdengebieden in de Oosterschelde onderhevig aan erosie en nemen deze af in hoogte en oppervlakte (Mulder & Louters, 1994; De Ronde et al., 2013; De Vet et al., 2017). Dit komt omdat de geulen van de Oosterschelde richting een nieuw evenwicht ontwikkelen met een kleiner geulvolume: ze hebben zogenaamde *zandhonger* en onttrekken sediment aan de intergetijdengebieden. Naast de zandhonger zijn de intergetijdengebieden ook onderhevig aan gevolgen van klimaatverandering zoals (versnelde) zeespiegelstijging (Stolte et al., 2023). Deze ontwikkelingen zetten de functies die deze intergetijdengebieden bieden – naast foerageerfunctie ook andere natuurwaarden, mosselkweek en veiligheidsaspecten – onder druk.

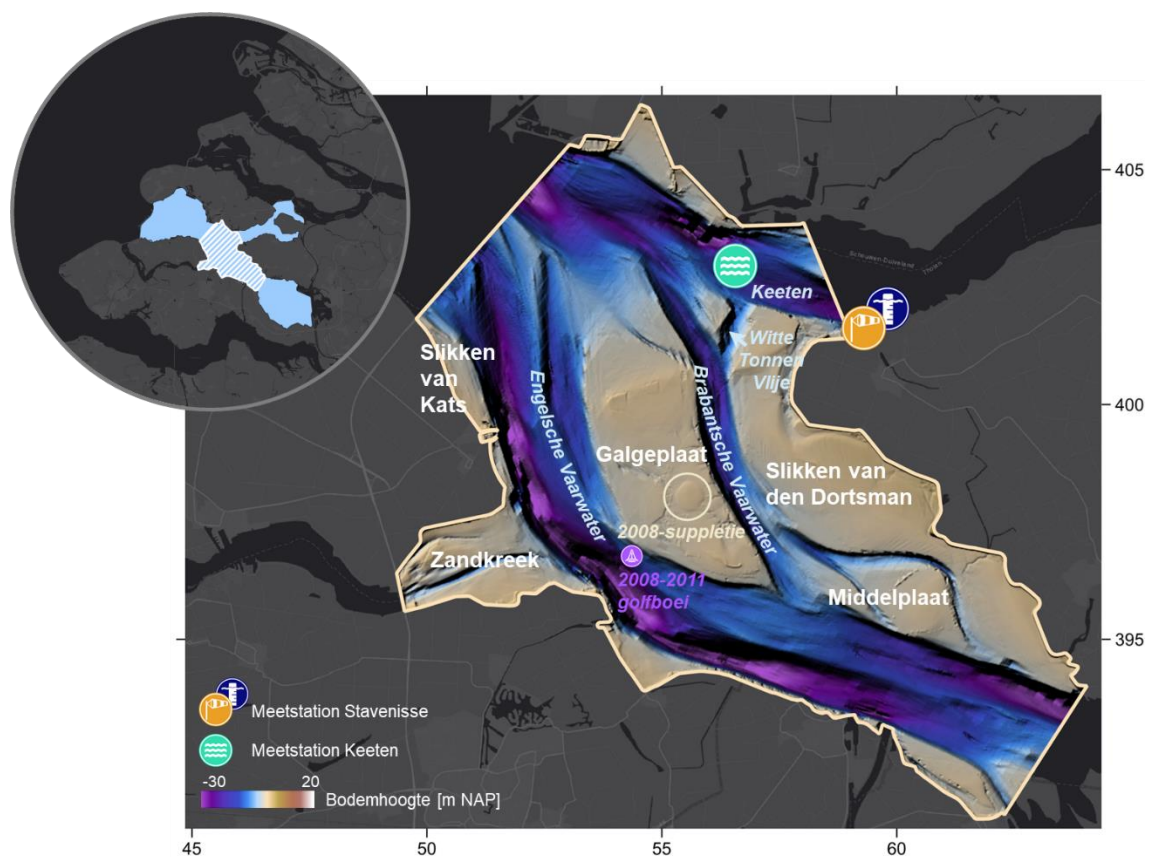
De voorkeursaanpak om de ecologische gevolgen van de erosie van de intergetijdengebieden te beperken – specifiek het veiligstellen van foerageerhabitat voor vogels – is het suppleren van de intergetijdengebieden met zand uit de geulen (MIRT Verkenning Zandhonger Oosterschelde, 2013). De tot dusver uitgevoerde (proef)suppleties op de Galgeplaat (2008), Schelphoek (2011), Oesterdam (2013) en Roggenplaat (2019) zijn in Figuur 1-1 aangegeven. Vergaarde kennis uit deze suppleties blijft bijdragen aan een verdere optimalisatie van de suppletieaanpak. In het kader van de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) staat de volgende suppletie gepland voor 2027 in het Middengebied van de Oosterschelde (Galgeplaat en omgeving).



Figuur 1-1. Suppletiecyclus in de Oosterschelde (Galgeplaat suppletie van 2008, Schelphoeksuppletie van 2011, Oesterdamsuppletie van 2013 en de Roggenplaat suppletie van 2019) weergegeven op een satellietfoto met de intergetijdengebieden bij laag water (Copernicus Sentinel data 2020, ESA, CC BY-SA 3.0 IGO licentie).

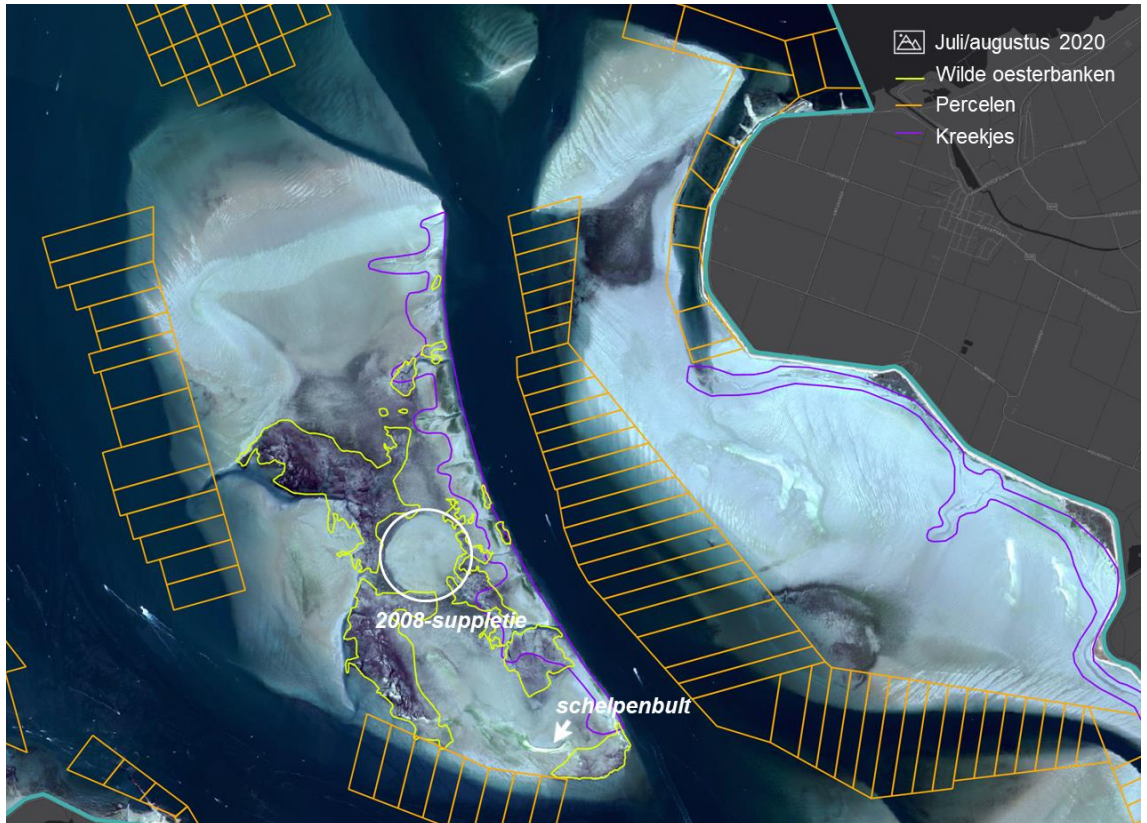
Het projectgebied van de aanstaande suppletie in het Middengebied van de Oosterschelde is in Figuur 1-2 weergegeven. Het projectgebied is begrensd door de Zeelandbrug in het noordwesten, de Zandkreekdam in het westen, de lijn Yerseke-Scherpenisse in het zuidoosten en de lijn Stavenisse-Ouwerkerk in het noordoosten. Het projectgebied wordt gekenmerkt door diverse uitgestrekte intergetijdengebieden. Anno 2021 besloeg het oppervlakte van de Galgeplaat 847 ha, van de Slikken van den Dortsman 1277 ha en van het overige intergetijdengebied 582 ha. Langs de dijk van de Slikken van den Dortsman zijn enkele schorren aanwezig die grotendeels onder het beheer van Staatsbosbeheer vallen.

Het Middengebied is één van de kerngebieden wat betreft vogelgebruik en volgt het Roggenplaat/Neeltje-Jans complex (voorgaande suppletie) op de prioriteitenlijst voor de in stand te houden kerngebieden (De Ronde et al., 2013). Net als bij de suppletie op de Roggenplaat is het doel van deze aanstaande suppletie het behoud van het foerageergebied voor de onder Natura2000 aangewezen beschermde vogelsoorten en het behoud van de rustplaats voor zeehonden (Rijkswaterstaat, 2022). Daarnaast is de suppletie bedoeld om de toename van golfaanval door zandhonger te voorkomen en kennis voor flexibel, klimaatbestendig en kosteneffectief suppleren voor toekomstige zandhongerregrepen te vergaren.



Figuur 1-2. Overzichtsfiguur van het Middengebied in de Oosterschelde. De locatie van de golfmeetlocatie Keeten en het waterstandsstation en windmeetstation Stavenisse zijn weergegeven. De golfboei die van mei 2008 tot juni 2011 gebruikt is voor aanvullende metingen is in paars weergegeven. De namen van geulen en platen zijn weergegeven op de Vaklodingen data van 2021. De suppletie op de Galgeplaat uit 2008 (Van der Werf et al., 2015) is omcirkeld.

De intergetijdengebieden in het Middengebied kennen een divers ruimtegebruik (Figuur 1-3). Op de Galgeplaat zijn grote (orde 100 ha) natuurlijke oesterriffen aanwezig en liggen er diverse mosselpercelen aan de randen van de intergetijdengebieden. De verwaterpercelen ten noorden van de Galgeplaat zijn alleen bedoeld voor calamiteiten veroorzaakt door cyanobacteriën, bekend als blauwalgen (TTX). De 2008 suppletie op de Galgeplaat is anno 2023 nog steeds zichtbaar aanwezig. Tot slot ligt er aan de zuidoostrand van de Galgeplaat een kenmerkende schelpenbult die voor het overgrote deel bestaat uit lege kokkelschelpen die duiden op een rijk bodemleven op de Galgeplaat. Er liggen met name aan de oostelijke plaatrand van de Galgeplaat diverse afwateringsgeulen.



Figuur 1-3. Luchtfoto uit juli/augustus 2020 (SuperView 50 cm RGB - Satellietdataportaal) van de Galgeplaat en Dortsman met daarop de wilde oesterbanken (alleen die op de Galgeplaat zijn gemarkeerd), mosselpercelen, 2008-suppletie (Van der Werf et al., 2015), de schelpenbult en kleine kreekjes aangegeven.

1.2 Doelstelling voorstudie

In de voorgaande suppletieprojecten is door Deltares en Wageningen Marine Research (WMR) met diverse andere partijen kennis en ervaring opgedaan met het ontwerp, de monitoring en de evaluatie van suppleties in de Oosterschelde. Met deze voorstudie ontsluiten wij kennis en ervaring van (1) het projectgebied, (2) de voorgaande suppleties en (3) literatuur die voor het ontwerpproces van de aanstaande suppleties noodzakelijk zijn. Inzichten uit de nog lopende monitoringstudie van de Roggenplaat dragen hier in belangrijke mate aan bij en zijn aangehaald in deze rapportage waar van toepassing. Het feitelijke ontwerpproces – inclusief het betrekken van stakeholders en ervaring van uitvoerende partijen – valt buiten deze voorstudie.

Deze voorstudie resulteert in aanbevelingen voor de aanstaande ontwerpstudie, onder andere wat betreft de te volgen randvoorwaarden, uitgangspunten en ontwerpprincipes. Het doel van deze voorstudie is expliciet niet het maken van ontwerpkeuzes, omdat deze het resultaat moeten zijn van een integrale belangenafweging die tijdens de ontwerpfase zal plaatsvinden. Kennis en overwegingen uit deze voorstudie dragen wel bij aan deze belangenafweging.

1.3 Verantwoording en input externen

Dit rapport is een gemeenschappelijk product van Deltares en WMR. De interne review is verzorgd door Arno Nolte (Deltares), met uitzondering van paragraaf 3.2, 3.3 en 3.4 waarvoor de review door Johan Craeymeersch (WMR) is verzorgd. Diverse instituten en personen hebben aan het resultaat van deze voorstudie bijgedragen. Rijkswaterstaat heeft metingen (o.a. de kwalitatieve bodemdierenbemonstering) en eigen analyses (modelresultaten en de geschiktheidskaart) beschikbaar gesteld. Veel van de kennis die in dit rapport is samengebracht, is in de voorgaande monitoringsprojecten opgedaan door het NIOZ, de Hogeschool Zeeland, WMR en Deltares. Onderdeel van deze voorstudie waren twee interactieve werksessies waarmee door deelname input is verkregen van afgevaardigden van RWS, NIOZ, Deltamilieu Projecten, Natuurmonumenten, Hogeschool Zeeland, WMR en Deltares. Tot slot zijn diverse vogelonderzoekers geënquêteerd waarvan de resultaten hebben bijgedragen aan het optimaliseren van de aanbevelingen voor de suppleties.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de huidige praktijk van suppletieontwerp in de Oosterschelde uiteengezet waarin met name de focus op de meest recente suppletie op de Roggenplaat (2019) ligt. In Hoofdstuk 3 wordt vervolgens een eco-morfologische beschrijving van het Middengebied gegeven. Deze systeemkennis vormt het kennis-fundament voor de aanstaande ontwerpstudie en de onderbouwing van de aanbevelingen die volgen uit deze voorstudie. In Hoofdstuk 4 wordt hierna de toepasbaarheid van het huidige ontwerpproces op de aanstaande suppletie in het Middengebied behandeld (reflecterend op Hoofdstuk 2) en is het huidige proces – waar relevant – verrijkt op basis van de voortschrijdende kennis en ervaringen en de lokale karakteristieken van het Middengebied. Tot slot wordt in Hoofdstuk 5 op basis van de voorgaande hoofdstukken een synthese gegeven met aanbevelingen voor het ontwerpproces van de Middengebied suppletie. Aanvullend zijn aanbevelingen opgesteld die het aanstaande ontwerpproces overstijgen maar wel relevant zijn in het kader van de suppletiepraktijk in de Oosterschelde.

2 Huidige praktijk van suppletieontwerp in de Oosterschelde

In dit hoofdstuk wordt de huidige suppletiepraktijk in de Oosterschelde uiteengezet. Het betreft een overzicht en lessen van de eerdere uitgevoerde suppleties. Er wordt in meer detail ingegaan op de meest recente Roggenplaat suppletie. Hiervan worden het ontwerpproces, afwegingskader, de doelstellingen, doelindicatoren, randvoorwaarden en ontwerpprincipes beschreven. Dit hoofdstuk vormt de basis voor Hoofdstuk 4 waarin wordt ingegaan op de toepasselijkheid van deze huidige praktijk voor de aanstaande suppleties in het Middengebied.

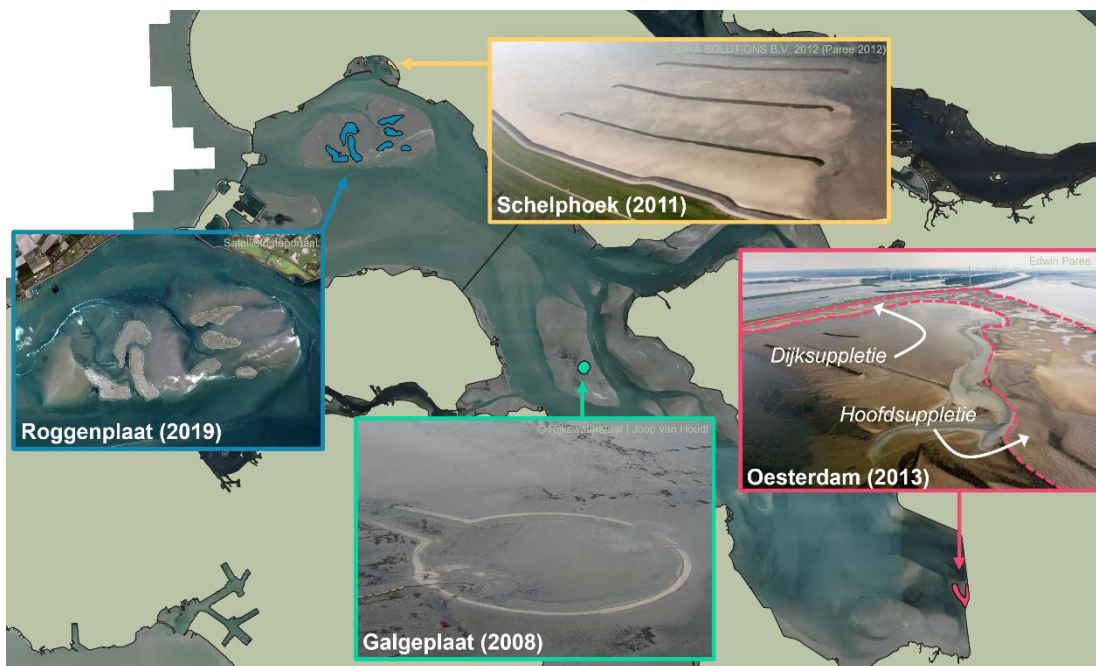
2.1 Overzicht van uitgevoerde suppleties in de Oosterschelde

Het rapport *Verminderd getij* van Van Zanten & Adriaanse (2008) vormt het startpunt van het suppleren van intergetijdengebieden in de Oosterschelde. Het betreft een synthese van een aantal (deel)rapportages naar de effecten en mogelijke maatregelen tegen de zandhonger.

Van Zanten & Adriaanse adviseren om komende decennia het verlies aan intergetijdengebied te beperken met suppleties op platen en slikken in combinatie met erosie-remmende maatregelen. Gegeven de onzekerheid van deze maatregelen, werd een vervolgtraject van nadere studie en veldexperimenten (pilots) gepland.

De voorkeursaanpak voor het bestrijden van de zandhonger met het suppleren van de intergetijdengebieden, waar mogelijk aangevuld met erosie-remmende maatregelen, is geadviseerd en vastgesteld in de ANT (*Autonome Neerwaartse Trend*) Oosterschelde studie (De Ronde et al., 2013) en in de MIRT (*Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport*) Verkenning Zandhonger Oosterschelde (2013).

Figuur 2-1 geeft een overzicht van de uitgevoerde suppleties in de Oosterschelde. In de paragrafen hieronder worden de suppleties nader toegelicht.



Figuur 2-1. Overzicht van de uitgevoerde suppleties in de Oosterschelde.

2.1.1 Galgeplaat (2008)

De verkenning door Van Zanten & Adriaanse (2008) leidde tot de Galgeplaat proefsuppletie (zie Figuur 1-1, Figuur 1-2 en Figuur 2-1), aangelegd tussen juli en september 2008 met sediment afkomstig van onderhoud van de nabijgelegen geulen Brabantsche Vaarwater en Witte Tonnen Vlije. Er is in totaal c.a. 130.000 m³ sediment neergelegd in een gebied van ongeveer 20 ha, resulterend in een gemiddelde suppletie-dikte van 0,65 m. Lokaal lag de bodem initieel tussen de NAP -0,8 en -0,5 m, en na de suppletie tussen de NAP -0,6 en +0,4 m. De resulterende morfologie was niet-uniform; het noordelijke deel van de suppletie was het hoogste. Om een toename van het zwevend stofgehalte te voorkomen vanwege de nabij gelegen mosselpercelen, is er eerst een perskade van ongeveer 1 m hoog aangelegd. Het omdijkte gebied werd vervolgens gevuld gedurende een bepaalde fase van het getij. Deze kade bevatte een opening in zuidoostelijke richting om het eventuele transport van fijn sediment te sturen richting de geul.

De proef met de suppletie is eind 2012 formeel afgerond. Op basis van 3 tot 4 jaar aan monitoringsdata (2008-2012) concluderen Van der Werf et al. (2015) het volgende:

- Na 4 jaar is 10% van het zand verdwenen uit de initiële suppletie-contour. Dit correspondeert met een erosiesnelheid van 2 cm/jaar, wat hoger is dan de autonome trend van 0-0,5 cm/jaar. Op basis hiervan is de verwachte levensduur van de suppletie 30-40 jaar.
- Het grootste gedeelte van dit geërodeerde zand blijft binnen 50 m van de initiële suppletie-contour. Het sedimentatie-erosie patroon suggereert een netto zandtransport in noordelijke richting (zie ook paragraaf 3.1.7.3).
- Het benthos op de suppletie is in de eerste 3 jaar grotendeels vergelijkbaar met de referentielocaties in termen van soortenrijkdom, dichtheid en biomassa, zij het nog niet op het niveau van vóór aanleg van de suppletie. De rekolonisatie op de hogere delen van de suppletie (noorden van de suppletie) verliep echter trager. De reden voor de afname van het bodemleven in de referentiegebieden is niet bekend. Met name de samenstelling van de bodemdiergemeenschap blijft afwijken van de referentielocaties met bijvoorbeeld het nauwelijks terugkomen van de schelpkokerworm *Lanice conchilega* op de suppletie. De rekolonisatie is het sterkst op het lager gelegen en nattere zuidelijke gedeelte van de suppletie. Het lijkt dat de vochtigheid van de bodem een belangrijke rol speelt bij de geschiktheid van de suppletie als habitat voor bodemdieren (en mede daardoor voor vogels).
- Ondanks de toename in droogvalduur en het herstel van het bodemleven in termen van biomassa wordt de suppletie (op basis van data t/m 2012) nog beperkt door vogels gebruikt om te foerageren. Het is niet bekend waarom dit het geval is en of hier een methodologische oorzaak aan ten grondslag ligt (bij de Galgeplaat werd alleen binnen beperkte zones gemeten).

Een deel van de Galgeplaat monitoring is wel gecontinueerd. De bevindingen van Jentink (2016) voor de periode 2008-2016 bevestigen de morfologische ontwikkelingen geschetst door Van der Werf et al. (2015), zij het dat de erosie van de suppletie lijkt af te vlakken. De gemiddelde erosiesnelheid voor de periode 2008-2016 bedroeg 2.000 m³/jaar. Op basis van kwalitatieve benthosopnames uit 2015 en 2016 concludeert Jentink (2016) dat de soortenrijkdom op de suppletie nog steeds toeneemt en dat de soortenrijkdom op de suppletie gelijk is aan de referentielocatie.

Na de studies van Van der Werf et al. (2015) en Jentink (2016) is er geen publicatie meer verschenen waarin de morfologische en ecologische ontwikkeling van de Galgeplaat suppletie wordt behandeld. Dit komt mede omdat de monitoring en evaluatie van deze suppletieprojecten hoofdzakelijk steeds tot 5 jaar beperkt is.

2.1.2 Schelphoek (2011)

De volgende suppletieproef is in het najaar van 2011 uitgevoerd bij de Schelphoek, gelegen in het westelijke deel van de Oosterschelde aan de zuidkust van Schouwen (zie Figuur 1-1 en Figuur 2-1). De Schelphoek is ontstaan door een dijkdoorbraak tijdens de watersnoodramp van 1953. De proefsuppletie is uitgevoerd langs de dijk in het noordoosten van de Schelphoek. Dit gebied is relatief ondiep en is voornamelijk onderhevig aan golfwerking bij zuidwestelijke wind (Wijsman & Brummelhuis, 2013).

De suppletie van ongeveer 85.000 m³ zand bestaat voor de helft uit een deel dat door middel van dammetjes van breuksteen (cascades) beschermd wordt tegen de golfwerking, en een helft die niet beschermd is. De totale proef beslaat een oppervlakte van 600 m bij 200 m. De hoogte van de suppletie is maximaal 75 cm langs de dijk en neemt geleidelijk af bij een toenemende afstand tot de dijk. Het zand voor de suppletie is gewonnen uit de diepe geulen van de aanloop naar de Roompotsluis in de Oosterschelde.

Geconcludeerd is dat de aangebrachte cascades de erosie van de suppletie lijken te remmen in vergelijking met het gesuppleerde gedeelte zonder cascades (Jentink, 2019).

Drie jaar na aanleg, neemt de diversiteit van het bodemleven nog steeds toe (Jentink et al., 2014). Sommige soorten zoals het nonnetje en de kokkel zijn, na een eerste kolonisatie, aan het afnemen. Er werd overigens een duidelijk gradiënt in soortenrijkdom waargenomen tussen de dammen, waarbij de laagst gelegen dam de meeste soorten herbergt en de hoogst gelegen dam de minste.

2.1.3 Oesterdam (2013)

De grootste pilot is de zandsuppletie bij de Oesterdam – ook wel *Veiligheidsbuffer Oesterdam* genoemd – in de kom van de Oosterschelde (zie Figuur 1-1 en Figuur 2-1). In november 2013 is hier 350.000 m³ zand aangebracht binnen het intergetijdengebied, bestaande uit een banaanvormige hoofdsuppletie en een dijkvoetsuppletie. Dit in combinatie met vier kunstmatige oesterriffen, beoogd om het erosieproces te vertragen. Deze riffen zijn een vervolg van eerdere pilots met oesterriffen op de Slikken van Viane en de Val (Walles et al., 2016a). Tussen de twee suppleties bevindt zich een ongestoord deel van het slik (centrale slik) dat door de hoofdsuppletie beschermd en langzaam gevoed moet worden met sediment vanuit de hoofdsuppletie.

Deze suppletie is door Boersema et al. (2018) geëvalueerd. Zij concluderen het volgende:

1. In 3 jaar tijd (2013-2016) daalde de gemiddelde hoogte van de hoofdsuppletie van NAP -0,28 m naar NAP -0,34 m. Dit komt neer op een erosiesnelheid van ongeveer 2 cm/jaar. De hoger gelegen dijkvoetsuppletie (NAP +0,78 m) erodeerde met gemiddeld 5 cm/jaar een stuk sneller door de sterkere dissipatie van golfenergie langs de dijk. In totaal verdween ruim 10% van het gesuppleerd zand uit het studiegebied.
2. De hoofdsuppletie lijkt te fungeren als zandbron voor het centrale slik, maar dit proces resulteert niet in een significante toename in de hoogte van het slik, de erosietrend lijkt wel te zijn gestagneerd.
3. De hoofdsuppletie zorgt voor extra beschutting van het centrale slik, dit heeft een positief effect op het bodemleven (soortenrijkdom en biomassa). De suppleties laten in het algemeen een snelle kolonisatie zien van bodemleven. Zo is na één jaar (2014) de soortenrijkdom op de suppleties al grotendeels hersteld en zijn de aantallen gelijk of zelfs groter in vergelijking met het centrale slik. Dit is ook zichtbaar door de aanwezigheid van vogels, met name de scholekster en wulp. De potentie voor vogels is qua voedselbeschikbaarheid dus groter (meer bodemleven) maar dit uit zich nog niet (volledig) in het vogelgebruik. Waarschijnlijk als gevolg van toegenomen

verstoring. Het gebied wordt frequent gebruikt door pierenspitters, wandelaars, vaak met loslopende honden, en kitesurfers.

4. De afname van de golfbelasting op de dijk komt vrijwel geheel door de aanwezigheid van de dijkvoetsuppletie; de bijdrage van de hoofdsuppletie is zeer beperkt.
5. Op de Oesterdam is geen significante relatie tussen het aanwezige bodemleven en de erosiesnelheid van de suppletie waargenomen.
6. De kunstmatige oesterriffen zorgen voor extra beschutting voor het bodemleven aan de lijzijde van het rif en zorgen voor een habitat voor hardsubstraat organismen. De morfologische invloed van de riffen is lokaal (tot enkele tientallen meters afstand), de vier riffen hebben een beperkte invloed op de algehele morfologische gedrag binnen het studiegebied en de levensduur van de suppletie. De riffen ontwikkelen zich tot stevige structuren.

2.1.4 Roggenplaat (2019)

Na de hierboven beschreven proefsuppleties volgde in 2019 de eerste volwaardige (niet-experimentele) plaat suppletie in de Oosterschelde, op de Roggenplaat (zie Figuur 1-1 en Figuur 2-1). Deze 1440 ha grote plaat in het westen van de Oosterschelde is gesuppleerd met ruim 1,13 miljoen m³ zand (in-situ volume), verdeeld over zeven suppletie-elementen (waarvan zes elementen t.b.v. het behoud van de foerageerfunctie en een element ter compensatie voor de negatieve effecten van de vooroeverbestorting). De suppletie-elementen bedekken samen 211 hectare van de plaat en hebben een gemiddelde dikte variërend tussen de 30 en 80 cm. De suppletie-elementen verschillen onderling namelijk in hoogte en dikte (Wallès et al, 2021). De monitoring en evaluatie van de Roggenplaat suppleties zijn nog gaande t/m 2024. Waar relevant voor deze rapportage (hoofdzakelijk in hoofdstuk 4), zijn reeds verkregen inzichten uit de monitoring en evaluatie van de Roggenplaat aangehaald.

Aan de aanleg van de Roggenplaat suppletie ging een uitgebreide ontwerpstudie vooraf die hieronder in een aparte paragraaf beschreven wordt.

2.2 Ontwerp van de Roggenplaat suppletie

Het ontwerp van de Roggenplaat suppletie (i.e. de zes elementen t.b.v. het behoud van de foerageerfunctie) staat beschreven in twee rapporten van Van der Werf et al. (2016ab) en het tijdschriftartikel van Van der Werf et al. (2019). Aangezien het vanwege de gelijke doelstelling en vergelijkbare grootte van de suppletie gebruikt kan worden als basis voor het ontwerpen van de suppletie in het Middengebied (met in achtneming van nieuwe kennis en inzichten), zal het hieronder besproken worden. We maken hierbij onderscheid tussen het ontwerpproces (paragraaf 2.2.1), het afwegingskader (paragraaf 2.2.2) en ontwerpprincipes (paragraaf 2.2.6).

In Hoofdstuk 4 wordt vervolgens ingegaan op in hoeverre deze overgenomen kunnen worden, of moeten worden herzien.

2.2.1 Ontwerpproces

Het ontwerpproces is onder te verdelen in drie fases en een aantal onderliggende stappen:

Fase 1: Initialisatie

- a. Karakterisering van de waterbeweging, de morfodynamiek en de ecologie van de Roggenplaat op basis van bestaande data en kennis, en nieuwe veldmetingen (TO metingen noodzakelijk voor het ontwerp en de evaluatie van de suppletie).
- b. Het bepalen van de doelen en economische en technische randvoorwaarden van de suppletie.
- c. De vertaling van de doelen en neveneffecten naar een afwegingskader met “goede” indicatoren. Dat wil zeggen dat de indicator gekoppeld is aan het doel van de suppletie, of bedoeld is om een neveneffect van de suppletie aan te geven. En dat de indicator

onderscheid maakt tussen de suppletie-varianten, en deze met voldoende zekerheid bepaald kan worden.

- d. Het maken van een geschiktheidskaart die op basis van morfologische, ecologische, economische en technische gronden (randvoorwaarden) delen van de Roggenplaat, die ongeschikt zijn om te suppleren, uitsluit.

Fase 2: Principe-oplossing

- a. Het genereren van varianten c.q. principe-oplossingen.
- b. Het inschatten van de morfologische ontwikkeling en impact van deze oplossingen op basis van systeemkennis, modellering en deskundigenoordeel uitgedrukt in de indicatoren van het afwegingskader met bijbehorende interpretatie en duiding.
- c. Een integrale afweging om te komen tot de voorkeursvariant.

Fase 3: Ontwerp

- a. Het uitwerken van de voorkeursvariant naar suppletie-ontwerpen met specifieke locaties, vormgeving en afmetingen.
- b. Het inschatten van de morfologische ontwikkeling en impact van deze ontwerpen op basis van systeemkennis, modellering en deskundigenoordeel uitgedrukt in de indicatoren van het afwegingskader met bijbehorende interpretatie en duiding.
- c. Een integrale afweging om te komen tot het voorkeursontwerp.
- d. Het geven van aanbevelingen voor het bestek en de uitvoering van de suppletie.

Dit ontwerpproces heeft geleid tot een ontwerp dat gedragen is door de partijen betrokken bij het ontwerpproces, en dat uitgevoerd is. Naar onze mening hebben de volgende factoren daar in belangrijke mate aan toe bijgedragen:

1. Brede kennisbasis en expertpool met regie bij één partij (in dit geval Deltares).
2. Start met uitgebreide systeembeschrijving op basis van bestaande en nieuwe data.
3. Doelendiscussie en het vertalen hiervan naar een afwegingskader met (zo veel mogelijk) kwantificeerbare, onderscheidende en met voldoende zekerheid te bepalen indicatoren.
4. Geschiktheidskaart om ongeschikte plaatdelen op voorhand uit te sluiten. Deze diende tevens als integratie- en communicatiemiddel.
5. Twee fases, van grof naar fijn: eerst varianten/principes, daarna concrete ontwerpen.
6. Voldoende tijd voor interacties en workshops.
7. Complementaire inzet van literatuurstudie, data-analyses, analytische en numerieke modellering en deskundigenoordeel.

2.2.2 Afwegingskader

Ten behoeve van het ontwerp van de suppletie op de Roggenplaat, en om een keuze te kunnen maken tussen suppletieontwerpen is een afwegingskader ontwikkeld (stap 1c in het ontwerpproces, zie paragraaf 2.2.1).

Volgens Van der Werf et al. (2016b) bestaat het afwegingskader uit een tabel met indicatoren die voor alle suppletievarianten ingevuld kan worden. Een indicator is geschikt, wanneer:

- De indicator gekoppeld is aan het doel van de suppletie, of
- De indicator van toepassing is om een neveneffect van de suppletie aan te geven.
- Een neveneffect kan zowel positief (bijvoorbeeld het creëren van broedplaatsen voor kustbroedvogels) als negatief (bijvoorbeeld aanzanding bij mosselpercelen) zijn. Bij gelijke score kunnen neveneffecten de doorslag geven. Negatieve neveneffecten kunnen via de randvoorwaarden uitgesloten worden.
- De indicator onderscheid maakt tussen de varianten.
- Bijvoorbeeld: de sedimentsamenstelling is wel van belang voor het doel, maar omdat voor alle suppletievarianten hetzelfde sediment wordt gebruikt, is het niet onderscheidend.

- De indicator met voldoende zekerheid bepaald kan worden.
- Van iedere indicator wordt de bandbreedte of onzekerheidsmarge gegeven, bij voorkeur gekwantificeerd en anders op basis van deskundigenoordeel.

2.2.3 Doelstellingen van de Roggenplaat suppletie

De Roggenplaat suppletie heeft de volgende doelstellingen:

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

Omdat het aantal vogels dat in een gebied voorkomt, naast de lokale foerageerfunctie, van vele andere factoren afhankelijk is, richt de Roggenplaat suppletie zich op het behoud van de foerageerfunctie, niet op het behoud van het aantal vogels.

De tweede doelstelling is niet meegenomen in het afwegingskader, omdat het de verwachting was dat het ontwerp van de suppletievarianten niet onderscheidend is voor het voorkomen van ongewenste golfaanval.

De derde doelstelling komt niet expliciet aan bod in de studie van Van der Werf et al. (2016a,b).

2.2.4 Doelindicatoren

Bovenstaande doelstelling werd vervolgens ruimtelijk ingeperkt tot de Roggenplaat. Toentertijd waren de instandhoudingsdoelstellingen gebaseerd op het jaar 2010 (Rijkswaterstaat, 2015). Daarom is dit als referentiejaar gekozen, waardoor 2035 het doeljaar werd.

De foerageerfunctie is gedefinieerd als het aantal vogels dat in potentie gebruik maakt van de Roggenplaat. Dit valt uiteen in drie variabelen: 1) het areaal intergetijdengebied, 2) de foerageertijd, oftewel hoeveel tijd per dag de vogels op het intergetijdengebied kunnen foerageren, en 3) de voedselbeschikbaarheid, ofwel de hoeveelheid en kwaliteit van het voedsel waarop de vogels foerageren. Het areaal intergetijdengebied en de foerageertijd kunnen gecombineerd worden tot de indicator *areaal intergetijdengebied met een bepaalde droogvalduur*. Gebaseerd op de ANT studie (De Ronde et al., 2013) is het **areaal met een droogvalduur van 50-80%** als belangrijkste doelindicator gebruikt. Dit omdat het relatief voedselrijke gronden betreft en het foerageerhabitat binnen deze droogvalduurzones in de Oosterschelde en specifiek de Roggenplaat aan het meeste verlies onderhevig is.

Van der Werf et al. (2016a,b) waren zich ervan bewust dat de verschillende vogelsoorten verschillende 'wensen' hebben voor de foerageerfunctie, maar hebben hier verder niet naar gedifferentieerd.

De voedselkwaliteit is niet als doelindicator gebruikt. De belangrijkste reden is dat deze in belangrijke mate afhangt van de droogvalduur. Andere factoren zijn de waterbeweging, sedimentsamenstelling en de afwatering of het watergehalte. Deze werden destijds als niet-onderscheidend voor de suppletievarianten beschouwd. Bovendien stellen Van der Werf et al. (2016a,b) dat er over de factor afwatering te weinig bekend is om mee te kunnen nemen.

Naast het areaal droogvalduur zijn voor het ontwerp van de Roggenplaat suppletie twee andere (secundaire) doelindicatoren gebruikt:

- De voetafdruk (*footprint*) van de suppletie, ofwel het areaal waar het aanwezige bodemleven bij aanleg volledig verdwijnt door bedekking met een laag sediment. Dit directe, negatieve effect van de suppletie is tijdelijk, totdat rekolonisatie is opgetreden.
- De lengte van de waterlijn van de suppletie, uitgedrukt in de suppletie-omtrek. Sommige vogelsoorten foerageren door de waterlijn te volgen bij afgaand en opkomend tij. Dit is bijvoorbeeld (gedeeltelijk; soms afhankelijk van het seizoen of de individuele strategie) het geval voor de drieteenstrandloper, kanoetstrandloper, scholekster, tureluur, wulp (gedeeltelijk), rosse grutto en de scholekster (Mu & Wilcove, 2020; van der Kam et al., 1999; Swarts et al., 2011). Hoewel er tijdens het ontwerp van de Roggenplaat suppletie geen kwantitatieve relatie bekend was tussen het aantal vogels en de lengte van de waterlijn (omtrek suppleties), werd op basis van deskundigenoordeel aangenomen dat een langere waterlijn (grillige suppletiecontouren) beter is. Vanwege de onzekerheid van de relatie, werd geen groot gewicht aan deze indicator toegekend.

2.2.5 Randvoorwaarden voor opstellen uitsluitingsgebieden

Om negatieve neveneffecten van de Roggenplaat suppletie vooraf zoveel mogelijk uit te sluiten zijn de volgende randvoorwaarden gesteld die de basis vormen voor de geschiktheidskaart (stap 1d in het ontwerpproces, zie paragraaf 2.2.1).

Randvoorwaarde #1: 400 m afstand houden tot mosselpercelen

Om de eventuele invloed van de suppletie (extra sedimentlast op de percelen) te voorkomen of te beperken is een bufferzone van 400 m vastgesteld rond de percelen. Deze afstand is bepaald aan de hand van een schatting van de verplaatsing van de suppleties (orde 1-10 m/jaar) en de wens dat in de periode van 20 jaar enkel een beperkte hoeveelheid zand de percelen kan bereiken. Deze buffer van 200 m is verdubbeld om extra zekerheid in te bouwen. Om aan te tonen dat de suppletie inderdaad niet in schade resulteert op de omliggende mosselpercelen door vertroebeling tijdens aanleg en verzanding van de percelen na aanleg van de suppletie, is een specifieke risicomonitoring ingericht (Wijsman, 2023).

Randvoorwaarde #2: 600 m afstand houden tot de twee centrale zeehonden rustplaatsen

Vanuit de NB-wet (1998) geldt de regel dat de zeehonden tot 1200 m benaderd mogen worden, wat het suppleren van de Roggenplaat te veel zou beperken.

In de periode april t/m mei 2016 is door Rijkswaterstaat en de HZ een studie uitgevoerd naar het verstoringsgedrag van zeehonden op de Roggenplaat (Dekker, 2016). Hieruit is naar voren gekomen dat de zeehonden op de twee centrale rustplaatsen op de Roggenplaat op een afstand van 670-770 m de kop opsteken, wat wordt gezien als de eerste vorm van verstoring. De zeehonden gaan zich verplaatsen bij afstanden van 370-430 m. De verstoring bestond in deze studie uit een groep (2-4) personen. Op basis van deze studie en een deskundigenoordeel gebaseerd op veldwaarnemingen (Edwin Parea, RWS-CIV/HZ) is een gebied met een afstand van 600 m gehanteerd rond het zwaartepunt van de populatie op de Roggenplaat dat gemedend moest worden.

Randvoorwaarde #3: uitsluiten van natuurlijk oesterriffen

Op de Roggenplaat is een aantal natuurlijke Japanse oesterriffen aanwezig die vitaal zijn en zich kenmerken door een grote soortenrijkdom. Gezien deze ecologische waarde en het vermogen van oesterriffen om het onderliggende sediment te beschermen tegen erosie, zijn deze gebieden uitgesloten om te suppleren.

Randvoorwaarde #4: 150 m afstand houden van twee grote afwateringsgeulen

De Roggenplaat kent twee grote afwateringsgeulen die zorgen voor de aan- en afvoer van het water tijdens opkomend- en afgaand water. Het werd onverstandig geacht om suppletiezand dichtbij deze geulen te leggen, omdat er dan een risico ontstaat voor een ongewenste morfologische ontwikkeling, een versnelde erosie van suppletiezand in het bijzonder. Om die reden is om de twee hoofdgeulen een zone gereserveerd van 150 m uit de laagwaterlijn (inschatting uit de ontwerpfase), waar niet gesuppleerd kan worden. Er kan wel gesuppleerd worden bij kleinere geultjes, omdat dit naar verwachting alleen leidt tot een lokale aanpassing in het drainagepatroon.

Randvoorwaarde #5: uitsluiten van sterk erosieve plaatranden

Om te voldoen aan het behoud van de 50% droogvalduur klasse over een periode van 25 jaar, is het belangrijk dat het gesuppleerde zand zolang mogelijk op de Roggenplaat blijft liggen en niet direct weer in de geulen verdwijnt. Suppleren in de zones met de hoogste erosiewaarden en gelegen aan de rand van de plaat ligt om die reden niet voor de hand. Daarom is de zuidrand van de Roggenplaat (met erosiesnelheden van 14-24 mm/jaar in de periode 1990-2010; De Ronde et al., 2013) uitgesloten als suppletielocatie.

Randvoorwaarde #6: aanlegzones en persafstanden baggerschepen (uitvoerbaarheid)

Op de Roggenplaat zijn twee zones beschikbaar waar een baggerschip kan koppelen aan een drijvende leiding, bepaald door de waterdiepte/geulhelling en een minimale afstand van 400 m tot de mosselpercelen. Uit een eerste inschatting is gebleken dat voor een baggerschip dat gebruikt gaat worden voor het suppleren van de Roggenplaat een persafstand van ca. 2200 m haalbaar is (Van der Werf et al., 2016a). Met een inzet van een opjaagstation (*booster*) kan een grotere afstand bereikt worden. De extra kosten hiervoor bedragen ca. 25%, die deels gecompenseerd worden door een hogere productie. Zonder opjaagstation kan bijna de gehele Roggenplaat bereikt worden en daarom werd een 2200 m persafstand aangehouden vanaf de zones waar gekoppeld kan worden.

2.2.6 Ontwerpprincipes

Tijdens het ontwerpproces van de Roggenplaat suppletie is, in aanvulling op de hierboven beschreven doelindicatoren en randvoorwaarden, een aantal ontwerpprincipes ontwikkeld en gevolgd die hieronder kort worden toegelicht:

1. **Het grootste gedeelte van de suppleties op de doelhoogte leggen; geen “Zand Motor” / “Zandbron”.** De natuurlijke verspreiding van zand op de Roggenplaat verloopt door de beperkte dynamiek langzaam, waardoor de winst aan relevant areaal intergetijdengebied beperkt is wanneer het suppletiezand geconcentreerd en hoog wordt aangelegd. Daarom is de strategie gevolgd het zand direct op de voor de ecologie gewenste hoogte aan te leggen. De suppleties zullen de plaat in zeker mate voeden (of erosie in de luwte beperken), maar hier is geen rekening mee gehouden.
2. **Diversiteit in aanleghoogte van de suppletie-elementen.** Bij de Roggenplaat is gedifferentieerd met twee aanleghoogten (zuidelijke suppleties zijn hoger aangelegd). Dit zal mogelijk leiden tot een grotere variatie en diversiteit in bodemdieren, wat mogelijk meerdere vogelsoorten ten goede komt. Ook wordt hiermee de beschikbare foerageertijd langer gemaakt. Vogels kunnen hierdoor eerder beginnen met foerageren op de hogere delen en indien nodig bij vloed ook langer foerageren.
3. **Hogere suppleties op morfologisch actievere plaatdelen.** Suppleties op een deel van de plaat dat morfologische actiever is zullen, bij eenzelfde dikte, een kortere levensduur hebben dan wanneer gesuppleerd wordt in een gebied dat aan minder morfologische veranderingen onderhevig is. Daarom is het verstandig om de suppleties in deze morfologisch actievere gebieden hoger c.q. dikker te maken. Dit draagt ook direct bij aan meer diversiteit in aanleghoogte (vorige principe).

4. **Lange afwateringsweg tussen de suppletie-elementen om sediment vast te houden.** Via de vorm en rangschikking van suppletie-elementen kan een langere weg voor het sediment richting de (afwaterings)geulen gecreëerd worden, om het sediment langer op de plaat te houden.
5. **Holle suppleties om water vast te houden.** Suppleties die hol zijn in de verticale (lokale bodemdepressie) of horizontale (bochtige suppletie) richting zijn in staat om water langer vast te houden, wat ecologisch gunstig is.
6. **Bodemhelling van orde 1/40-1/70.** Flauwe hellingen van de suppletie zijn te prefereren boven heel steile hellingen. Bij steilere hellingen droogt de suppletie sneller uit tijdens laagwater wat ongunstig is voor de rekolonisatie van benthos. Zowel bij de Galgeplaat suppletie van 2008 als de Oesterdam suppletie blijkt dat de nattere delen sneller rekoloniseren. Te flauwe hellingen zijn daarentegen kostbaarder om aan te leggen en resulteren in een groter oppervlakte (voetafdruk) en daarmee grotere ecologische verstooring (bedelven van bodemdieren).
7. **Sedimentsamenstelling suppletie zo veel als mogelijk hetzelfde als op de plaat.** De samenstelling van het sediment is een sturende factor voor het voorkomen van bodemdieren. Daarom is het wenselijk dat de samenstelling van het gesuppleerde sediment zo dicht mogelijk bij de huidige samenstelling van de plaat ligt. Dit is opgevolgd door in het winningsgebied het meest geschikte sediment te kiezen en te zorgen dat dit op de doellocatie terecht komt.
8. **Ecologische priming.** Deze pilot (ontwerpprincipe gevolgd voor één van de suppletie-elementen) betreft het aanbrengen van een benthosgemeenschap op de suppleties om daarmee het toekomstig herstel en ontwikkeling van dit habitat te versnellen en in een gewenste richting te sturen (i.e. (invasieve) exoten buiten houden).
9. **Reliëf binnen de suppletie.** Om tot een uitvoerbaar suppletieontwerp te komen, is gekozen toleranties te definiëren wat betreft de ruimtelijke variatie in aanleghoogte binnen de suppletie-elementen (micro-reliëf). Los van dat dit de aanlegkosten ten goede komt, is de gedachte dat dit in meer ecologische diversiteit kan resulteren.

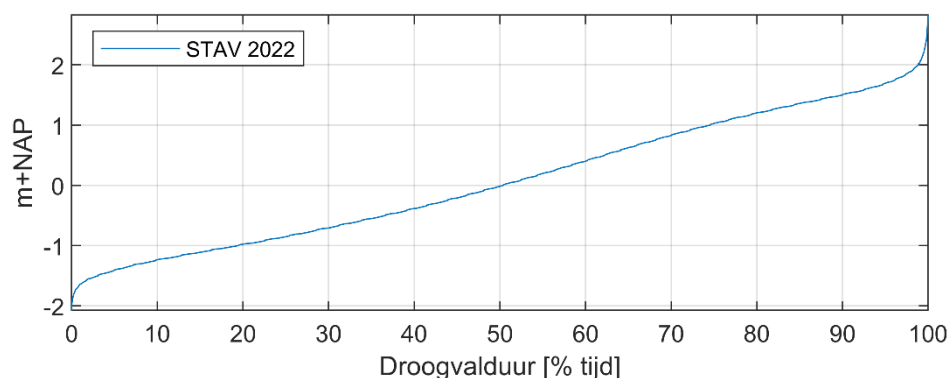
3 Eco-morfologische beschrijving van het projectgebied

In dit hoofdstuk is de systeemkennis van de hydromorfologie en ecologie van het Middengebied uiteengezet. Deze kennis vormt de basis voor de onderbouwing van de aanbevelingen in deze studie en het morfologisch en ecologisch kennis-fundament voor de aanstaande ontwerpstudie.

3.1 Hydromorfologie

3.1.1 Droogvalduur

De droogvalduur geeft het percentage van de tijd dat het intergetijdengebied droog ligt. Een droogvalduur van 20% betekent bijvoorbeeld dat het gebied 4,8 uur per etmaal droogvalt. De droogvalduur is een belangrijke ecologische indicator. Deze bepaalt bijvoorbeeld hoe lang steltlopers op de platen kunnen foerageren. Figuur 3-1 geeft de droogvalduur weer op basis van de waterstanden gemeten in 2022 bij Stavenisse. Diverse droogvalduurwaarden zijn hiervan opgesomd in Tabel 3-1. Zo is de hoogteligging die de helft van de tijd droogvalt bijvoorbeeld NAP -0,02 m. Logischerwijs neemt de droogvalduur toe met de hoogteligging. Bij Stavenisse was het gemiddelde laagwater NAP -1,29 m, het gemiddelde hoogwater NAP +1,60 m en de gemiddelde getijslag 2,89 m in 2022.

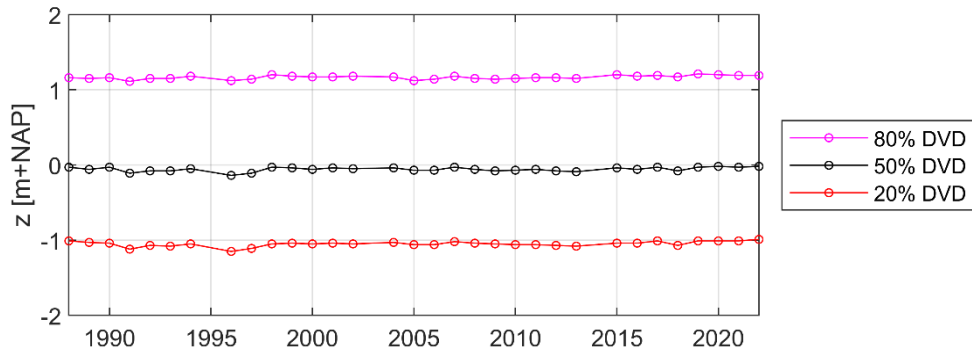


Figuur 3-1 De droogvalduurcurve gebaseerd op de waterstanden gemeten in 2022 bij Stavenisse (STAV; zie Figuur 1-2 voor de locatie van het meetstation).

Tabel 3-1. Een overzicht van de droogvalduurwaarden (t.o.v. NAP) bepaald voor 2022 bij Stavenisse.

10%DVD	20%DVD	30%DVD	40%DVD	50%DVD	60%DVD	70%DVD	80%DVD	90%DVD
-1,24 m	-0,98 m	-0,71 m	-0,39 m	-0,02 m	0,40 m	0,83 m	1,20 m	1,50 m

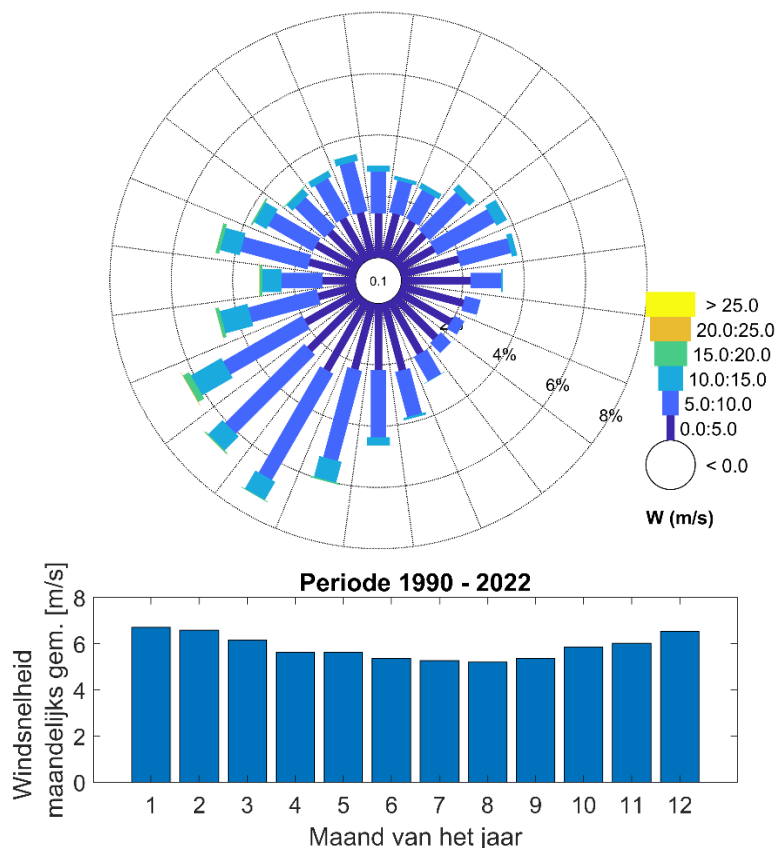
Opgemerkt wordt dat de getijdekaracteristieken in werkelijkheid over de jaren variëren, zie Figuur 3-2. Variaties over de jaren zijn onder meer het gevolg van zeespiegelstijging en de 18,6-jarige cyclus (die veroorzaakt wordt door de afwijking van het baanvlak van de maan ten opzichte van dat van de aarde). De tijdsvariaties in droogvalduurwaarden zijn echter maximaal ~0,1 m (Figuur 3-2). Ook ruimtelijke variaties in getijdenkarakteristieken treden in het projectgebied op. Bijvoorbeeld, de gemiddelde getijslag is bij de oostelijke grens van het projectgebied orde 0,2 m groter dan bij Stavenisse (De Vet et al., 2017). Door in deze studie desondanks vast te houden aan de droogvalduurwaarden op basis van de 2022 waterstanden bij Stavenisse wordt geheel gefocust op de morfologische veranderingen en wordt geen ruimtelijke complexiteit aan de analyses toegevoegd. Waar relevant wordt het effect van zeespiegelstijging los beschouwd.



Figuur 3-2. Ontwikkeling waterstanden Stavenisse die corresponderen met 20%, 50% en 80% droogvalduur.

3.1.2 Wind

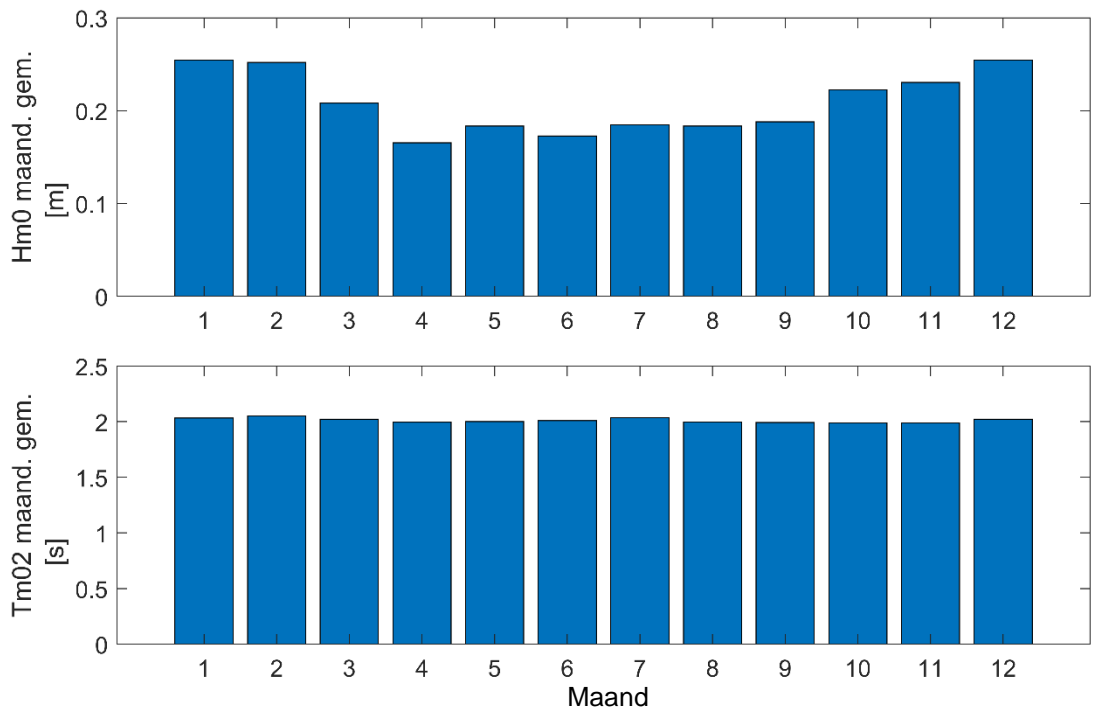
De wind stuurt in belangrijke mate de lokale golven en kan grote invloed hebben op de stroming (zoals waargenomen op de Roggenplaat). Met name tijdens stormen treden de morfologische veranderingen van de intergetijdgebieden in de Oosterschelde op (De Vet et al., 2020), zoals ook waargenomen voor de Roggenplaat suppleties (Wallis et al., 2021; nog in onderzoek). In Figuur 3-3 is de windroos van Stavenisse weergegeven, gebaseerd op metingen van 1990 tot en met 2022. De dominante windrichting in dit gebied is vanuit het zuidwesten. De gemiddelde windsnelheid varieert over de maanden (Figuur 3-3) met de grootste windsnelheden (met name uit het zuidwesten) in de winter (het stormseizoen). Bij Stavenisse waaide het in de periode 1990-2022 gemiddeld 10% van de tijd harder dan 10 m/s en 1% van de tijd harder dan 15 m/s. Ter referentie, bij de Zeelandbrug – het meetstation beschouwd voor de Roggenplaatstudie – is de wind typisch wat sterker (12% van de tijd harder dan 10 m/s).



Figuur 3-3. Windroos (boven) en gemiddelde windsnelheid per maand (onder) zoals gemeten bij het meetstation Stavenisse tussen 1 oktober 1990 en 31 december 2022. Figuur 1-2 toont de locatie van windstation Stavenisse.

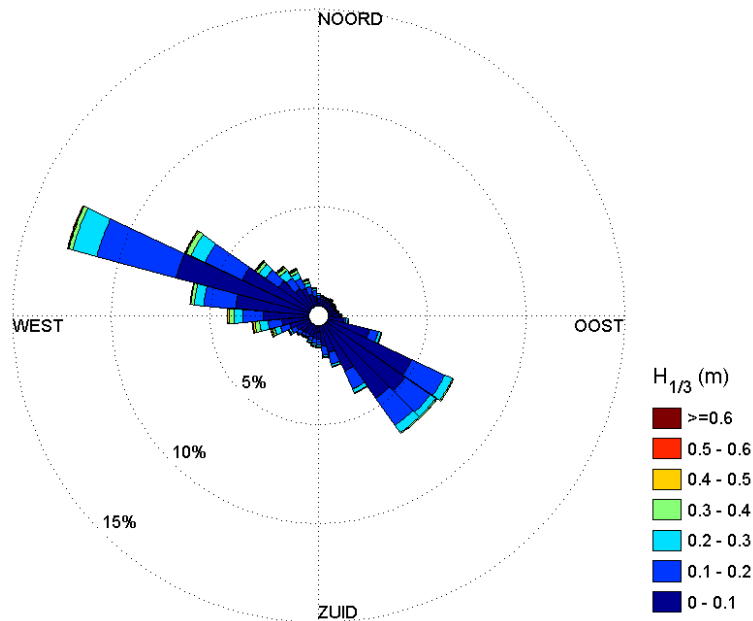
3.1.3 Golven

Sinds 2000 zijn er met een golfboei in de Keeten golven gemeten ten noorden van Dortsman (zie Figuur 1-2 voor de ligging). Deze golfboei registreert geen golfrichtingen maar wel golfhoogten en golfperioden. Het is daarom niet mogelijk om voor deze golfboei een golfroos af te leiden. Wel zijn in Figuur 3-4 de golfkarakteristieken (significante golfhoogte en golfperiode) gemiddeld per maand weergegeven. Logischerwijs volgt de golfhoogte de variatie over de maanden zoals waargenomen voor de wind (de grootste golven in de wintermaanden). Opgemerkt wordt dat de energie in de golven (relevant voor onder andere het sediment transport) een functie is van de golfhoogte in het kwadraat, voor de golfenergie is deze variatie over de maanden dus nog sterker. De gemiddelde golfperiode is daarentegen met 2 seconde relatief stabiel over de maanden. Tijdens stormen zijn de golven typisch fors hoger dan de maandgemiddelde waarden. De golfhoogte was in de periode 2000-2022 6% van de tijd hoger dan 0,5 m en 0,4% van de tijd hoger dan 1,0 m.



Figuur 3-4. Golfkarakteristieken (boven: maandgemiddelde significante golfhoogte; onder: maandgemiddelde golfperiode) gemeten bij de Keeten golfboei (zie Figuur 1-2 voor de locatie) over de periode 2000-2022.

Opgemerkt wordt dat er – in het kader van de 2008 suppletie – met een aanvullende golfboei is gemeten van mei 2008 tot juni 2011. Deze golfboei lag ten zuidwesten van de Galgeplaat (RDx = 54359 m; RDy = 396778 m, zie Figuur 1-2 voor de ligging). Zoals zichtbaar, zijn de golven op deze specifieke locatie hoofdzakelijk afkomstig uit het noordwesten en het zuidoosten. Golven vanuit het zuidwesten zijn juist zeer beperkt ondanks dat dat de dominante windrichting is (Figuur 3-3). Dit komt door de zeer beperkte strijklengte vanuit het zuidwesten op deze locatie (orde 1,5 km). Met dit inzicht en de geometrie van de Oosterschelde rondom de Galgeplaat is het de verwachting dat de noordwestzijde (waar de golfboei Keeten meer representatief is; Figuur 3-4) en de zuidoostzijde van de Galgeplaat aan de meeste golfenergie onderhevig zullen zijn en dat daarentegen de zuidwestzijde en noordoostzijde van de Galgeplaat relatief minder golfenergie ondervinden.

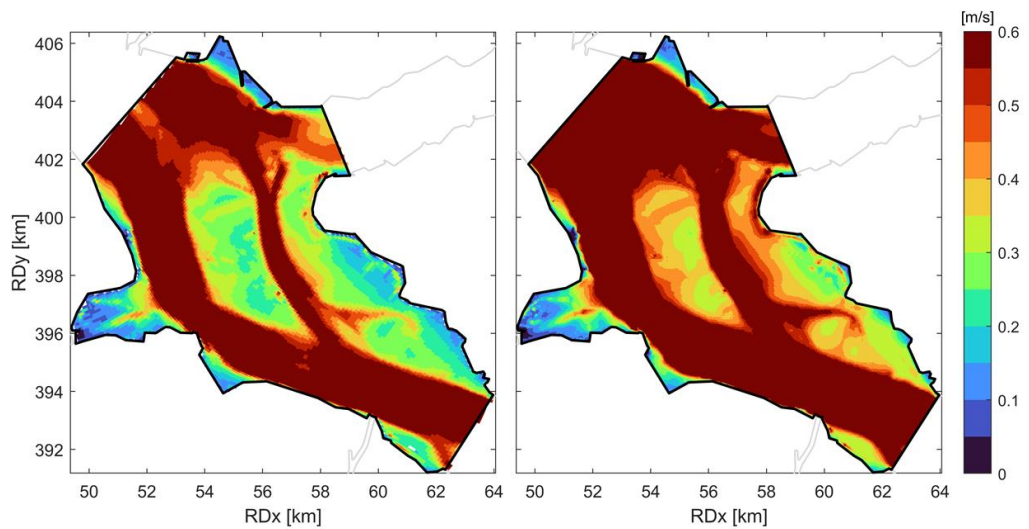


Figuur 3-5. Golfroos zoals bepaald voor de golfboei die voor de periode 2008-2011 was gepositioneerd ten zuidwesten van de Galgeplaat (zie Figuur 1-2 voor de ligging). Dit figuur is overgenomen uit de eindrapportage van de evaluatie van de Galgeplaat suppletie van 2008 (Van der Werf et al., 2013).

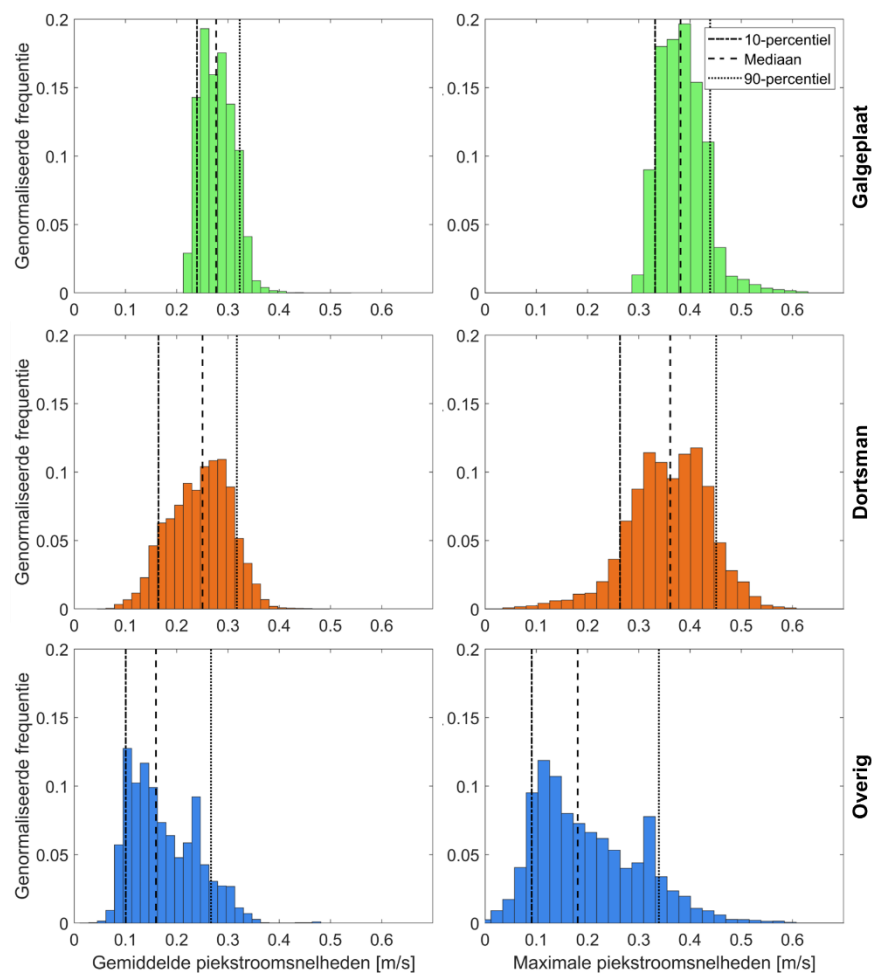
3.1.4 Stroomsnelheden

De stroming in de intergetijdengebieden in het Middengebied is zowel relevant voor de morfologische ontwikkelingen als voor de ecologie. Deze voorstudie is beperkt tot het beschouwen van beschikbare resultaten van simulaties uit eerdere studies en verkennende simulaties met en zonder windforcering door Rijkswaterstaat. Het belang van de windgedreven stroming is daarnaast beschouwd aan de hand van vuistregels uit de literatuur.

Figuur 3-6 toont de gemodelleerde gemiddelde grootte van de dieptegemiddelde stroomsnelheden (de stroming op intergetijdengebieden is relatief uniform over diepte) op basis van De Vet et al. (2017) en de maximale piekstroomsnelheden op basis van de Ecotopenkaart van 2021. Figuur 3-7 geeft daarnaast de histogrammen van de twee datasets weer voor drie deelgebieden in het studiegebied: de Galgeplaat, de Dortsman en het overige intergetijdengebied (zie Figuur 3-15). Het gemiddelde op basis van de gemiddelde piekstroomsnelheidsdata (De Vet et al., 2017) is 0,28 m/s voor de Galgeplaat, 0,25 m/s voor de Dortsman en 0,18 m/s voor het overige intergetijdengebied. Alleen de locaties die tussen 1990 en 2021 altijd tussen gemiddeld hoog- en gemiddeld laagwater lagen zijn hierin meegenomen. Ter vergelijking, het gemiddelde van de gemiddelde piekstroomsnelheid op de Roggenplaat op basis van de data van De Vet et al. (2017) is 0,28 m/s. Het gemiddelde van de maximale piekstroomsnelheden op basis van de data van de Ecotopenkaart is 0,39 m/s voor de Galgeplaat, 0,36 m/s voor de Dortsman en 0,21 m/s voor het overige intergetijdengebied. Hierin zijn ook alleen de locaties die tussen 1990 en 2021 altijd tussen gemiddeld hoog- en gemiddeld laagwater lagen meegenomen. Ter vergelijking, het gemiddelde van de maximale piekstroomsnelheid op de Roggenplaat op basis van de data van de Ecotopenkaart is 0,36 m/s voor de Roggenplaat. Kortom, de stroomsnelheden op de Galgeplaat en de Dortsman zijn zeer vergelijkbaar met die op de Roggenplaat.



Figuur 3-6. Een ruimtelijk overzicht van de gemiddelde piekstroomsnelheden (links) (de Vet et al., 2017) en de maximale piekstroomsnelheden (rechts) (Ecotopenkaart van 2021). De kleurenschaal loopt van 0 tot 0,6 m/s om de focus te leggen op de stroming op de intergetijdgebieden.



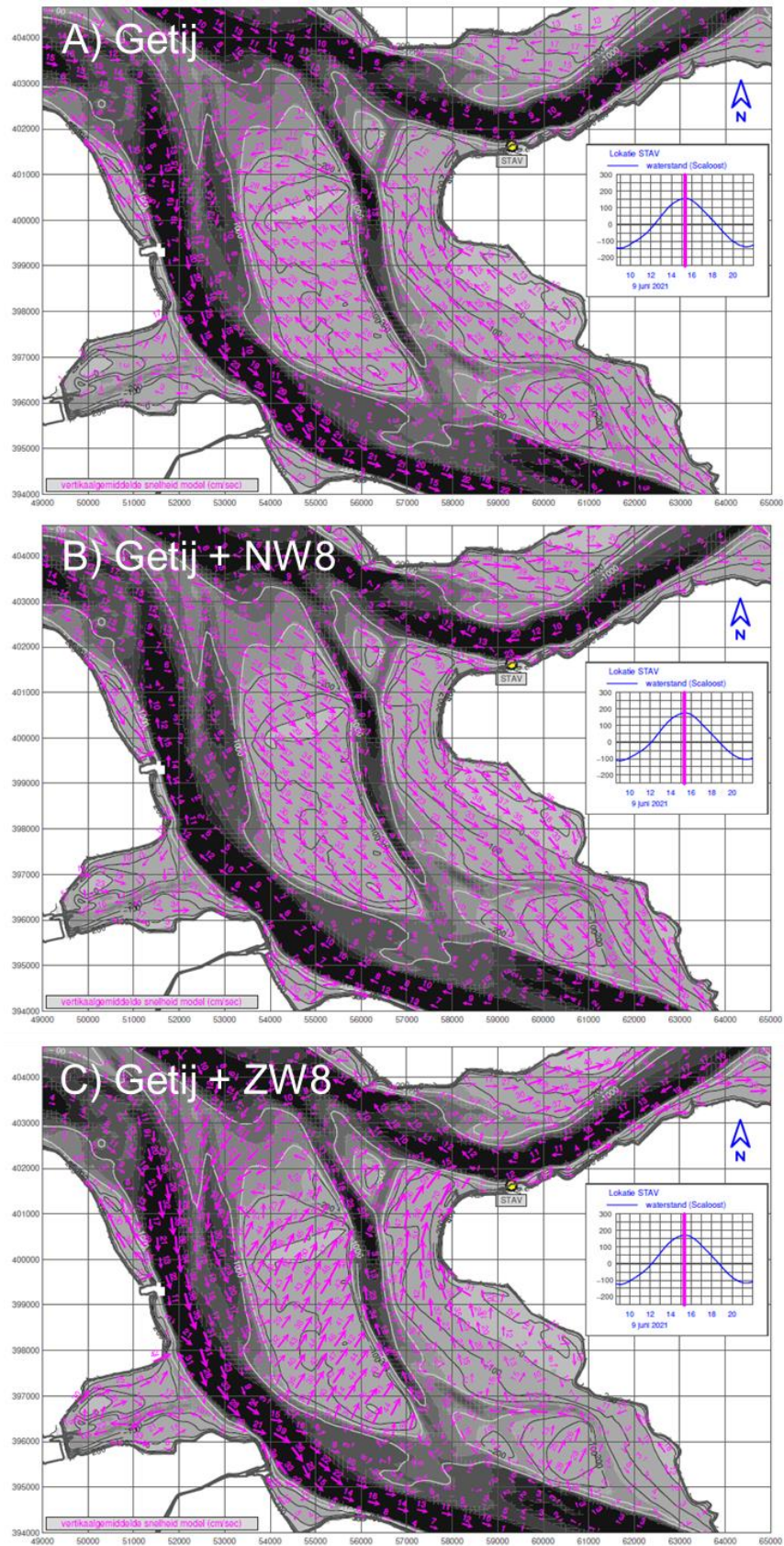
Figuur 3-7. Histogram per deelgebied (zie Figuur 3-15) van de gemiddelde piekstroomsnelheden (De Vet et al., 2017) (links) en de maximale piekstroomsnelheden (Ecotopenkaart van 2021) (rechts). De frequentie van het voorkomen is genormaliseerd door het te delen door het totaal aantal datapunten per reeks. De stroomsnelheden zijn alleen beschouwd voor gebieden die tussen 1990 en 2021 altijd tussen MLW en MHW lagen.

De wind beïnvloedt in belangrijke mate de stroming in intergetijdengebieden. Met een analytische beschouwing (De Vet et al., 2018) is afgeschat dat de wind-gedreven snelheid maximaal orde $1/40^e$ van de windsnelheid is (bijvoorbeeld maximaal orde 0,25 m/s bij een windsnelheid van 10 m/s die 10% van de tijd in dit gebied optreedt). Deze wind-gedreven stroomsnelheid telt alleen niet zomaar op bij de getij-gedreven stroomsnelheid: hoe groter de getij-gedreven stroomsnelheid, hoe kleiner de absolute toename in totale stroomsnelheid door de wind (Colosimo et al., 2020). Anders gezegd, wind-gedreven stroming is vooral belangrijk in gebieden met een relatief kleine getij-gedreven stroomsnelheid. Opgemerkt wordt dat niet alleen de grootte maar zeker ook de richting van de stroming substantieel verandert met de windsnelheid (De Vet et al. 2018).

De verandering van de stromingsrichting op de Galgeplaat door de wind is geïllustreerd in Figuur 3-8, waarin modelresultaten van de stroming zijn weergegeven op de Galgeplaat (SIMONA-Scaloost simulaties uitgevoerd door Rijkswaterstaat). De figuur geeft de hoogwatersituatie weer met enkel getij (geen wind) en de situaties met getij en windkracht 8 uit het noordwesten en zuidwesten. Zonder wind is de stroming op de plaat tijdens deze getijfase naar het noordwesten. Wanneer de wind uit het noordwesten komt, is de stroming op de plaat naar het zuidoosten (in de richting van de wind) en wanneer de wind uit het zuidwesten komt, is de stroming naar het noordoosten (wederom in de richting van de wind). De windrichting stuurt dus in sterke mate de stromingsrichting op de plaat.

Dit is relevant omdat het grootste deel van het sedimenttransport in de Oosterschelde plaatsvindt tijdens stormen. Ter referentie, 90-99% van het jaarlijkse sedimenttransport op de Roggenplaat vindt plaats tijdens de helft van de getijden met de meeste wind (De Vet et al., 2018). Dit verklaart waarom op de Roggenplaat de morfologische bodemvormen (bijvoorbeeld de schelpenruggen) naar het noordoosten migreren (de dominante windrichting is zuidwest, zie Figuur 3-3). De windrichting werd dan ook beschouwd bij het ontwerp van de Roggenplaat suppleties (Van der Werf et al., 2019). Ten slotte zijn de snelheden op de intergetijdengebieden groter met springtij (niet weergegeven).

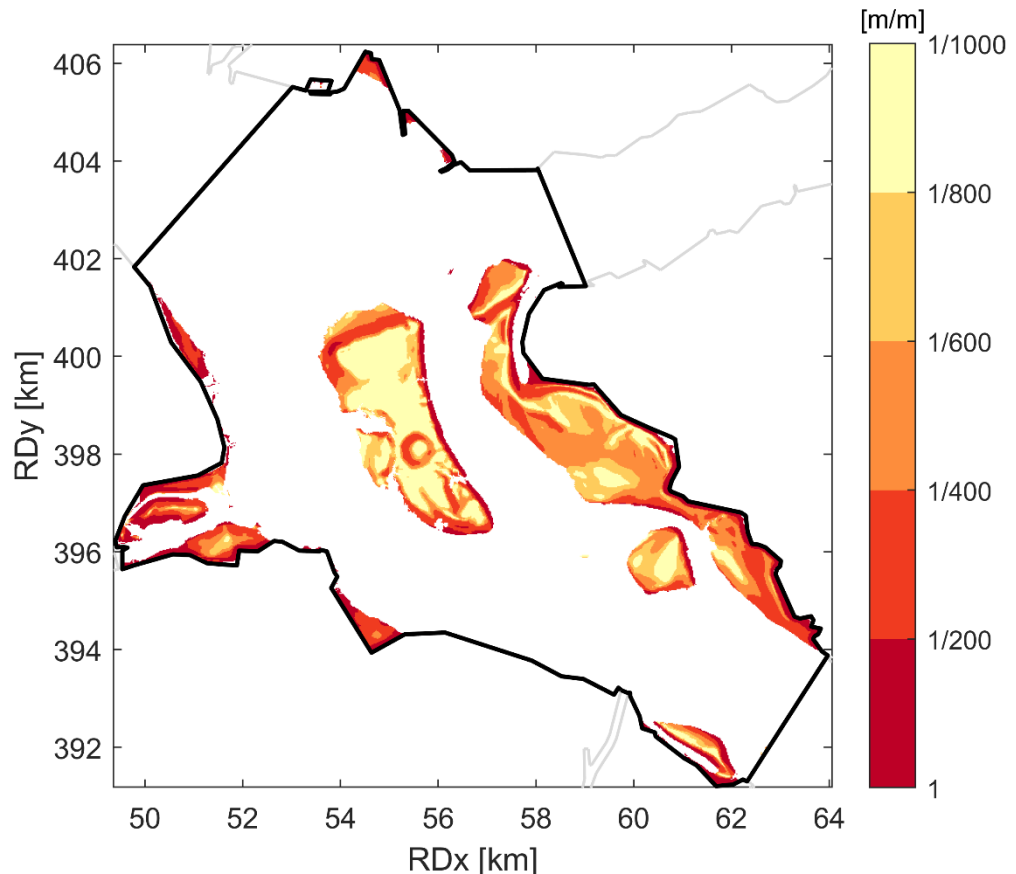
Aangezien de getij-gedreven stroomsnelheden op de Galgeplaat vergelijkbaar zijn met die van op de Roggenplaat en de windsnelheden maar beperkt kleiner zijn dan bij de Roggenplaat (paragraaf 3.1.2), verwachten we op de Galgeplaat dan ook een vergelijkbaar belang van de wind-gedreven stroming. Op de Dortsman zal het effect van de wind op de snelheden minder zijn wanneer de wind vanuit het zuidwesten komt omdat de wind dan haaks op de dijk staat en er dan lokaal geen/minder wind-gedreven stroming vormt (merk de beperkte noordoostelijke stroming op bij de Dortsman in Figuur 3-8c). In paragraaf 3.1.7 wordt de migratierichting van diverse morfologische bodemvormen (inclusief de schelpenbank op de Galgeplaat) nader beschouwd als indicatie voor de migratierichting van de toekomstige suppleties.



Figuur 3-8. *Stromingssimulaties op de Galgeplaat met het SIMONA-Scaaloost model voor 9 juni 2021 15h20 op de 2019-bodem (Rijkswaterstaat, Kerst Buis). De kenmerkende stroming (richting + grootte) bij maximaal hoogwater is weergegeven voor een situatie met a) alleen getij, b) getij + noordwestenwind met windkracht 8 en c) getij + zuidwestenwind met windkracht 8.*

3.1.5 Bodemhellingen

De bodemhelling van intergetijdengebieden is relevante informatie voor deze voorstudie omdat deze de ecologische waarde van deze gebieden beïnvloedt (o.a. invloed op de afwatering en het foerageergedrag van vogels). Figuur 3-9 geeft de bodemhelling weer op basis van de 2021-Vaklodingen data. De figuur laat zien dat de Galgeplaat en Dortsman beide grote gebieden met een relatief flauwe helling zijn (grote delen zijn flauwer dan 1/500 en op de Galgeplaat zijn zelfs grote delen flauwer dan 1/1000). De oostelijke helling van de Galgeplaat behoort met een helling van orde 1/120 tot een van de meest steile delen van het Middengebied. Zeer waarschijnlijk correspondeert deze grote steilheid van de oostkant van de Galgeplaat aan het lokaal voorkomen van diverse afwateringskreeken (zoals te zien op de luchtfoto in Figuur 1-3). De 2008 suppletie springt er in deze bodemhellingkaart uit door de relatief steile (niet gebiedseigen) helling van de suppletierand.



Figuur 3-9. Bodemhellingkaart op basis van de 2021-Vaklodingen voor de intergetijdengebieden (hoe roder, hoe steiler de helling). De bodemdata is hiertoe eerst gefilterd met een laagdoorlaatfilter (Gaussian) met een standaard deviatie van 200 pixels en een radius van 5 pixels. Hierdoor is ruis in de bathymetriedata (door meetfouten en lokale bodemvormen) verminderd.

3.1.6 Sedimentsamenstelling

Opgemerkt wordt dat MWTL data van de korrelgrootten in de Oosterschelde bestaan, maar dat deze data niet gepresenteerd zijn omdat coördinaten van deze meetpunten op het moment van schrijven niet volledig beschikbaar zijn.

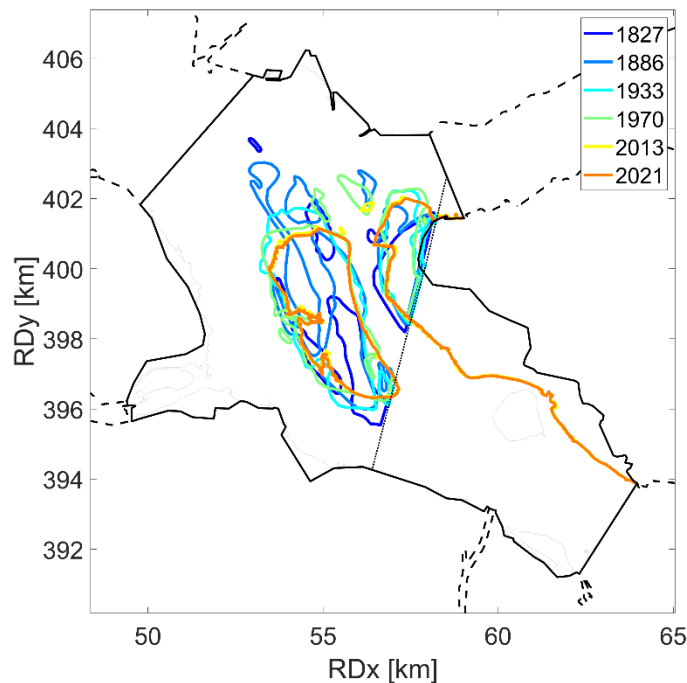
Specifiek voor de Galgeplaat heeft Schaap (2012) de korrelgrootten en slibfracties beschouwd op en rond de Galgeplaat suppletie (2008) tot en met november 2011. Vóór de suppletie (T0) verschilden de korrelgrootte en de slibfractie (<0,063 mm) al tussen de suppletielocatie en het omliggende referentiegebied. Zo was de slibfractie ca. vijf keer hoger in het referentiegebied. De suppletie verhoogde de mediane korrelgrootte met 15 μm , waarna deze (tot november

2011) bij benadering onveranderd is gebleven. Gelijk na de suppletie was er geen slib in de sedimentmonsters aangetroffen. Na verloop van tijd (orde één jaar) was de slibfractie op de suppletie weer gelijk aan de T0 fractie (<0,5% slib), zij het wel nog minder dan de fractie in het referentiegebied (orde 2% slib in de periode na suppleren). In het referentiegebied daalde de slibfractie vanaf 2010, maar het was onduidelijk wat dit veroorzaakte.

3.1.7 Morfologische ontwikkelingen

3.1.7.1 Ontwikkeling Middengebied sinds 1827

Figuur 3-10 toont de ontwikkeling van de laagwaterlijn van de Galgeplaat en Dortsman over de afgelopen twee eeuwen (1827-2021) op basis van historische kaarten afkomstig uit Van den Berg (1986) en de Vaklodingen data. Hieruit blijkt dat de Galgeplaat minder langgerekt en meer aaneengesloten is geworden en dat het zwaartepunt van de Galgeplaat vanaf 1933 naar het zuidoosten is verplaatst. Het noordelijk deel van de Slikken van den Dortsman is naar het zuiden verplaatst. Meer naar het zuiden toe is de plaatrand stabiel. Hier ligt de betonde geul Brabantsche vaarwater. Deze figuur laat zien dat de Galgeplaat en de Dortsman al lang voor de aanleg van de Oosterschelde-kering (1986) onderhevig waren aan significante morfologische veranderingen. Ook de erosie van de noordelijke plaatrand van de Galgeplaat trad al vóór aanleg van de deltawerken op.

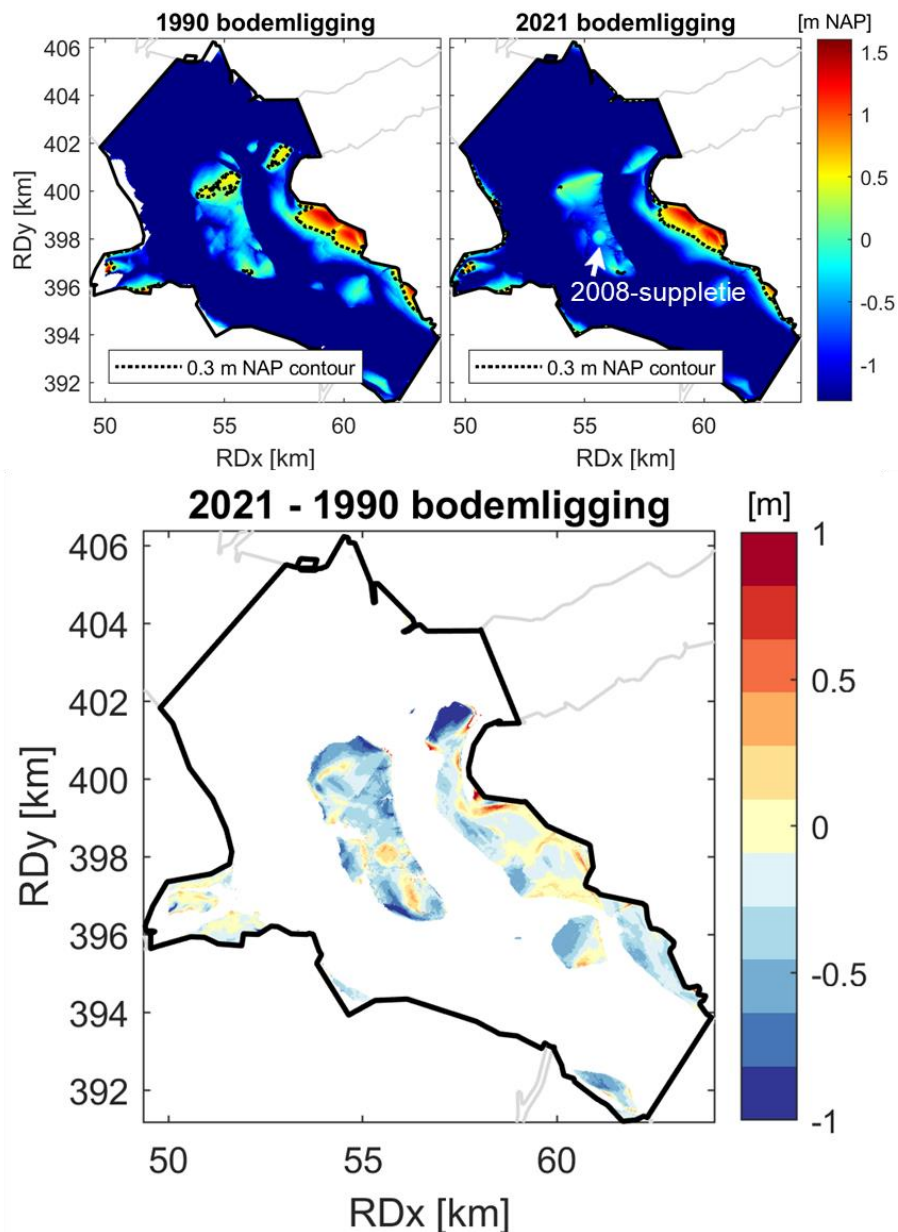


Figuur 3-10. Ontwikkeling laagwaterlijn van de Galgeplaat en Dortsman tussen 1827 en 2021. De laagwaterlijn is afgeleid uit historische kaarten (Van den Berg, 1986) voor 1827-1970 en uit Vaklodingen voor 2013 en 2021 (hierbij is het gemiddeld laagwater bij Stavenisse in 2022 gebruikt, i.e. NAP -1,29 m). Het zwarte kader correspondeert met het studiegebied en de gestreepte zwarte lijn erbuiten met de hedendaagse contouren van de Oosterschelde buiten het studiegebied. De overige intergetijdengebieden binnen het studiegebied in 2021 zijn weergegeven in lichtgrijs. De zwarte stippellijn geeft de limiet van de historische kaarten weer. Opgemerkt wordt dat er voor meer jaren Vaklodingen data beschikbaar zijn, maar deze zijn niet in dit figuur opgenomen omdat de focus in dit figuur op de langjarige ontwikkelingen ligt.

3.1.7.2 Ontwikkeling Middengebied na aanleg van de Oosterscheldekering

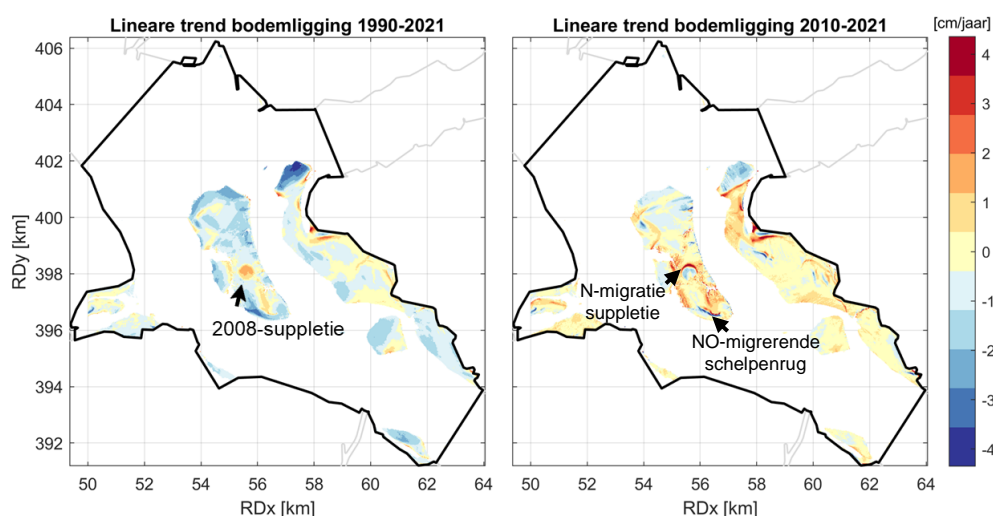
De bodemligging in 1990 (na aanleg van de Oosterscheldekering) en 2021 (meest recente bodemopname), en het verschil hiertussen wordt getoond in Figuur 3-11 op basis van de Vaklodingen. Opgemerkt wordt dat de kaart van 1990 gaten in de data bevat (met name bij de Slikken van Kats en de Zandkreek).

De verschilkaart laat een algehele plaaterosie zien. Met name de grootte van de gebieden hoger dan NAP +0,3 m (orde 60% droogvalduur) op de Galgeplaat is sterk verminderd tussen 1990 en 2021. Verder is de noordwestrand van de Slikken van den Dortsman en de noordostrand van de Galgeplaat sterk geërodeerd en heeft juist sedimentatie plaatsgevonden in de kreekjes; bijvoorbeeld in de kreekjes in het zuidoosten van de Slikken van den Dortsman (zoals te zien op de luchtfoto in Figuur 1-3).



Figuur 3-11. Bodemligging (Vaklodingen) van het projectgebied in 1990 en 2021, en het verschil hiertussen (rood geeft sedimentatie weer en blauw erosie). Merk op dat de toename in bodemligging rond de 2008 suppletie hoofdzakelijk het toevoegde zand betreft (zie Figuur 3-12 voor de bodemontwikkeling na suppleren).

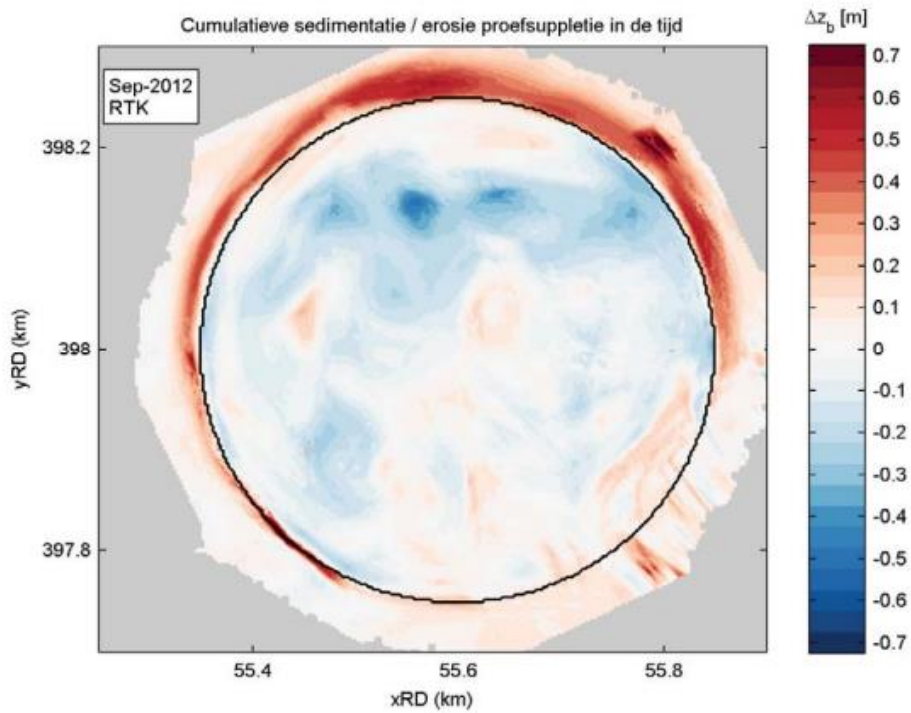
Omdat de Vaklodingen behoorlijke meetfouten (lokaal tot enkele decimeters) bevatten, zijn aanvullend lineaire erosietrends (minder foutgevoelig) bepaald op basis van metingen over bepaalde perioden. Hiermee wordt niet geïmpliceerd dat de erosie in deze gebieden strikt lineair verloopt, maar deze indicator geeft wel een goed beeld van de erosietrends. Figuur 3-12 geeft de ruimtelijke verdelingen van de lineaire erosietrends voor de perioden 1990-2021 ($r^2 = 0,57$) en 2010-2021 ($r^2 = 0,36$) weer. Wat opvalt is dat de lineaire bodemtrend tussen 1990 en 2021 kleiner was dan tussen 2010 en 2021 (zie ook Figuur 3-20 en De Vet et al., 2017), wat een afname in erosie impliceert. De suppletie in 2008 (Van der Werf et al., 2015) is logischerwijs zichtbaar als een verhoging in de periode 1990-2021. Opvallend is dat er in de periode 2010-2021 ten noorden van de suppletie sterke sedimentatie plaatsvindt wat een mogelijke noordelijke migratie van de suppletie suggereert (zie ook Figuur 3-13). Ook de schelpenrug in het zuiden van de Galgeplaat (Figuur 1-3) vertoont een migratie (richting het noordoosten; aangegeven in Figuur 3-12). De noordelijke delen van zowel de Galgeplaat als de Dortsman zijn sterk geërodeerd. Figuur 3-11 laat zien dat deze delen relatief hoog lagen. In het laatste decennium zijn de erosiesnelheden daar wel wat afgenomen.



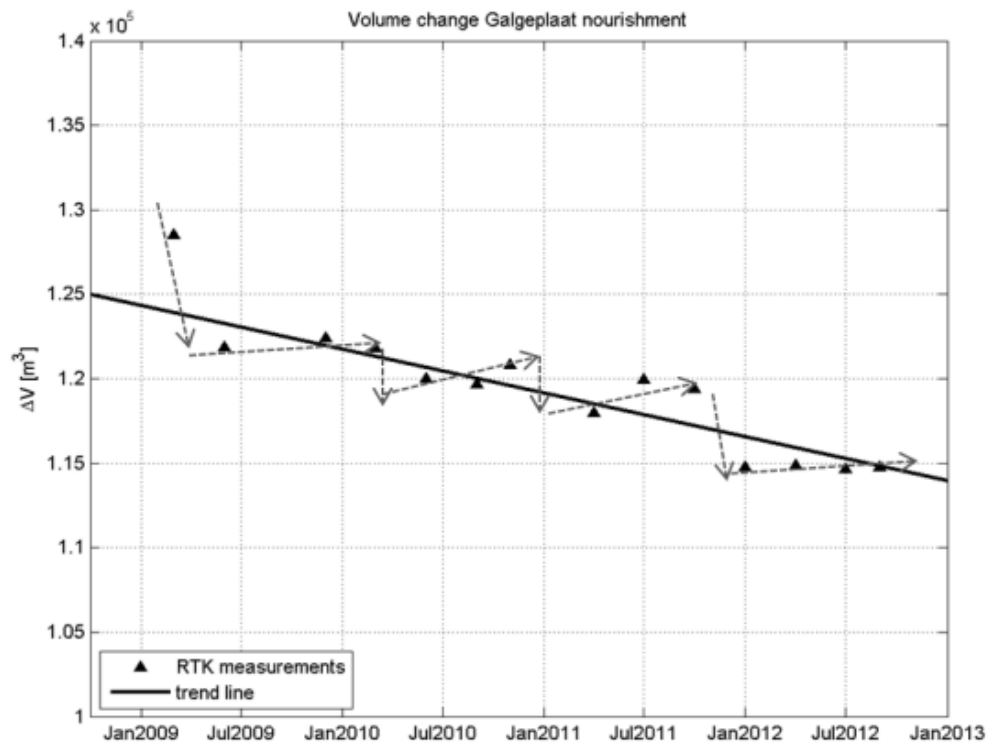
Figuur 3-12. Lineaire erosietrend voor de periode 1990-2021 (links) en 2010-2021 (rechts) gebruikmakend van alle Vaklodingen binnen deze perioden. Alleen gebieden die tussen 1990 en 2021 altijd ingemeten zijn en altijd tussen MLW en MHW lagen zijn beschouwd. Dit verklaart waarom de Slikken van Kats hier niet getoond zijn (ontbrekende data). De noordelijke migratie van de 2008 suppletie en de noordoostelijke migratie van de schelpenrug is in het rechter figuur aangegeven.

3.1.7.3 Ontwikkeling 2008 suppletie

De sterke sedimentatie ten noorden van de 2008-suppletie werd ook waargenomen in Van der Werf et al. (2015) (Figuur 3-13, zie ook paragraaf 2.1.1) en in de recentere studie van Jentink (2016). Opvallend was dat er in het gebied ten noord(oost)en van de suppletie meer zand terecht is gekomen dan er van de suppletie is verdwenen (Jentink, 2016). Dit suggereert dat de suppletie een luwte creëert wat sedimentatie stimuleert. De ligging van deze luwte-/sedimentatiezone sluit goed aan bij de richting van de dominante wind-gedreven stroming (paragraaf 3.1.4). Jentink (2016) concludeert dat de erosiesnelheid van de suppletie over de jaren is afgenomen. Verder lijkt er sprake te zijn van een seizoenseffect in de ontwikkeling van de suppletie met erosie in de winter en sedimentatie in de zomer. Hoewel niet uitgesloten is dat deze specifieke observatie een meeton nauwkeurigheid betreft (Jentink, 2016), is een stapsgewijze bodemontwikkeling ook waargenomen bij de monitoring van de Roggenplaat (nog in onderzoek) en ook geobserveerd op niet-gesuppleerde delen van de Galgeplaat (De Vet et al., 2020).



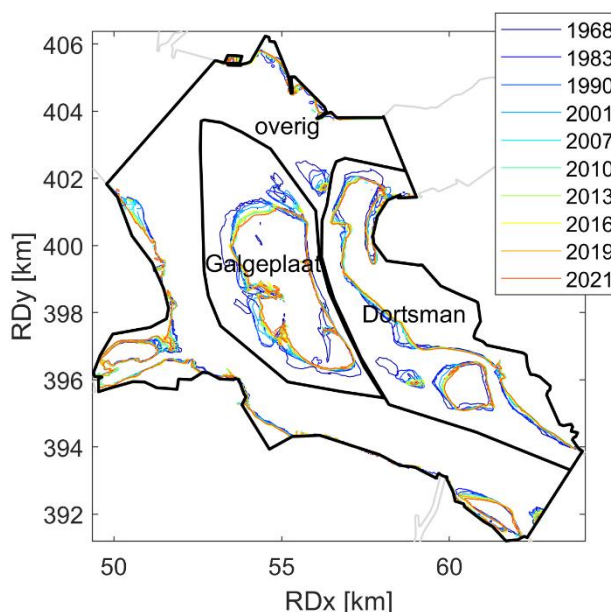
Figuur 3-13. Cumulatieve sedimentatie en erosie opgetreden tussen oktober 2008 (net na aanleg suppletie) en september 2012 (Van der Werf et al., 2015).



Figuur 3-14. Volumeverandering binnen de suppletiecontour. De peilen geven het mogelijke seizoenseffect weer (Van der Werf et al., 2015).

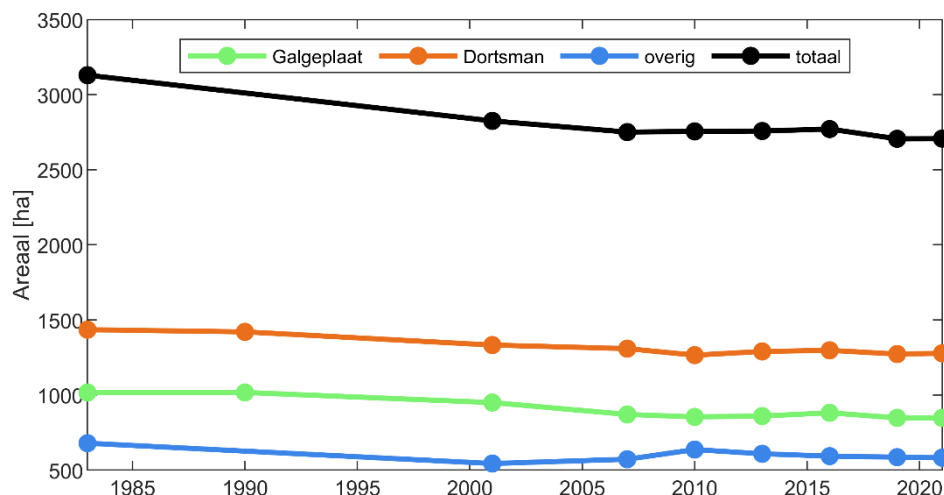
3.1.7.4 Ontwikkeling van de deelgebieden

Om te bepalen hoe de Dortsman en de Galgeplaat verschillen in morfologie en in morfologische ontwikkeling zijn de intergetijdengebieden opgedeeld in drie zones 1) de Galgeplaat, 2) de slikken van den Dortsman, kortweg Dortsman, en 3) overig (Figuur 3-15). Deze zones zijn in de rest van de analyses gebruikt.



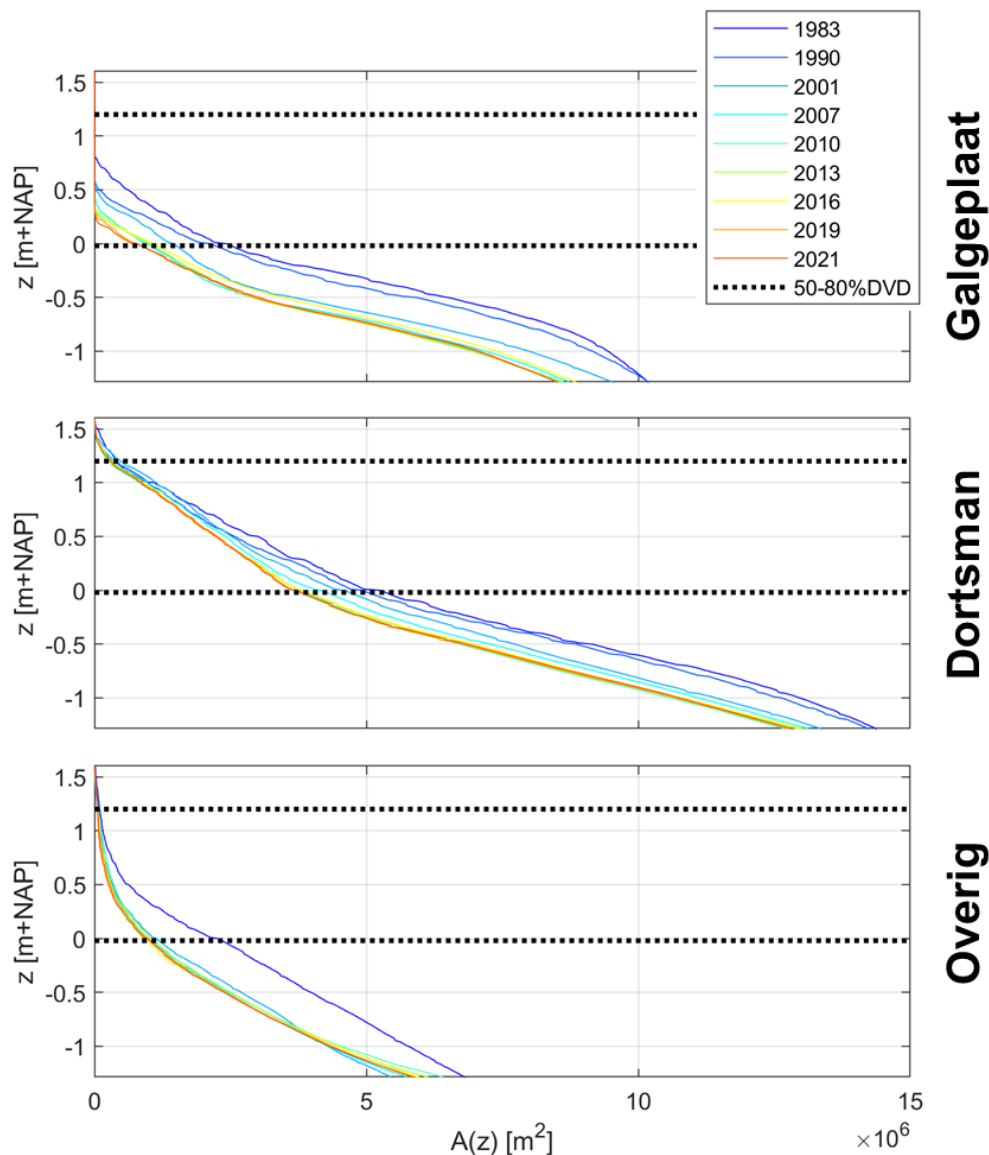
Figuur 3-15. Drie intergetijdenezones in het Middengebied van de Oosterschelde: de Galgeplaat, de Dortsman en overig. De polygonen zijn zo gekozen zodat de gemiddeld laagwaterlijnen voor alle jaren binnen de polygonen vallen.

Figuur 3-16 laat het areaal intergetijdengebied zien voor 1990 tot en met 2021 voor de Galgeplaat, Dortsman, het overige intergetijdengebied en het totaal. Het areaal was in 1990 1016 ha, 1420 ha en 474 ha voor respectievelijk de Galgeplaat, Dortsman en het overige intergetijdengebied. In 2021 was dit respectievelijk 847 ha, 1277 ha en 582 ha. De Galgeplaat en de Dortsman namen dus in areaal af, terwijl het overige intergetijdengebied in deze dataset toeneemt. In 1990 zat de Slikken van Kats en een deel van de Zandkreek echter niet in de data (zie ook Figuur 3-11 linksboven), wat in ieder geval gedeeltelijk de toename in areaal in 2021 verklaart.



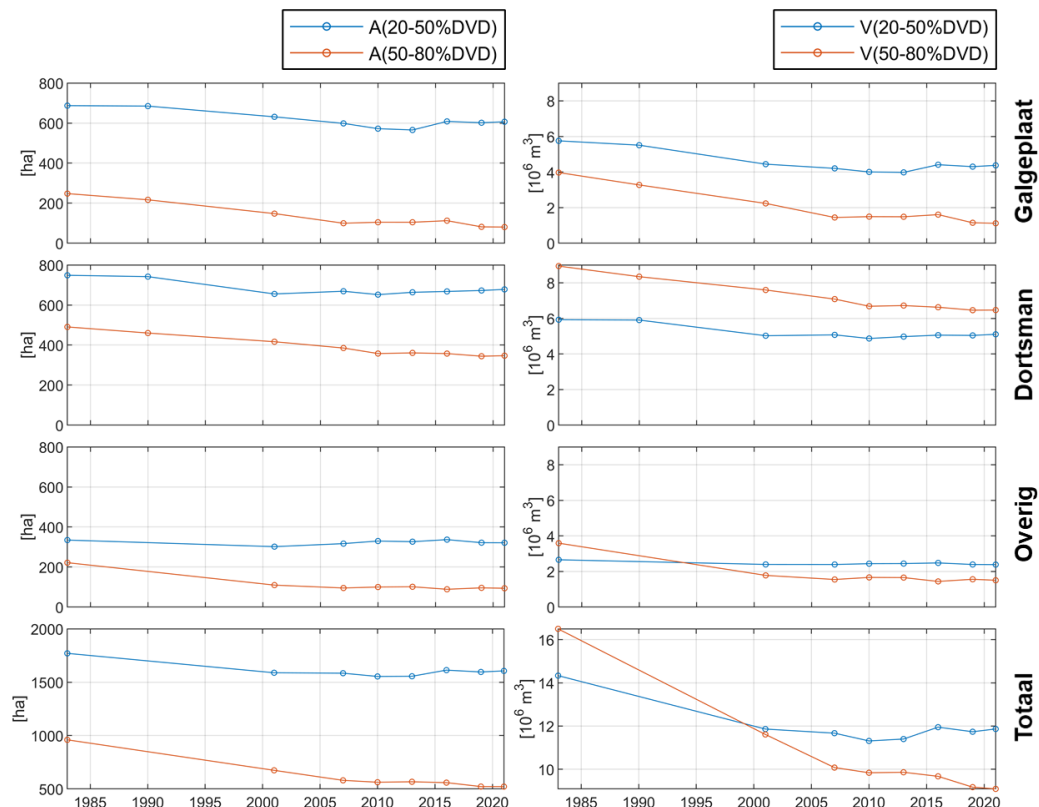
Figuur 3-16. Areaal intergetijdengebied per jaar voor de drie deelgebieden (Figuur 3-15) en het totaal voor 1990 tot en met 2021 op basis van de Vaklodgingen.

Hypsometrische curves zijn een andere manier om de morfologische ontwikkelingen van de intergetijdengebieden te bestuderen. Deze curves tonen een cumulatieve verdeling van het plaatoppervlakte als functie van de hoogte. Figuur 3-17 laat deze zien voor de periode 1990-2021. Hierin zijn verticale niveaus ingetekend die corresponderen met een 50% en 80% droogvalduur op basis van de waterstanden die in 2022 bij station Stavenisse zijn gemeten. Uit deze figuur blijkt dat de hoogteverandering op de Galgeplaat, Dortsman en het overige intergetijdengebied vrij uniform over de ruimte verloopt. Wel laat het figuur zien dat de hoogste delen van de Galgeplaat relatief sterker achteruit zijn gegaan dan de hoge delen van de andere twee gebieden (langs de dijken). Tussen 2013 en 2021 waren de veranderingen beperkt. De Dortsman kent het grootste areaal intergetijdengebied en het overige gedeelte van het Middengebied omvat het minste areaal. Verder laat de figuur zien dat er op de Galgeplaat nauwelijks areaal is en was dat meer dan 80% van de tijd droogvalt. Over de jaren is ook het areaal met een droogvalduur van meer dan 50% sterk achteruit gegaan (meer dan gehalveerd). De Dortsman en het overige intergetijdengebied hebben beide nog wel areaal dat meer dan 80% van de tijd droogvalt, gedeeltelijk zijn dit de schorren maar voor het grootste deel is dit ook intergetijdengebied. De hypsometrische curve voor het overige intergetijdengebied is voor 1990 niet geplot, omdat de data hier onvolledig waren.



Figuur 3-17. Hypsometrische curves van de Galgeplaat (boven), Dortsman (midden) en overig (onder) voor de jaren 1983, 1990 (m.u.v. "Overig"), 2001, 2007, 2010, 2013, 2016, 2019 en 2021 op basis van de Vaklodingen. Figuur 3-15 geeft de ligging van de drie regio's weer. De hypsometrische curve van 1990 is niet geplot voor het overige intergetijdengebied, omdat de Vaklodingen data daar onvolledig was.

Tijdseries van de arealen en volumes van de 20-50% en 50-80% droogvalduurklassen (zie paragraaf 3.1.1) zijn bepaald voor de Galgeplaat, Dortsman, het overige intergetijdengebied en het totaal, zie Figuur 3-18. De figuur toont dat vooral de Dortsman en de Galgeplaat in de loop der tijd areaal met een droogvalduur van 50-80% verliezen wat ten kosten gaat van de foerageerfunctie. Het areaal 20-50% droogvalduur nam in de eerste tien jaar af, maar is nu relatief stabiel. Het overige intergetijdengebied is relatief klein en kent weinig verandering in zowel areaal als volume van beide droogvalduurklassen. Tabel 3-2 geeft de grootten van het areaal en volume dat in Figuur 3-18 is geplot weer. Hieruit volgt dat er tussen 1983 en 2021 9,9 miljoen m³ zand is geërodeerd in de 20-80% droogvalduurklasse, waarvan 7,4 miljoen m³ in de 50-80% droogvalduurklasse. De vergelijking is gemaakt met 1983 in plaats van 1990, omdat in/voor 1990 relatief veel data ontbraken (de databeschikbaarheid was 97% in 1990 t.o.v. 99% in 1983).

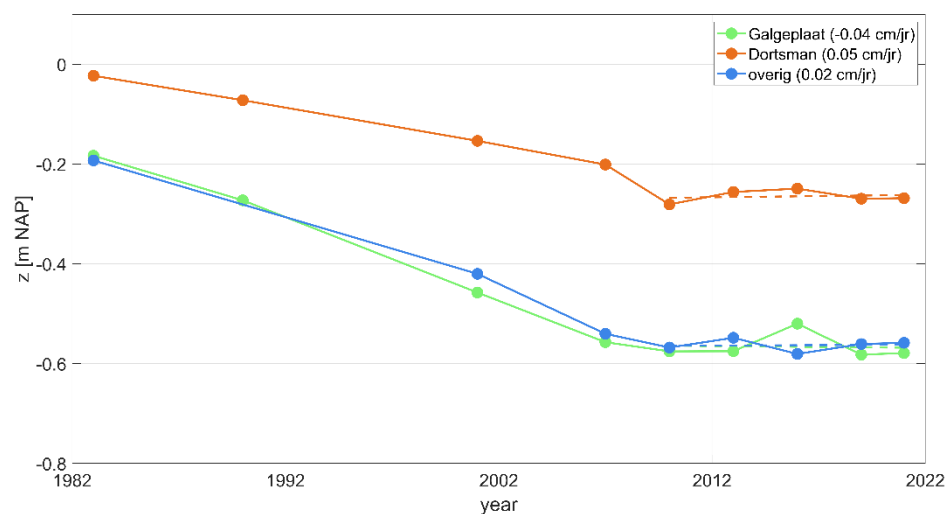


Figuur 3-18. Ontwikkeling areaal (links) en volume (rechts) met een 20-50% en 50-80% droogvalduur (DVD) voor de Galgeplaat, Dortsman, het overig intergetijdengebied en het totaal op basis van de Vaklodingen. Figuur 3-15 geeft de ligging van de drie regio's weer. In overig en het totaal zijn de data van 1990 niet meegenomen, omdat de Vaklodingen niet volledig dekkend waren in het overige intergetijdengebied.

Tabel 3-2. Het areaal en volume met een 20-50% en 50-80% droogvalduur voor de Galgeplaat, Dortsman en het overige intergetijdengebied (zie Figuur 3-15 voor de deelgebieden) op basis van de Vaklodingen. In overig en het totaal zijn de data van 1990 niet meegenomen, omdat de Vaklodingen niet volledig dekkend waren in het overige intergetijdengebied.

	DVD	1983	1990	2001	2007	2010	2013	2016	2019	2021
		Areaal [ha]								
Galgeplaat	20-50	687.2	685	631.4	598.5	572.2	565.6	608.5	601.8	606.8
	50-80	247.7	216.7	147.7	99.7	104.7	104.6	112.4	81.6	80.6
Dortsman	20-50	748.5	741.9	655.4	669	652	663.6	667.9	672.6	678.1
	50-80	490.6	460.1	416.6	385.2	357.6	360.8	357.4	344.2	346.9
Overig	20-50	334.7		301.8	316.9	329.8	326.6	336.8	321.6	321.2
	50-80	221.6		109.6	95.2	100	101.3	88.7	95.9	93.8
Totaal	20-50	1770.4	1426.9	1588.6	1584.4	1554	1555.8	1613.2	1596	1606.1
	50-80	959.9	676.8	674	580	562.4	566.7	558.6	521.7	521.3
		Volume [10 ⁶ m ³]								
Galgeplaat	20-50	5.8	5.5	4.4	4.2	4	4	4.4	4.3	4.4
	50-80	4	3.3	2.2	1.4	1.5	1.5	1.6	1.1	1.1
Dortsman	20-50	5.9	5.9	5	5.1	4.9	5	5.1	5	5.1
	50-80	8.9	8.3	7.6	7.1	6.7	6.7	6.6	6.5	6.5
Overig	20-50	2.7		2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	2.4
	50-80	3.6		1.8	1.5	1.7	1.7	1.4	1.6	1.5
Totaal	20-50	14.3	11.4	11.9	11.7	11.3	11.4	11.9	11.7	11.9
	50-80	16.5	11.6	11.6	10.1	9.8	9.9	9.7	9.2	9.1

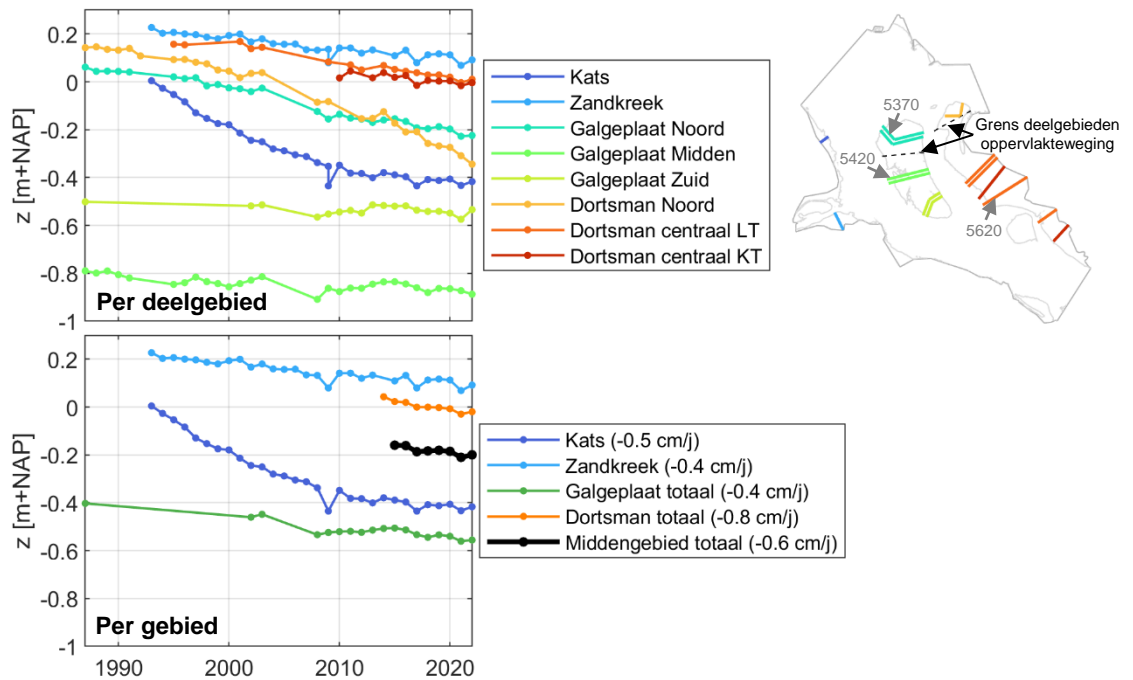
Figuur 3-19 laat de gemiddelde hoogte voor de Galgeplaat, Dortsman en het overige intergetijdengebied zien in de periode 1983-2021 op basis van de Vaklodingen data. In 1983 en 1990 lag de Dortsman gemiddeld 20 cm hoger dan de Galgeplaat en het overige intergetijdengebied. Sinds 2001 ligt de Dortsman gemiddeld 30 cm hoger dan de Galgeplaat en het overige intergetijdengebied. Ter vergelijking, de gemiddelde hoogte van het deel van de Roggenplaat dat tussen 1983 en 2021 altijd intergetijdengebied was, was tussen 1983-2021 gemiddeld NAP -0,08 m. Het intergetijdengebied van het Middengebied ligt in het heden dus ongeveer een halve meter lager dan de Roggenplaat. In de Vaklodingen data zijn er geen recente (sinds 2010) erosietrends waar te nemen. Een afname in erosiesnelheden in de Oosterschelde is al eerder waargenomen (De Vet et al., 2017) en ook al bij het ontwerp van de Roggenplaat suppletie beschouwd (Van der Werf et al., 2016b). Echter, de Vaklodingen data is niet nauwkeurig genoeg om trends van millimeters per jaar te vatten. Om te kunnen beoordelen in hoeverre de erosietrends in het Middengebied daadwerkelijk zijn afgenomen, zijn hierna de trends in de RTK metingen beschouwd.



Figuur 3-19. De gemiddelde hoogte voor de drie deelgebieden per jaar op basis van de Vaklodingen voor locaties die in de periode 1983-2021 altijd tussen laag- en hoogwater lagen. De stippellijn geeft de trend in hoogteverandering aan voor 2010 t/m 2021.

3.1.7.5 Ontwikkeling en trends van de profielmetingen

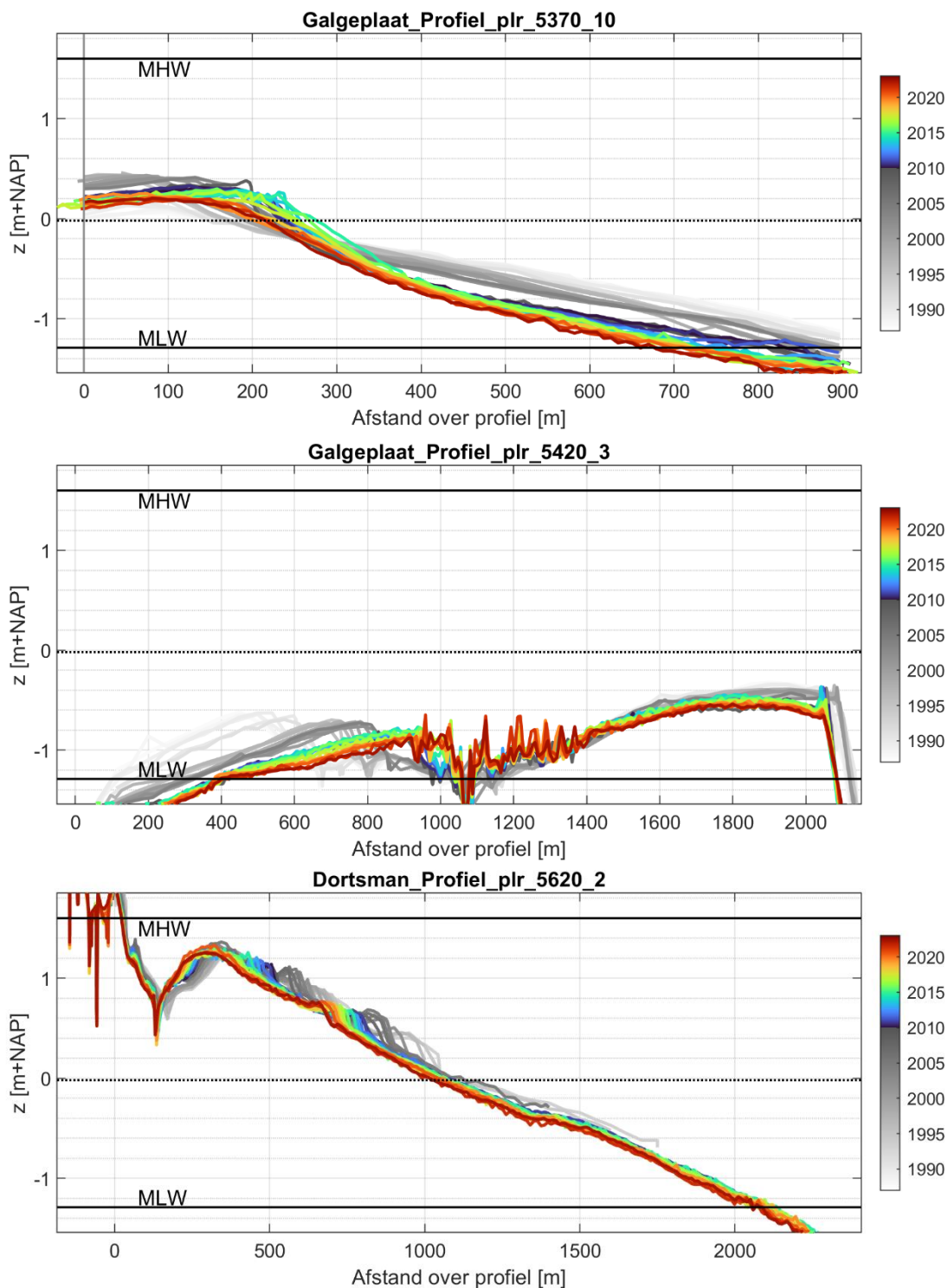
Figuur 3-20 laat de gemiddelde ontwikkeling langs de RTK raaien van het intergetijdengebied in het Middengebied van de Oosterschelde zien. Alleen metingen die 60% van de gemiddelde lengte van een profiel dekten en alleen profielen die ook na 2016 zijn gemeten zijn beschouwd. De gemiddelde erosiesnelheden sinds 2010 (het jaar sinds wanneer alle beschouwde profielen zijn gemeten) zijn berekend en gewogen op basis van de oppervlakte van de gebieden. De grens tussen de deelgebieden op de Galgeplaat en de Dortsman zijn gebaseerd op de grenzen van de noordelijke erosieve zones in deze gebieden (Figuur 3-12). Hieruit volgt een gemiddelde erosiesnelheid over de periode 2010-2022 van 0,4 cm/jaar voor de Galgeplaat en van 0,8 cm/jaar voor de Dortsman. Voor het overige intergetijdengebied zijn slechts twee profielen beschikbaar wat de trends minder representatief maakt (0,5 cm/jaar erosie voor Kats en 0,4 cm/jaar erosie voor Zandkreek). De profielen langs de Dortsman erodeerden na 2010 twee keer sneller dan de Galgeplaat profielen. De meeste erosie vond plaats langs Dortsman Noord (2,1 cm/jaar) en Galgeplaat Noord (0,7 cm/jaar), zoals ook zichtbaar is in de Vaklodingen kaarten (Figuur 3-11). Het midden en zuiden van de Galgeplaat was redelijk stabiel (0,2 cm erosie per jaar). Zoals ook waargenomen voor de Vaklodingen data (Figuur 3-19) is er een afname in erosietrends opgetreden. Sinds 2010 vindt er – op basis van de RTK metingen – nog steeds gemiddeld 0,6 cm/jaar erosie plaats in het Middengebied.



Figuur 3-20. Gemiddelde bodemontwikkeling langs de RTK raaien over de intergetijdengebieden in het Middengebied van de Oosterschelde tussen 1987 en 2022. De bovenste plot laat de ontwikkeling zien per deelgebied, en de onderste plot laat de bodemligging per gebied zien. De profielen van de Slikken van den Dortsman zijn onderverdeeld in lange-termijn profielen (LT; profielen met data vóór 2010) en korte-termijn profielen (KT; pas sinds 2010 ingemeten). De gemiddelde erosiesnelheden sinds 2010 zijn weergegeven in de legenda van de onderste figuur. Dit zijn de gemiddelde erosiesnelheden gewogen voor de oppervlakte van de (deel)gebieden. De viercijferige profielnummers refereren naar de profielen die in Figuur 3-21 zijn getoond.

Figuur 3-20 toonde een variatie in erosiesnelheden tussen de verschillende profielen en deelgebieden. Om een beeld te geven van hoe de bodemontwikkelingen variëren binnen profielen zijn in Figuur 3-21 de hoogteligging langs drie van deze RTK raaien weergegeven. Deze raaien zijn zo gekozen om de diversiteit in ontwikkelingen weer te geven. Het profiel aan de noordkant van de Galgeplaat (5370) – gelegen in een van de meest erosieve gebieden van het Middengebied – vertoont met name erosie beneden de 50% droogvalduurhoogteligging. Over de tijd is het profiel meer concaaf (hol) geworden wat typisch is voor een golfgedomineerd erosief profiel (Friedrichs, 2011). Het profiel dat het midden van de Galgeplaat doorkruist (5420) – gelegen in een van de lager gelegen, minder erosieve gebieden – vertoont een meer ruimtelijk-uniform erosief beeld. Uitzondering hierop is de oesterbank die in het midden van het profiel gevestigd is. Wat vooral zichtbaar is in de hoogteliggingen van rond 2000, is dat deze rissen in een luwte (dal) van het profiel liggen. Ook het profiel op de Dortsman (4620) vertoont een relatief ruimtelijk-uniforme erosie.

Dit profiel op de Dortsman toont enkele substantiële bodemvormen (> 10m) die zich richting de dijk (richting het noordoosten) migreren. Al vindt er ondanks deze migratie van bodemvormen netto erosie plaats (kortom netto transport richting de geulen). Ook de suppletie uit 2008 en de schelpenrug op de Galgeplaat vertoonden een migratie richting het noorden/noordoosten (Figuur 3-12). Deze ontwikkelingen kunnen mede verklaard worden door de wind-gedreven stroming (dominant richting het noordoosten; paragraaf 3.1.4) en zijn in bepaalde mate indicatief voor de te verwachten migratierichting van de toekomstige suppleties. Een dergelijk inzicht is ook benut bij het ontwerp van de suppleties op de Roggenplaat (Van der Werf et al., 2019).



Figuur 3-21. Bodemligging langs drie RTK raaien in het Middengebied. De bovenste raai ligt aan de noordkant van de Galgeplaat en is richting het noordwesten georiënteerd, de middelste raai doorkruist het midden van de Galgeplaat richting het oosten en de onderste raai is richting het zuidwestwesten georiënteerd op de Dortsman. De precieze locaties van deze raaien zijn in Figuur 3-20 aangegeven met het viercijferige profielnummer van elke raai. De gemiddeld laagwaterlijn (MLW) en de gemiddeld hoogwaterlijn (MHW) zijn met de doorgetrokken lijnen aangegeven en de stippellijn toont de 50% droogvalduurhoogteligging. Om de recente ontwikkelingen te kunnen waarnemen, zijn de hoogteliggingen vóór 2010 in grijswaarden weergegeven.

3.2 Vogels

3.2.1 Trends van steltlopers in de Oosterschelde

De intergetijdengebieden zijn belangrijke foerageergebieden voor steltlopers. Achteruitgang van dit habitat heeft impact op het foerageergedrag en de populatiegrootte. Ontwikkelingen in toe- en afnames van de vogelstand wordt opgevolgd middels trendanalyses op basis van jaarlijkse hoogwatervluchtplaatstellingen. In 2020 is een trendanalyse uitgevoerd voor de in de Oosterschelde Natura2000 vogelsoorten op basis van de hoogwatervluchtplaatstellingen tussen 1987 en 2017 (van Donk et al., 2020). In de analyse van deze studie die is uitgevoerd met behulp van het programma Trendspotter, zijn de volgende steltlopers meegenomen waarvoor naar verwachting de zandhonger tot een vermindering van het foerageergebied kan leiden: bontbekplevier, bonte strandloper, drieteenstrandloper, groenpootruiter, kanoet, kluut, rosse grutto, scholekster, steenloper, strandplevier, tureluur, wulp, zilverplevier. Naast deze steltlopers is ook de bergeend meegenomen omdat die afhankelijk is van hetzelfde foerageergebied.

De Oosterschelde is op te delen in vier deelgebieden (West, Centraal, Noord en Oost) die grofweg vier foerageergebieden vertegenwoordigen. Elke hoogwatervluchtplaats is toegewezen aan één zo'n deelgebied. De vogels die hier rusten, vliegen over het algemeen naar éénzelfde foerageergebied (op basis van expert knowledge).

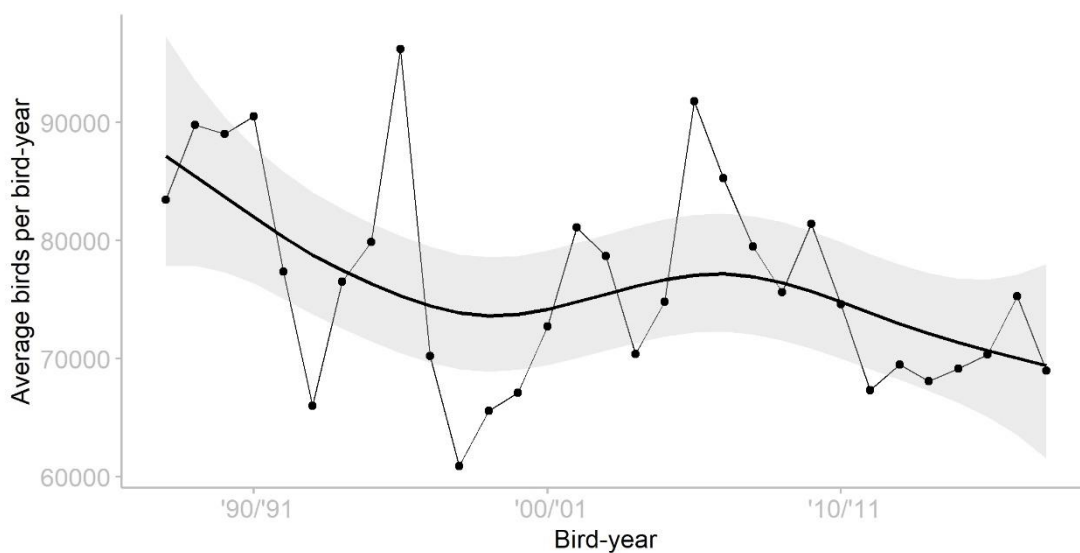
De data zijn geanalyseerd, zoals bij vogeldata gebruikelijk is, per telseizoen dat loopt van juli tot en met juni het opeenvolgende jaar. Per deelgebied en voor de gehele Oosterschelde zijn langetermijnberekeningen (telseizoen '87/'88-'18/'19) en kortetermijnberekeningen (telseizoen '10/'11-'18/'19) uitgevoerd. De tijdreeksen verschillen soms iets van elkaar, omdat de beschikbaarheid van de gebruikte data voor de gehele Oosterschelde en deelgebieden van elkaar verschilden tijdens uitvoering van de analyses. Hiernaast is soms een specifieke periode geselecteerd voor de vergelijking met andere gebieden. Onder elk figuur is de selectie weergegeven (zie verder voor de methode van Donk et al. 2020).

Op lange termijn (30 jaar) vindt sinds het begin van de telreeks een afname van de totale aantallen Natura 2000-steltlopers plus bergeend plaats in de Oosterschelde. Echter door de grote fluctuaties in aantallen is deze trend niet significant (Figuur 3-22). Per vogelsoort verschillen de trends. Zo vindt er een toename plaats van de bonte strandloper, drieteenstrandloper, wulp en bergeend, terwijl de strandplevier, scholekster, zwarte ruiter en kanoetstrandloper significant afgenomen zijn. De groenpootruiter, tureluur, zilverplevier, steenloper en kluut nemen zowel toe als af in de gemeten periode. Voor de bontbekplevier en rosse grutto is geen significante trend gemeten (Tabel 3-3). Op korte termijn (2010/2011 tot en met 2017/2018) zijn trends over het algemeen negatiever. Alleen de bergeend is gedurende deze periode significant toegenomen (Tabel 3-3). Vijf soorten (strandplevier, scholekster, zwarte ruiter, kanoetstrandloper en tureluur) zijn significant afgenomen en de rest van de soorten zijn stabiel gebleven of hebben een mogelijke trend die niet met zekerheid is vast te stellen (bontbekplevier, rosse grutto, zilverplevier, steenloper, bonte strandloper, kluut, wulp en drieteenstrandloper). Trends zijn verschillend voor de vier deelgebieden in totale aantallen vogels en voor de individuele soorten. Totale aantallen vogels namen significant af in deelgebied Oost (Figuur 3-23). In deelgebied Noord lijkt ook een lichte daling te zijn ingezet in de laatste twee geanalyseerde telseizoenen, maar dit is niet significant. In Centraal en West zijn de aantallen de laatste jaren (vanaf ongeveer 2010/2011 tot 2018/2019) stabiel. De Galgeplaat, Slikken van den Dortsman en Zandkreek vallen onder deelgebied Centraal.

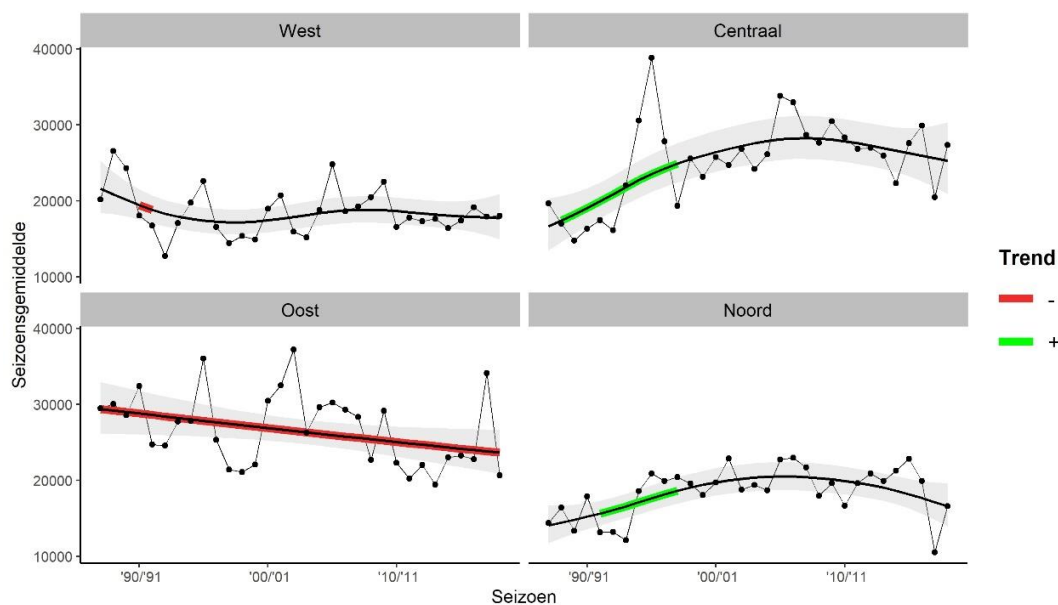
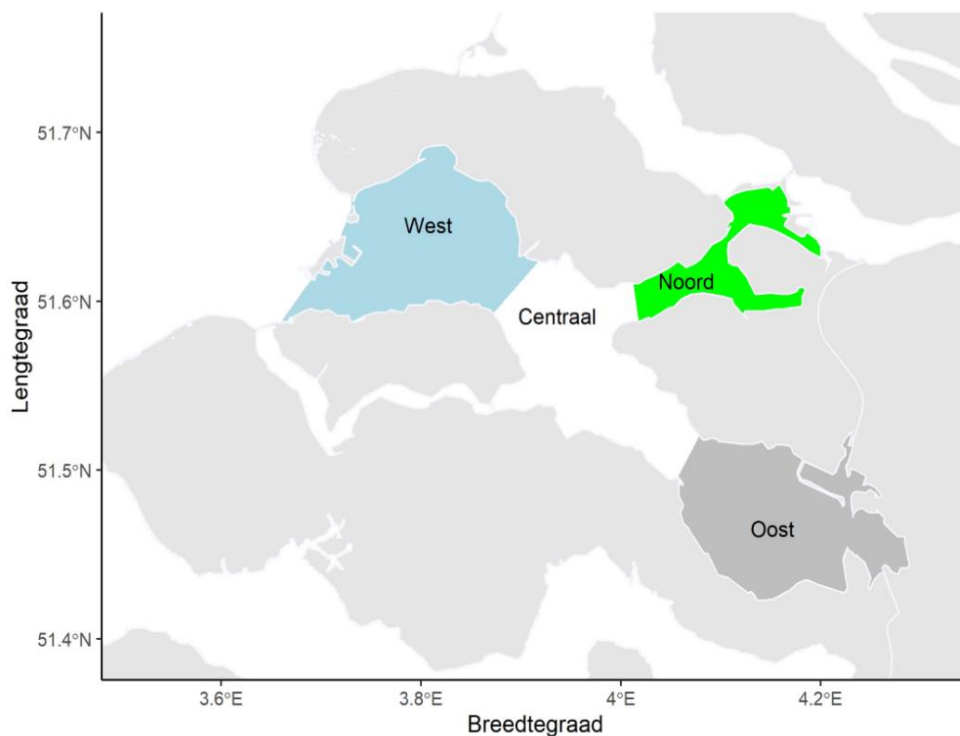
Tabel 3-3 Overzicht trendanalyse, dieet en seizoensvoorkomen per vogelsoort in de Oosterschelde. Soorten in volgorde van grootste afname naar grootste toename.

Soort	Hoofdvoedsel	Aanwezigheid in Oosterschelde	Periode > '87/'88	Periode > '10/'11
Strandplevier	kreeftachtigen, borstelwormen, kleine schelpdieren	Broedperiode		
Scholekster	kokkels, mossels, zeepieten	Herfst, winter, voorjaar		
Zwarte ruiter	borstelwormen, kreeftachtigen, kleine vis, kleine schelpdieren	Migratie		
Groenpootruiter	kreeftachtigen, borstelwormen, kleine schelpdieren, kleine vis	Migratie	 	
Bontbekplevier	kleine borstelwormen, vlokreeften	Migratie		
Rosse grutto	(borstel)wormen	Herfst, winter, voorjaar		
Kanoetstrandloper	kleinere kokkels, nonnetjes	Winter		
Tureluur	kreeftachtigen, wormen, wadslakjes	Jaarrond, migratie	 	
Zilverplevier	borstelwormen, wadslakjes	Herfst, winter, voorjaar	 	
Steenloper	kreeftachtigen, schelpdieren, wadslakjes	Herfst, winter, voorjaar	 	
Bonte strandloper	kleine borstelwormen, vlokreeften, wadslakjes, nonnetjes	Herfst, winter, voorjaar		
Bergeend	wadslakjes, diatomen	Jaarrond, winter		
Kluut	kreeftachtigen, wormen, kleine vis, aquatische insecten	Jaarrond, broedperiode	 	
Wulp	grotere benthos, borstelwormen, krabben	Herfst, winter, voorjaar		
Drieteenstrandloper	kreeftachtigen, wormen	Jaarrond, migratie		

Tabel (deels) overgenomen uit van Donk et al. (2020). Informatie over vogeldieet (del Hoyo et al. 1996; Troost & Ysebaert 2011; Ens et al. 2016; van Roomen et al. 2018). De waardes van de laatste twee kolommen zijn gebaseerd op de analyse uitgevoerd met programma Trendspotter. Wanneer er in twee of meer seizoenen een significante af- of toename heeft plaats gevonden, staat er een roodgroene, rode of groene pijl. Rood staat voor een afname van 2 seizoenen of meer, groen staat voor een toename van 2 seizoenen of meer, roodgroen staat voor toe- en afnames van samen tenminste 2 seizoenen of meer, grijs staat voor geen toe- of afnames of een onzekere trend. Voor de periode >'10-'11 is een pijl toegekend wanneer 1 seizoen of meer een significante toe- of afname is gevonden.

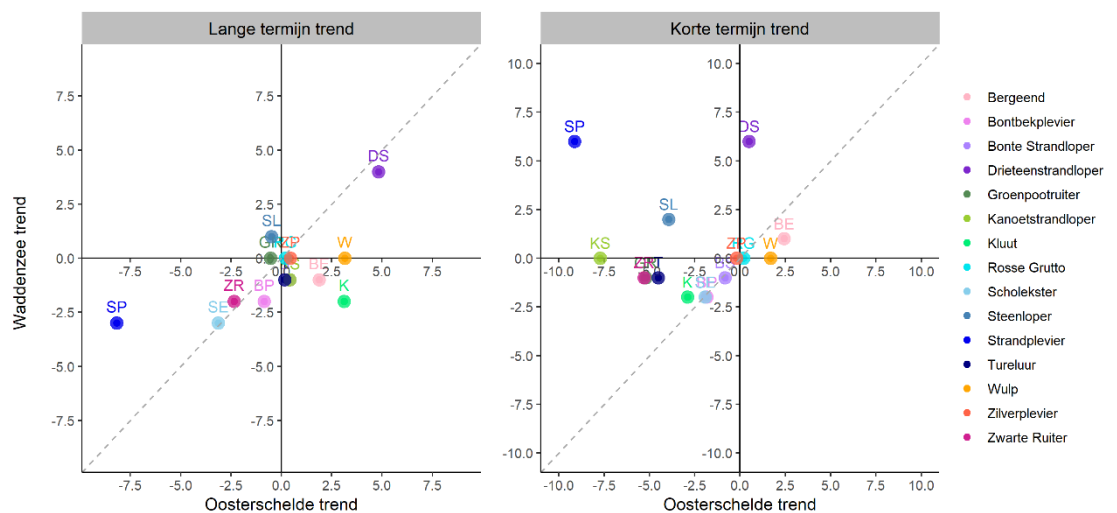


Figuur 3-22 Tijdreeksanalyse van het gemiddelde van de totale aantallen vogels (bontbekplevier, bonte strandloper, drieteenstrandloper, groenpootruiter, kanoet, kluut, rosse grutto, scholekster, steenloper, strandplevier, tureluur, wulp, zilverplevier) per seizoen in deze studie van telseizoen '87/'89 tot en met '17/'18. De punten representeren de seizoensgemiddelden, deze zijn verbonden door een dunne zwarte lijn. De dikke zwarte lijn is het geschatte populatieverloop door Trendspotter. De grijze band om deze lijn representeert het 95% betrouwbaarheids-interval.

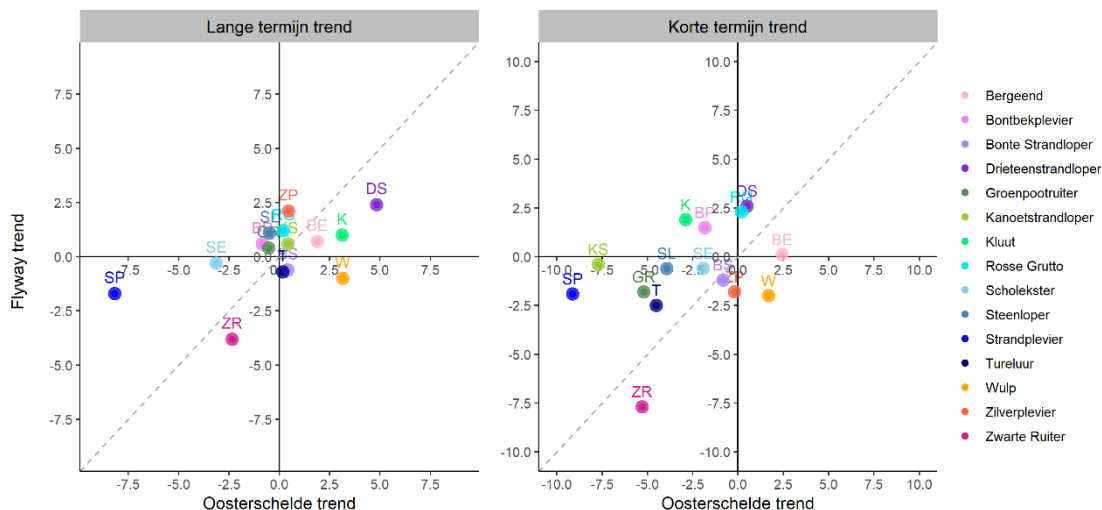


Figuur 3-23 Deelgebieden in de Oosterschelde (boven) en tijdreeksanalyse van de gemiddelde aantallen vogels van de geselecteerde soorten per seizoen per deelgebied van telseizoen '87/'88 tot en met '18/'19 (beneden). De punten representeren de seizoensgemiddelden berekend over de ruwe data (ongecorrigeerde tellingen van de maanden januari, februari, mei, augustus, november, december). Deze zijn verbonden door een dunne zwarte lijn. De dikkere lijn is het geschatte populatieverloop door Trendspotter. De grijze band om deze lijn representeert het 95% betrouwbaarheidsinterval. De kleur geeft de trendindicatie aan.

Om de toe- en afnames van vogels beter te kunnen interpreteren en plaatsen, is het belangrijk toe- en afnames te vergelijken met trends in andere gebieden en/of met de flyway-populatie (Figuur 3-24 en Figuur 3-25) (Visser, 2004; Soldaat et al. 2007). Trendanalyses van min of meer dezelfde periodes waren beschikbaar voor de Waddenzee en verschillende flyway-populaties (Kleefstra et al., 2019; van Roomen et al., 2018). Over de lange termijn komen trends van de Waddenzee en flyway-populaties vrij goed overeen voor de meeste soorten, op een positievere trend van bergeend, kluit en wulp en een veel negatievere trend voor de strandplevier na. Echter lijkt de trend van de Oosterschelde in recentere jaren duidelijk negatiever te zijn voor veel soorten dan de trends in de Waddenzee en van de flyway-populaties. Zo doen de groenpootruiter, tureluur, steenloper, drieteenstrandloper, kanoetstrandloper en strandplevier het slechter in de Oosterschelde in vergelijking met zowel de trends in de Waddenzee als de flyway-populaties. Ook zijn trends voor zwarte ruiter op de korte termijn negatiever in de Oosterschelde vergeleken met de Waddenzee en trends voor kluit en bontbekplevier negatiever dan in de flyway-populaties. De wulp heeft een opvallende positieve trend in de Oosterschelde, terwijl de trend in de Waddenzee stabiel is maar deze soort afneemt in de flyway-populatie. De afnames in de Oosterschelde suggereren dat foerageercondities de afgelopen jaren aan het verslechteren zijn. Of deze afnames een gevolg zijn van de zandhonger of andere (mogelijk gerelateerde) veranderingen is niet bekend. Om meer inzicht te krijgen in de oorzaak van de afnemende vogeltrends in de Oosterschelde moet een gedetailleerdere analyse uitgevoerd worden, waarbij recent gemeten plaatarealen, droogvalduur, aanwezige bodemdieren en eventuele andere factoren zoals verstoring meegenomen wordt.



Figuur 3-24 Trends in de Oosterschelde (percentuele verandering) vergeleken met de trends in de Waddenzee van de geselecteerde soorten. Links lange-termijntrends van telseizoen '87/'88 tot '16/'17 en rechts korte-termijntrends van telseizoen '07/'08 voor de Oosterschelde en vanaf telseizoen '08/'09 voor de Waddenzee tot telseizoen '16/'17. Trends zijn berekend met Trendspotter, Waddenzee-trends zijn overgenomen uit (Kleefstra et al., 2019). Als punten op de stippellijn liggen, is de verandering in trend in de Oosterschelde hetzelfde als in de Waddenzee. Soorten die links van de lijn liggen hebben een positievere trend in de Waddenzee, soorten die rechts van de lijn liggen hebben een positievere trend in de Oosterschelde.

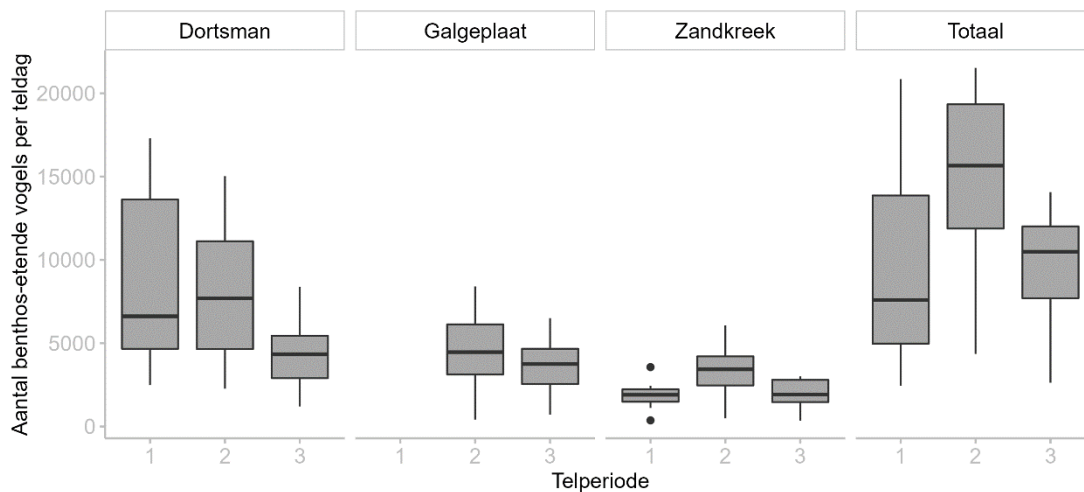


Figuur 3-25 Oosterschelde trends (percentuele verandering) vergeleken met de Flyway trends van de geselecteerde soorten. Links de lange termijn trends van telseizoenen '87/'88 tot '16/'17 en rechts de korte termijn trends van telseizoenen '07/'08 tot '16/'17. TrendsTrends zijn berekend met Trendspotter, Waddenzee-trends zijn overgenomen uit (van Roomen et al., 2018). Als punten op de stippellijn liggen is de verandering in trend in de Oosterschelde hetzelfde als in de Waddenzee. Soorten die links van de lijn liggen hebben een positievere trend in de Waddenzee, soorten die rechts van de lijn liggen hebben een positievere trend in de Oosterschelde.

3.2.2 Steltlopers in het Middengebied van de Oosterschelde

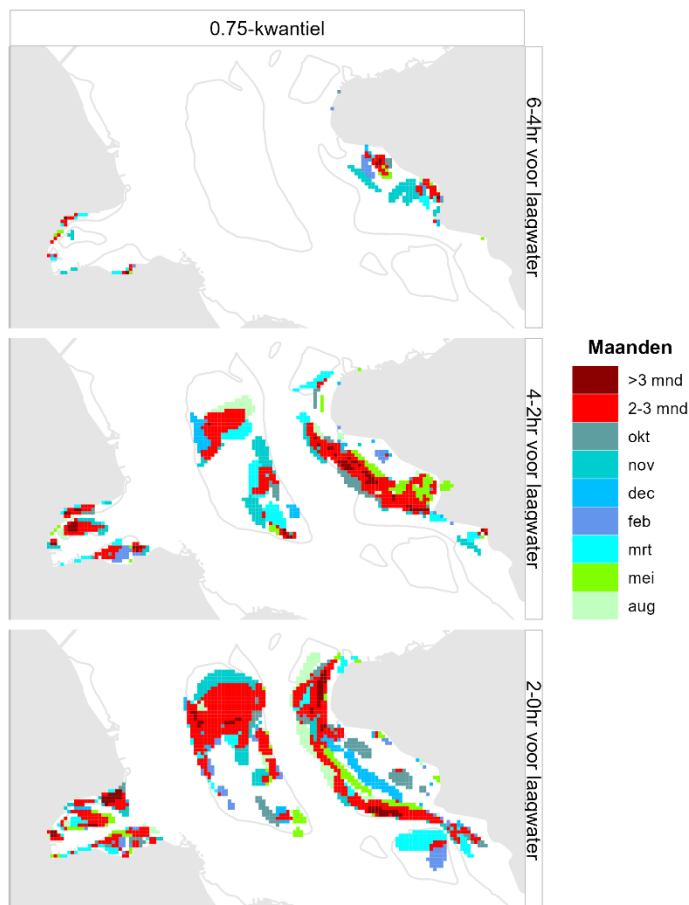
Tussen oktober 2021 en augustus 2022 zijn de vogels die het Middengebied van de Oosterschelde gebruiken als foerageergebied bij laagwater geteld. Deze tellingen kunnen gebruikt worden om in kaart te brengen welke gebieden op welk moment in het getij belangrijk zijn voor foeragerende vogels. De vogels zijn in totaal op acht dagen geteld in de maanden oktober, november en december in 2021 en in de maanden januari, februari, maart, mei en augustus in 2022, op de Slikken van den Dortsman, de Galgeplaat en de Zandkreek. Gedurende een telling werden de vogels in kaart gebracht op drie momenten: op 6-4 uur, 4-2 uur en 2-0 uur voor laagwater. Zie voor een uitgebreidere beschrijving van de methode en resultaten van tellingen in het Middengebied van Donk (2022).

Er foerageren gemiddeld zo'n 20.000 benthos-etende vogels op de Slikken van den Dortsman, Galgeplaat en Zandkreek. In deze rapportage zijn steltlopers, meeuwen en bergeenden als benthos-etende vogels gegroepeerd. De grootste aantallen vogels foerageren op de Slikken van den Dortsman. Dit is tevens het gebied met het grootste oppervlakte. De aantallen zijn hier vooral hoog tijdens de eerste en tweede telperiode (dus tussen 6-2 uur voor laagwater) en iets lager in de derde telperiode (tussen 2-0 uur voor laagwater). Dit suggereert dat de vogels zich bij afgaand tij verplaatsen van de Slikken van den Dortsman naar andere gebieden zoals hoogstwaarschijnlijk de Galgeplaat (Figuur 3-26). De Galgeplaat wordt pas vanaf 4-2 uur voor laagwater gebruikt door de vogels. De Galgeplaat ligt lager dan de omliggende gebieden en valt dus pas later droog.



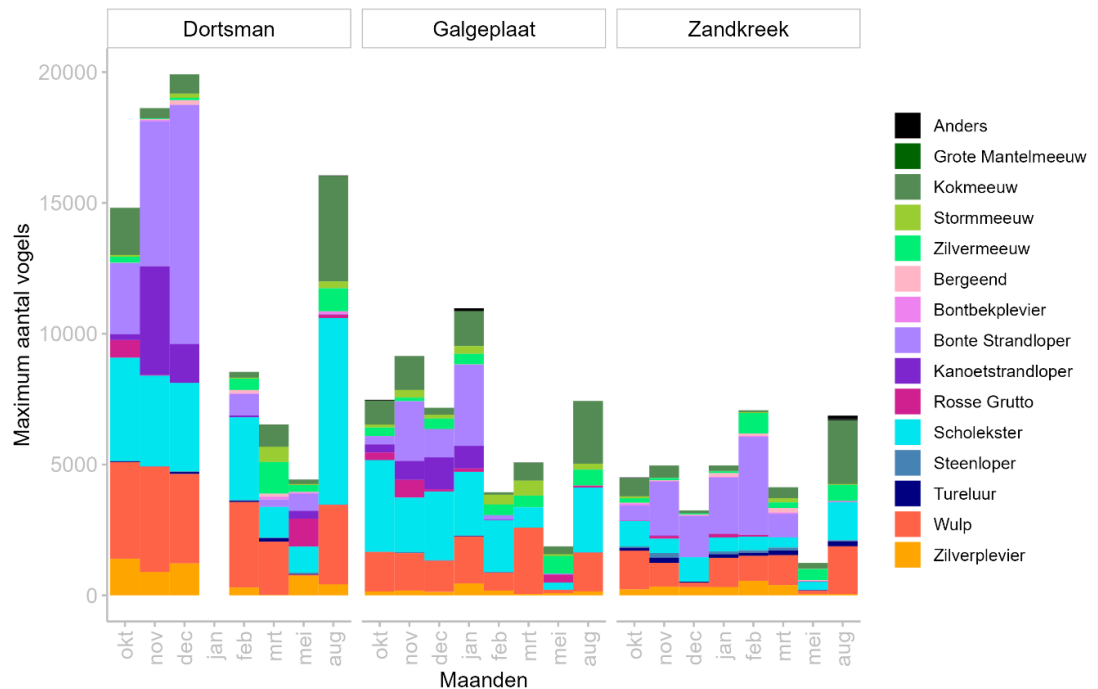
Figuur 3-26. Aantal benthos-etende vogels (steltlopers van getijdeplaten en bergeenden) per telmoment en telgebied en de totaal getelde aantallen in het hele gebied over alle uitgevoerde tellingen. Telperiode 1 vindt plaats tussen 6-4 uur voor laagwater, telperiode 2 tussen 4-2 uur voor laagwater en telperiode 3 2-0 uur voor laagwater. De Galgeplaat wordt alleen tijdens telperiode 2 en 3 geteld omdat deze plaat pas later droogvalt.

Binnen de gebieden zijn de aantallen vogels niet homogeen verdeeld (Figuur 3-27). Op de Galgeplaat worden de hoogste aantallen vogels geteld iets ten noorden van het Middengebied en op het noordwestelijke deel van de plaat. De vogels die foerageren op de Slikken van den Dortsman lijken mee te bewegen met de waterlijn, gezien de hoogste dichtheden te vinden zijn in een lange lijn die met laagwater meer richting het zuidwesten beweegt richting dieperliggende gedeeltes.



Figuur 3-27. Verspreiding aantallen benthos-etende steltlopers groter dan het 0.75 kwantiel per maand (Onder 3.2.4 verdere interpretatie in verband met (semi) kwalitatieve benthosbemonstering). De mediaan geeft het midden van een getallenreeks wanneer de data van laag naar hoog wordt geordend en het 0.75 kwantiel is de waarde die op 75% van de datareeks is te vinden. Wanneer data groter dan het 0.75 kwantiel wordt gepresenteerd, laten we dus de punten met de 25% hoogste dichtheden zien. Aangegeven zijn de plekken waar grotere dichtheden vogels dan het 0.75 kwantiel zaten in 2-3 maanden, meer dan 3 maanden en specifieke maanden. Januari is uit dit figuur weggelaten, omdat bij deze telling de gegevens van de Slikken van den Dortsman missen.

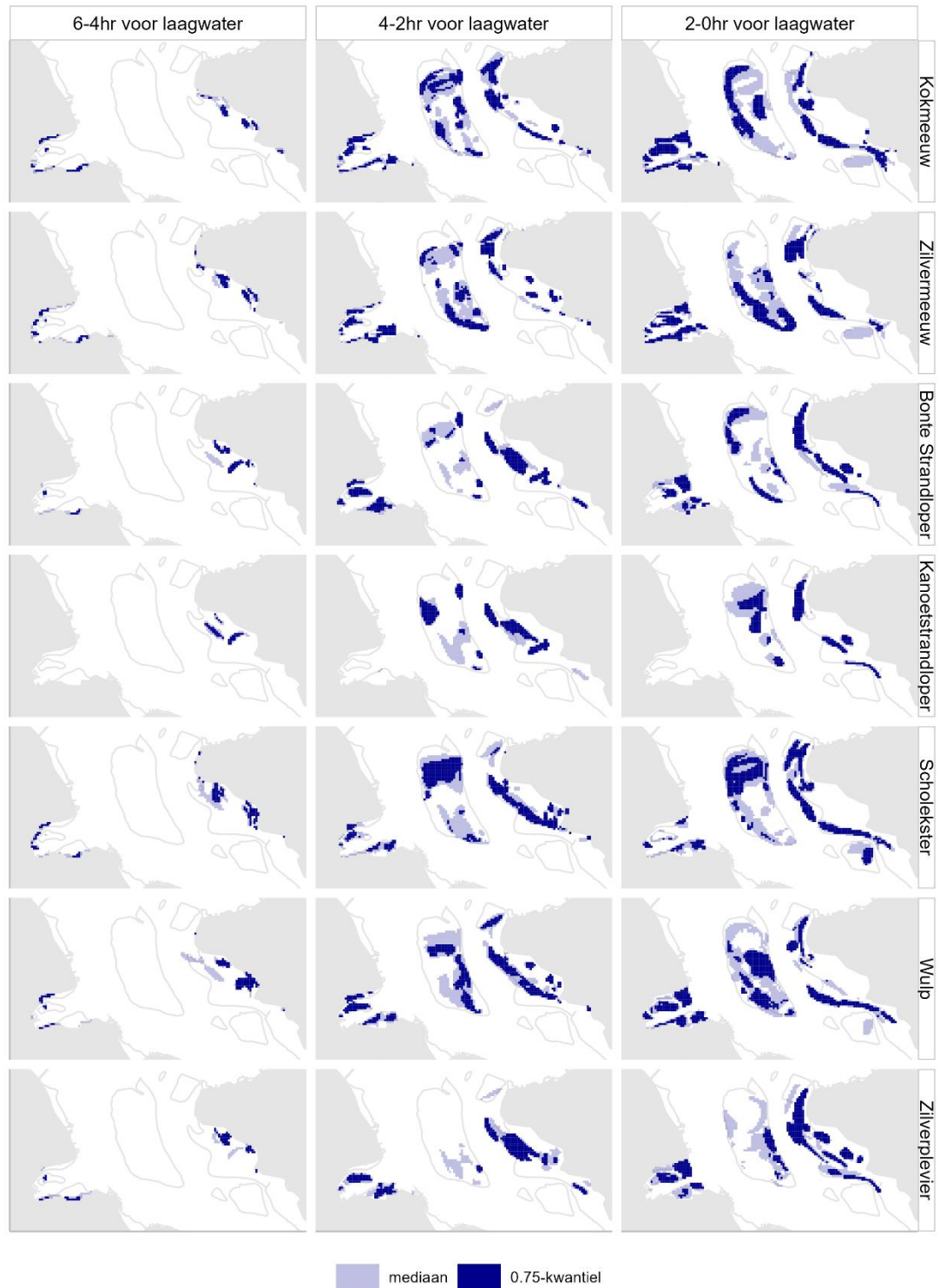
Het Middengebied van de Oosterschelde wordt, net als andere gebieden in de Oosterschelde, gebruikt door verschillende soorten. De meest voorkomende soorten in het Middengebied tijdens laagwater zijn de bonte strandloper, de scholekster en de wulp, maar aantallen en soortsaamenstelling verandert gedurende het jaar (Figuur 3-28). Zo is de kokmeeuw een zeer talrijke vogel in de maand augustus. De kanoetstrandloper is enkel aanwezig in de wintermaanden en in grotere aantallen gezien op de Slikken van den Dortsman en op de Galgeplaat, maar niet in de Zandkreek.



Figuur 3-28. Maximum aantal in één van de telmomenten van benthosetende vogels per telgebied over de getelde maanden. De categorie “Anders” bevat de drieteenstrandloper, groenpootruiter, kluut, regenwulp, zwarte ruiter, kleine mantelmeeuw en de zwartkopmeeuw. Deze soorten waren acht keer of minder vaak aanwezig tijdens de tellingen berekend per telgebied.

Het ruimtelijke gebruik van vogels verschilt ook per soort (Figuur 3-29). Zo zijn de dichtheden van de kanoetstrandloper, die voornamelijk kleine kokkels en nonnetjes eet, hoger op plekken op het noordelijk en westelijk deel van de Galgeplaat en komt de soort zo goed als niet voor in de Zandkreek waar veel schelpdierbanken (in dit geval oesterriffen) liggen (Troost et al., 2022). Uit de jaarlijkse monitoring van de Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) blijkt dat de dichtheid aan kokkels (en ook Filipijnse tapijtschelp) inderdaad hoger was op het noordelijk deel van de Galgeplaat en delen van de Slikken van den Dortsman in 2021, maar laag in de Zandkreek (Troost et al., 2022). Hetzelfde verspreidingsbeeld is te zien in de resultaten van de semi-kwantitatieve benthosbemonstering (zie 3.3.2). Dichtheden van nonnetjes zijn lager in het gebied, en zijn in de WOT-survey enkel aangetroffen op de Galgeplaat en de Slikken van den Dortsman (https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_Delta). Ook de scholekster die onder andere foerageert op grotere kokkels en andere in het slik verstopte schelpdieren waaronder Filipijnse tapijtschelpen, is in hogere dichtheden te vinden op het noordelijke en noordwestelijke deel van de Galgeplaat en de Slikken van den Dortsman (net als de bonte strandloper en kokmeeuw). Verder valt op dat de bonte strandloper met name in telperiode 2 (4-2 uur voor laagwater) hogere dichtheden heeft op Slikken van den Dortsman en Zandkreek. Hogere dichtheden van de wulp daarentegen komen voor op het midden en zuiden van de Galgeplaat waar de meeste oesterbanken liggen. Deze soort foerageert op wormen en krabben die (gedeeltelijk) op en rond schelpdierbanken te vinden zijn (Tabel 3-3). Ook de zilvermeeuw is

meer aanwezig aan de zuidkant van de Galgeplaat. Deze soort foerageert op allerlei prooidieren waaronder strandkrabben en schelpdieren. De zilverplevier komt, met name tijdens telmoment 2, vooral in hogere dichtheden voor op Slikken van den Dortsman en Zandkreek. Voor de verspreiding van de verschillende soorten in de Zandkreek lijken op het eerste gezicht verder niet veel verschillen te zijn per soort.



Figuur 3-29. Verspreiding van de zeven meest voorkomende benthos-etende vogelsoorten per telmoment, gemiddeld over alle teldagen. In donkere tint zijn de dichtheden groter dan het 0.75 kwantiel gegeven en in lichte tint aantallen groter dan de mediaan. De mediaan en 0.75 kwantiel zijn berekend per soort en telmoment.

Tabel 3-4 Overzicht van variabelen die verspreiding van verschillende soorten beïnvloeden. In Bijlage A is de tabel met meer soorten te zien met gebruikte referenties.

Factoren die stelttoperverspreiding beïnvloeden	Species (nl) Species (en) Species (lat)	Bergeend Shelduck <i>Tadorna tadorna</i>	Bonte strandloper Dunlin <i>Calidris alpina</i>	Kanoestrandloper Red knot <i>Calidris canutus</i>	Rose Gritto Bar-tailed godwit <i>Limosa lapponica</i>	Scholekster Eurasian oystercatcher <i>Haematopus ostralegus</i>	Steenloper Ruddy Turnstone <i>Arenaria interpres</i>	Tureluur Common redshank <i>Tringa tetanus</i>	Wulp Eurasian curlew <i>Numenius arquata</i>	Zilverplevier Grey plover <i>Pluvialis squatarola</i>
Droogvalduur/ hoogte	positief	x	x		x	x	x			x
	negatief beiden		x		x	x	x	x	x	
	Geen/onduidelijk		x	x						x
Spreading dynamiek/ droogvalduren	positief		x		x					x
	negatief beiden									
Kreeklies of kanaalries	positief	x				x	x			
	negatief beiden									
Slikgehalte/ organisch materiaal	positief				x					
	negatief beiden					x	x			
	Geen/onduidelijk									x
Vochtgehalte in sediment	positief									
	negatief beiden									
Scheipdierbanken	positief									
	negatief beiden									
	Geen/onduidelijk									x

3.2.3 Verklaringen verspreiding van vogels

De resultaten van de laagwatertellingen in het Middengebied laten zien dat de verspreiding van vogels afhangt van het moment van tellen; lagergelegen gebieden worden pas bezocht dicht bij het laagwatermoment, en dat gebruik van het gebied ook verschilt per maand en per soort (van Donk, 2022). In bovenstaande tekst worden al een aantal mogelijke verklaringen gegeven waarom bepaalde soorten in hogere dichtheden te vinden zijn op bepaalde plekken. Karakteristieken van een gebied die vogelverspreiding kunnen verklaren, zijn eerder onderzocht in allerlei studies. Zo zijn er een aantal variabelen die correleren met verspreiding van een aantal vogelsoorten en die ook gebruikt kunnen worden in een eventueel ontwerp van nieuw aan te leggen suppleties (Tabel 3-4).

Droogvalduur:

De droogvalduur beschrijft het percentage per etmaal dat een bepaalde plek gemiddeld boven water ligt. Een plek met een hoge droogvalduur ligt dus langer droog per dag dan een plek met een lage droogvalduur. Vogels die foerageren, kunnen logischerwijze alleen op plekken terecht die (bijna) droog liggen en dus zijn hoger gelegen delen langer beschikbaar voor vogels. Sommige soorten lijken de waterlijn te volgen, en foerageren dan in zowel hoge als lage delen. De kanoetstrandloper doet dit bijvoorbeeld, waarschijnlijk omdat de vogel in nat substraat de prooidieren (kleine schelpdieren) beter kan lokaliseren met de snavel (van der Kam et al., 1999). Het nattere sediment is waarschijnlijk ook een reden dat de bonte strandloper een voorkeur heeft voor het uitgaande tij, omdat nat zand makkelijker te doorprikken is en bodemdieren actiever zijn en daarmee sneller te vinden (Colwell & Landrum, 1993; Horn et al., 2019). Andere soorten volgen de waterlijn afhankelijk van de prooidieren die op dat moment veel aanwezig zijn. Zo lijken bonte strandlopers de waterlijn juist niet te volgen als ze foerageren op garnalen in het najaar, omdat deze dicht bij de waterlijn moeilijker te vangen zijn (Nehls & Tiedemann, 1993). Tureluurs die foerageren op slijkgarnalen volgen juist wel de waterlijn, omdat op droog zand de garnalen zich terugtrekken in hun holletjes (van der Kam et al., 1999). De bergeend en bontbekplevier zijn in één studie juist meer geassocieerd met hoger gelegen delen (Blomert, 2002). Voor de bergeend is voorkomen hier waarschijnlijk het gevolg van hun prooikeuze: wadslakjes zijn een belangrijke prooisoot voor bergeenden en die komen vooral voor op hoger gelegen, slibrijke gedeelten. Andere soorten lijken juist weer een voorkeur te hebben voor lagergelegen gebieden. Zo is de bonte strandloper meestal in hoogste dichtheden gezien op lagergelegen delen, alhoewel deze soort soms ook in hogere aantallen voorkomt op hooggelegen delen afhankelijk van seizoen en prooikeuze (Nehls & Tiedemann, 1993; van Kleunen, 1999). De scholekster lijkt een voorkeur te hebben voor lagergelegen delen omdat schelpdieren zoals kokkels daar vaak groter zijn en in lager gelegen natter sediment nog openstaan waardoor ze door scholekster makkelijk geopend kunnen worden (Blomert, 2002). Rosse grutto, steenloper, tureluur en groenpootruiter worden ook meer geassocieerd met lagergelegen delen, de groenpootruiter foerageert hier graag in slenkjes (Blomert, 2002; van Kleunen, 1999). Dit lijkt echter wel gebiedspecifiek. Een studie in China liet juist zien dat de rosse grutto en steenloper relatief meer in hoger intergetijdengebied foerageren (Mu & Wilcove, 2020).

Een studie in de Westerschelde bekeek of de spreiding in droogvalduren, bredere en geleidelijke flauwe hellingen, binnen laagdynamisch foerageergebied mogelijk van belang kan zijn voor vogels (Vanoverbeke & van Ryckegem, 2015). Dit betekent dat vogels een langere periode langs de waterlijn zouden kunnen foerageren. Kleinere soorten (<0.5kg) zoals bonte strandloper, drieteenstrandloper, bontbekplevier, tureluur, zilverplevier en rosse grutto kwamen relatief in hogere dichtheden voor in telgebieden met een grotere spreiding in droogvalduren, terwijl dit niet het geval was voor grotere soorten (>0.5kg) zoals scholekster, wulp en bergeend, mogelijk omdat kleine steltlopers meer tijd nodig hebben om te foerageren (Schellekens et al., 2013).

Sediment type:

Het type sediment is ook een belangrijke variabele en wordt in meerdere studies in verband gebracht met de verspreiding van vogels (Blomert, 2002; Horn et al., 2020; van Kleunen, 1999; Zwarts, 1988). Met name het percentage slib, dat sterk correleert met organisch materiaal, wordt vaak genoemd als belangrijke variabele voor een aantal vogelsoorten. Een studie in de Westerschelde liet zien dan op slibrijk substraat (>25% slib) meer vogels foerageren dan op zandig substraat (van Kleunen, 1999). Er zijn echter verschillen tussen soorten. Een typische 'slik' vogel is de kluut, die relatief grote zwemvliezen heeft zodat de soort makkelijker op heel fijn sediment kan lopen zonder weg te zakken en met de snavel heen en weer door het slik beweegt op zoek naar prooien (Tjallingii, 1970; van der Kam et al., 1999). Bergeenden hebben ook een foerageertechniek waardoor ze meer op slibrijke delen voorkomen; de soort filtert o.a. wadslakjes en andere prooi-soorten uit de bodem, en dit gaat makkelijker in slib met een hoog watergehalte (Blomert, 2002). Ook aantallen van bonte strandlopers lijken hoger in slibrijke gebieden, maar dit kan verschillen per seizoen en prooi-soort (Blomert, 2002; Nehls & Tiedemann, 1993; van Kleunen, 1999). Ook scholekster, zilverplevier, bontbekplevier en rosse grutto komen in relatief hogere aantallen voor in gebieden met meer slik/organisch materiaal (van der Zee et al., 2012; van Kleunen, 1999; Zwarts, 1988). Ondanks dat de meeste soorten dus de voorkeur geven aan gebieden met een relatief hoger slibgehalte, lijkt een té hoog slibgehalte niet ideaal voor bepaalde soorten. Zo mijden scholeksters die op schelpdieren foerageren al te zachte gebieden, net als de kanoetstrandloper. De drieteenstrandloper is juist vaker te vinden op zandigere stukken (Blomert, 2002; Zwarts et al., 1992). De steenloper gaf in Californië de voorkeur aan gebieden met keien, ten opzichte van zandig habitat (Colwell & Landrum, 1993).

Schelpdierbanken:

De aanwezigheid van schelpdierbanken kan verspreiding van vogels ook beïnvloeden. Een studie naar het gebruik van schelpdierbanken in de Waddenzee liet zien dat voor een heel aantal vogelsoorten de dichtheid vogels op schelpdierbanken (met name mosselbanken met oesters en gemengde banken) groter was dan daarbuiten (Waser et al., 2016). Echter zijn er in deze studie geen tellingen uitgevoerd op het slik, maar de aantallen berekend uit de aanwezige vogels op hoogwatervluchtplaatsen en de oppervlakte van het intergetijdengebied. Er is dus geen onderscheid gemaakt tussen verschillende karakteristieken binnen het intergetijdengebied. De dichtheid van groenpootruiter, kanoetstrandloper, scholekster, steenloper, tureluur en wulp was heel wat hoger op schelpdierbanken vergeleken met erbuiten. Voor een aantal van deze soorten gold dat de samenstelling van de banken een rol speelde. Bij een grotere fractie oesters ten opzichte van mossels waren de dichtheden van bonte strandlopers en kanoetstrandloper wel lager (Waser et al., 2016). Scholeksters op schelpdierbanken in de Oosterschelde, die overheersend bestaan uit oesters, waren ook veel lager dan aantallen in de Waddenzee (van Donk et al., 2023). Drieteenstrandlopers en bontbekplevieren lijken schelpdierbanken juist te vermijden in de Waddenzee (Waser et al., 2016). In een andere studie, bleek de dichtheid van scholeksters, wulpen en rosse grutto's (maar niet van kokmeeuwen) toe te nemen dichterbij schelpdierbanken in de Waddenzee (van der Zee et al., 2012). Verspreiding van vogels werd ook verklaard door het sedimenttype en de bodemdieraantallen. De schelpdierbanken lijken een sterk effect op de omgeving te hebben, met een hoger percentage organisch materiaal en slib tot soms meer dan honderd meter van de schelpdierbanken wat ook weer het bodemdierleven beïnvloedde.

Overig:

Naast droogvalduur, slibgehalte (in combinatie met nat sediment) en schelpdierbanken zijn er nog allerlei andere variabelen die verspreiding van vogels kunnen beïnvloeden. Dit zijn bijvoorbeeld verstoring, klimaatverandering, schelpdierkweek, afstand tot de hoogwatervluchtplaats en andere habitat-kenmerken zoals zeegras (Bakker et al., 2021; Gittings & O'Donoghue, 2012; Hielkema, 2022; Horn et al., 2019; Krijgsveld et al., 2022; van der Kolk et al., 2022). Deze variabelen worden hier niet apart besproken, omdat we ons focussen op de variabelen die een rol (kunnen) spelen bij ontwerp van een zandsuppletie.

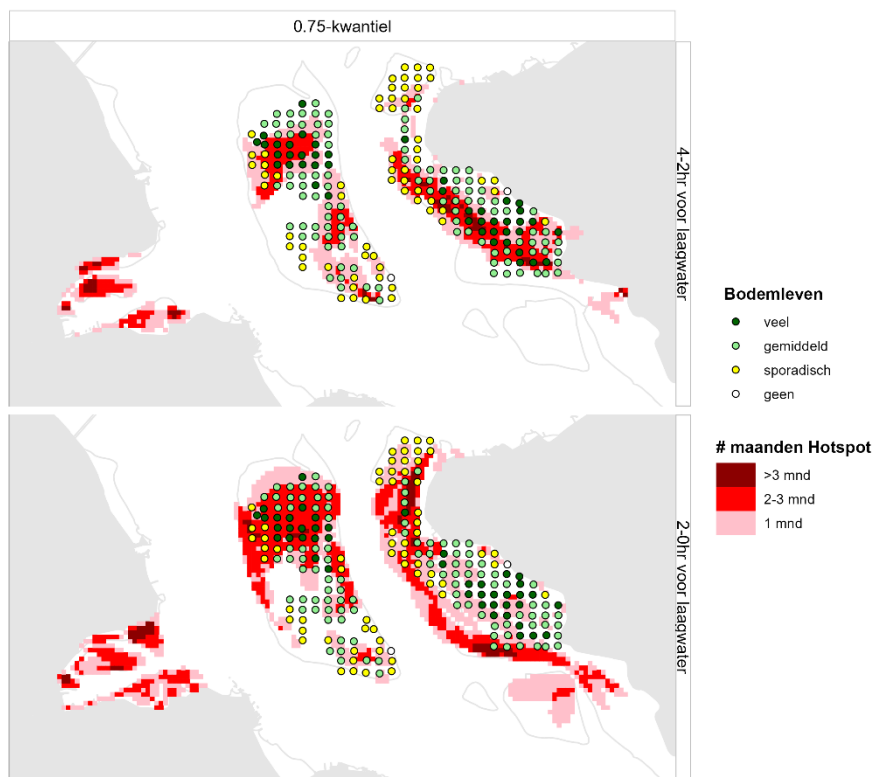
In conclusie spelen droogvalduur en slibgehalte een rol in de verspreiding van steltlopers en bergeenden, soms doordat sediment nat is, maar de richting van het effect (hoge of lage droogvalduur, veel of weinig slib) is verschillend per soort en kan ook afhankelijk zijn van seizoen en/of prooidieren. Mogelijk speelt voor kleinere vogels ook flauw aflopend talud. Schelpdierbanken kunnen specifieke vogels trekken ook doordat ze de omgeving beïnvloeden door hoger slib en organisch materiaal, maar het speelt een rol welke schelpdieren op de banken leven.

Zoals al in enkele studies naar voren komt, zijn er verschillen in de relatie tussen (a-)biotiek en verspreiding afhankelijk van soort, seizoen en plek. Elk gebied heeft weer zijn eigen karakteristieken, waar vogels zich (deels) op aanpassen. Zo bepaalt voedselaanbod ook deels wat vogels op een bepaalde plek eten (mits het in hun bereik ligt). Bovendien blijkt ook uit een aantal hierboven beschreven studies dat abiotische variabelen vaak met elkaar correleren. Zo is een slibrijke gebied ook vaak hoger in organisch materiaal en is korrelgrootte vaak gecorreleerd aan de stroming van het water, en bepalen al deze variabelen het voorkomen van prooidieren (Escaravage et al. 2003; Troost & Ysebaert, 2011; Borsje et al., 2012). Er zijn geen verder analyses of metingen uitgevoerd tijdens de laagwatertellingen in het Middengebied van de Oosterschelde om deze hypothesen te bekrachtigen. Zo is er geen uitgebreide monitoring geweest van de bodemdieren in het gebied. Wel is er een semi-kwantitatieve bodemdierbepaling uitgevoerd (zie ook 3.3.2) waarmee eventueel nog een statistische analyse mee gedaan zou kunnen worden om vogelverspreiding in het Middengebied beter te leren begrijpen. Een eerste visuele exploratie van deze data met vogelverspreiding is te zien in de volgende paragraaf (3.2.4). Daarnaast is bekend waar oesterbanken liggen in het Middengebied en kunnen bepaalde abiotische variabelen bepaald worden. Een verdere analyse van bestaande data kan dus inzicht bieden in het begrijpen van voorkomen van vogels in het Middengebied van de Oosterschelde.

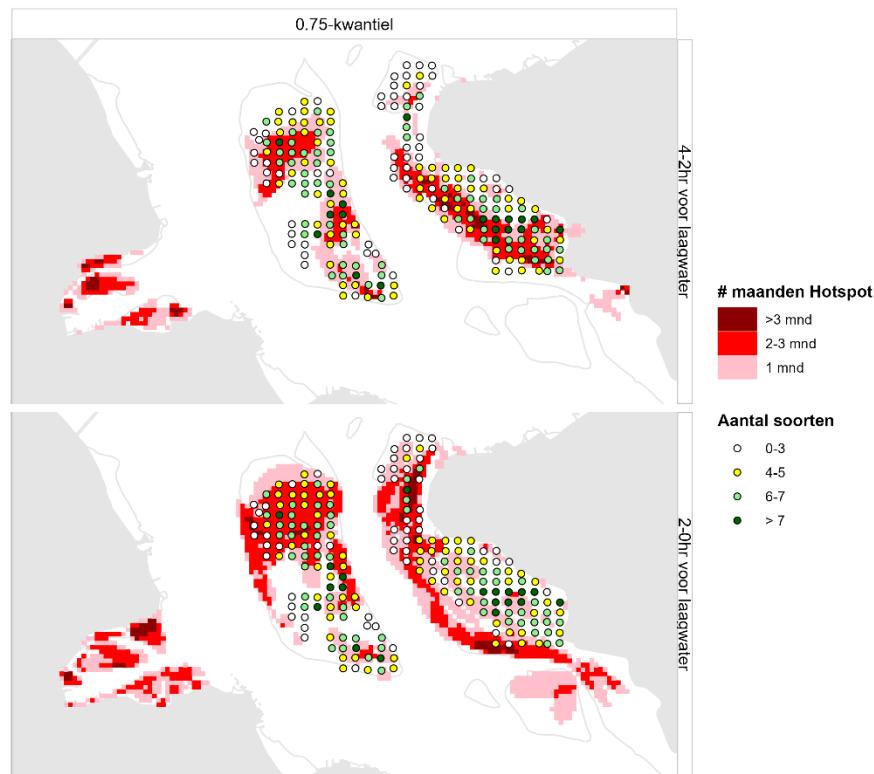
3.2.4 Relatie benthos en vogels Middengebied

Een visuele exploratie van de hoogste dichtheden van benthos-etende vogels (steltlopers en bergeenden) en de (semi) kwalitatieve bodemdieranalyse laat zien dat er op plekken met sporadisch aanwezig bodemleven meestal (maar niet altijd) ook geen hoge dichtheden (> 0.75 kwantiel) aan vogels geteld zijn (Figuur 3-32). Dit is vooral te zien op de noordwest punt van de Slikken van den Dortsman en het zuidwestelijke deel van de Galgeplaat. Toch zitten er op sommige plekken met sporadisch aangetroffen bodemleven toch tijdens 1 of meer maanden hoge dichtheden aan vogels, zoals aan de rand van Dortsman in het Middengebied of op het noordwestelijke deel van de Galgeplaat. In het kaartje met de vogeldichtheden en het aantal aangetroffen bodemdiersoorten valt weer het noordwesten van de Slikken van den Dortsman op waar geen tot weinig soorten zijn aangetroffen en waar (meestal) ook geen hoge dichtheden vogels zitten (Figuur 3-31). Verder lijkt er niet een duidelijke relatie tussen aantal aangetroffen soorten en hoge dichtheden vogels.

In beide figuren (Figuur 3-32 en Figuur 3-31) zijn alleen de dichtheden aan vogels getoond van 4-2 uur en 2-0 uur voor laagwater, omdat tijdens de eerste telperiode (6-4 uur voor laagwater) de vogels nog niet kunnen foerageren op alle plekken die bemonsterd zijn. In de telperiode 2-0 uur voor laagwater is ook te zien dat de vogels zich verder verspreiden dan de plekken die bemonsterd zijn. Ruimtelijke kaarten voor specifieke bodemdiersoorten die tijdens de kwantitatieve bemonstering in kaart zijn gebracht zijn te vinden in paragraaf 3.3.2.



Figuur 3-30. Verspreiding aantallen benthos-etende steltlopers groter dan het 0.75 kwantiel per maand met een kwalitatieve score van het bodemleven (veel, gemiddeld, sporadisch of geen bodemleven). De mediaan geeft het midden van een getallenreeks wanneer de data van laag naar hoog wordt geordend en het 0.75 kwantiel is de waarde die op 75% van de datareeks is te vinden. Wanneer data groter dan het 0.75 kwantiel wordt gepresenteerd, laten we dus de punten met de 25% hoogste dichtheden zien. Aangegeven zijn de plekken waar grotere dichtheden vogels dan het 0.75 kwantiel zaten gedurende meer dan 3 maanden, in 2-3 maanden, of maar één maand (Figuur 3-27 iets aangepast). Januari is uit dit figuur weggelaten, omdat bij deze telling de gegevens van de Slikken van den Dortsman missen.



Figuur 3-31. Verspreiding aantallen benthos-etende steltlopers groter dan het 0.75 kwantiel per maand met een score van het aantal gevonden soorten. De mediaan geeft het midden van een getallenreeks wanneer de data van laag naar hoog wordt geordend en het 0.75 kwantiel is de waarde die op 75% van de datareeks is te vinden. Wanneer data groter dan het 0.75 kwantiel wordt gepresenteerd, laten we dus de punten met de 25% hoogste dichtheden zien. Aangegeven zijn de plekken waar grotere dichtheden vogels dan het 0.75 kwantiel zaten gedurende meer dan 3 maanden, in 2-3 maanden, of maar één maand (Figuur 3-27 iets aangepast). Januari is uit dit figuur weggelaten, omdat bij deze telling de gegevens van de Slikken van den Dortsman missen.

3.2.5 Interviews vogelonderzoekers

Naar aanleiding van het korte literatuuronderzoek (paragraaf 3.2.3), rees de vraag of er misschien nog blinde vlekken waren wat betreft factoren die van belang zijn voor verschillende soorten steltlopers die niet in de literatuur naar boven komen, maar in het veld wel degelijk van belang zijn. Voor deze reden is een korte enquête opgesteld (Bijlage B) en voorgelegd aan een aantal vogelonderzoekers binnen Nederland.

De conversaties met vogelonderzoekers bevestigden grotendeels de al geselecteerde factoren die meegenomen kunnen worden in het ontwerp van de zandsuppleties. De afstand tot de hoogwatervluchtplaats speelt een rol in de selectie van foerageergebieden, soms in combinatie met verstoringen, maar of dit echt een grote rol speelt in het Middengebied van de Oosterschelde is de vraag, gezien de afstanden tussen hoogwatervluchtplaatsen en foerageergebieden allemaal vrij klein zijn. Wanneer er toch een hoogwatervluchtplaats aangelegd zou worden, moet deze niet te hoog aangelegd worden, omdat de kans dat er begroeiing ontstaat en er broedvogels zoals meeuwen en/of sterns komen dan groot is. Daarnaast kunnen ook grotere groepen meeuwen of aalscholvers hoger gelegen delen gebruiken, wat mogelijk een effect heeft op de dynamiek in soortsaanstelling.

Benoemd werd dat voor bepaalde soorten zoals de drieteenstrandloper een gradiënt van droogvalduur van belang is omdat deze soort de waterlijn volgt tijdens het foerageren, net als de rosse grutto. Kanoetstrandlopers maken in de Waddenzee gebruik van zogenaamde 'tijverlenging': hierbij beginnen de kanoeten op plekken die als eerste droogvallen en kunnen ze langer door foerageren door te vliegen naar plekken die later droogvallen. Dit betekent dus dat variatie in droogvalduur binnen een gebied belangrijk is. Mogelijk is dit belangrijker dan creëren van een bepaalde hoogte of droogvalduur. Een langere waterlijn kan eventueel gecreëerd worden door een meer 'meanderende' vorm van suppleties. Of het aanleggen van een 'inkeping'. Scholeksters hebben een voorkeur voor de lageregelegen delen van het intergetijdengebied, vanwege de grotere schelpdieren die daar te vinden zijn.

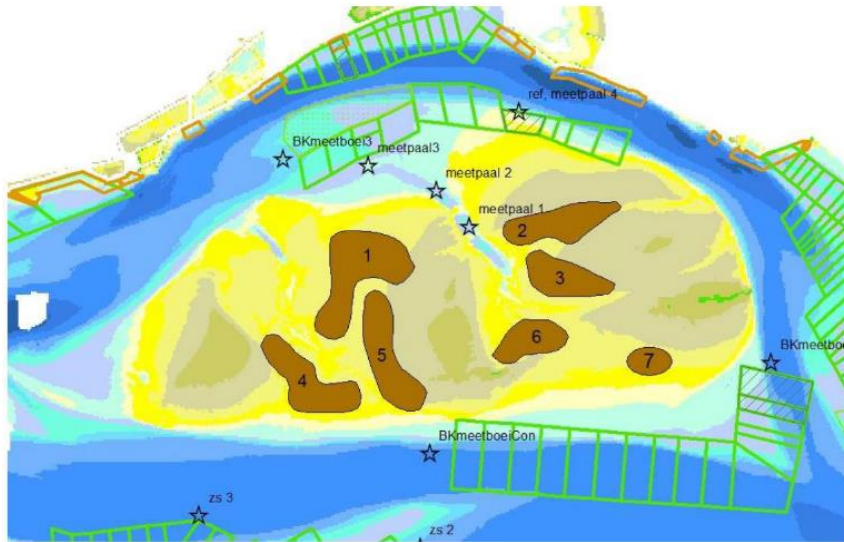
Reliëf met wat kleine poeltjes is ook aantrekkelijk voor veel vogels (Zwarts, 2009). Door het blijven staan van water kunnen soorten zoals de scholekster en de kanoet beter hun prooi-soorten detecteren en deze plekken blijven vaak langer vochtig. Soorten hebben verschillende voorkeurswaarden van de dichtheid van zand. Over het algemeen is meer variatie in het landschap goed, omdat het op die manier allerlei verschillende soorten dient. Andere variatie in het landschap zoals schelpdierbanken, kunnen soms slibrijke gebieden eromheen creëren die voedselrijk zijn. Echter lijken dichtheden vogels (o.a. scholeksters, zie ook van Donk et al., 2023) óp oesterbanken in de Oosterschelde laag.

Een wat hoger slibgehalte is van groot belang voor veel soorten steltlopers, die graag in slibrijk sediment foerageren. In meer slibrijke delen van het intergetijdengebied zijn weer specifieke prooi-soorten te vinden, zoals *Macoma balthica* die gegeten wordt door kanoeten. In dit soort gebieden blijft de grond ook wat 'wateriger' wat voordelig is voor sommige soorten om hun prooi-soorten te vinden. Echter komen kanoeten weer niet voor op de erg slibrijke Friese kust (Waddenzee) en ook scholeksters lijken een té slibrijke omgeving te vermijden. De drieteenstrandloper heeft weer een uitgesproken voorkeur voor een zandige omgeving. Soorten die jaren op zicht zoals zilverplevier en bontbekplevier foerageren ook wel op drooggevallen zandige slikken. Op deze plekken komen de meeste soorten enkel als deze plekken net zijn drooggevallen.

Sommige vogelsoorten zullen misschien beter opgewassen zijn tegen een hoogdynamische of verstoorde omgeving dan andere soorten in verband met hun prooi-soorten. Wormensoorten die op hoogdynamische plekken voorkomen zoals *Nereis* en *Nephtys* kunnen gegeten worden door de rosse grutto en bonte strandloper. Deze soorten zouden daarom mogelijk relatief vaker op verstoort of herstellend gebied voor kunnen komen. Kanoeten eten schelpdieren (net als scholeksters), maar zij eten wat betreft kokkels alleen éénjarige kokkels die, na een goede broedval, eerder beschikbaar zijn dan de meerjarige kokkels die door scholeksters geprefereerd worden.

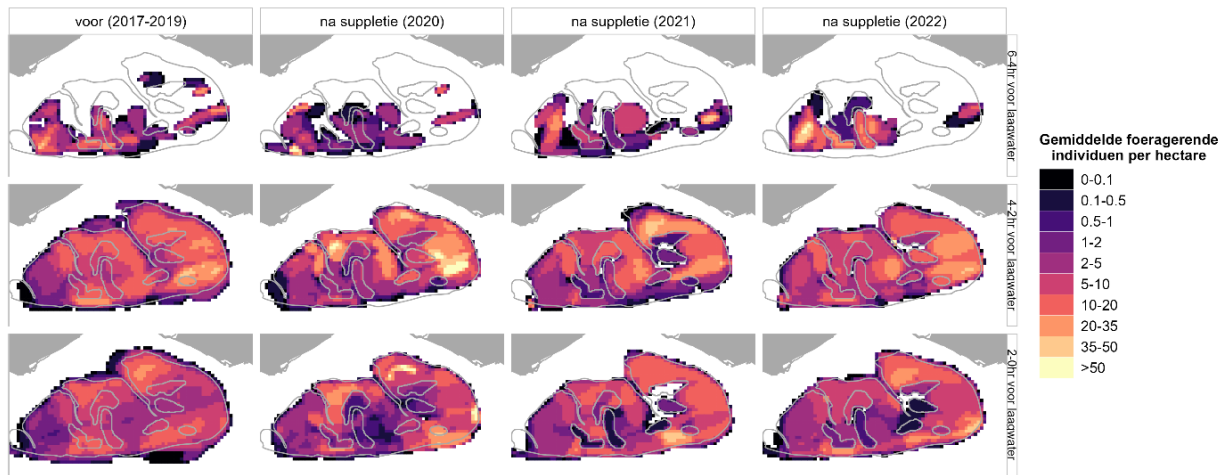
3.2.6 Wat kunnen we leren van de Roggenplaat suppleties en gedrag vogels

Eind 2019 zijn zandsuppleties uitgevoerd op de Roggenplaat. De effecten van deze suppleties op de ecologie zijn gemonitord en bieden een bron aan informatie die gebruikt kan worden voor toekomstige suppleties. In dit deel wordt het effect op foeragerende vogels besproken.

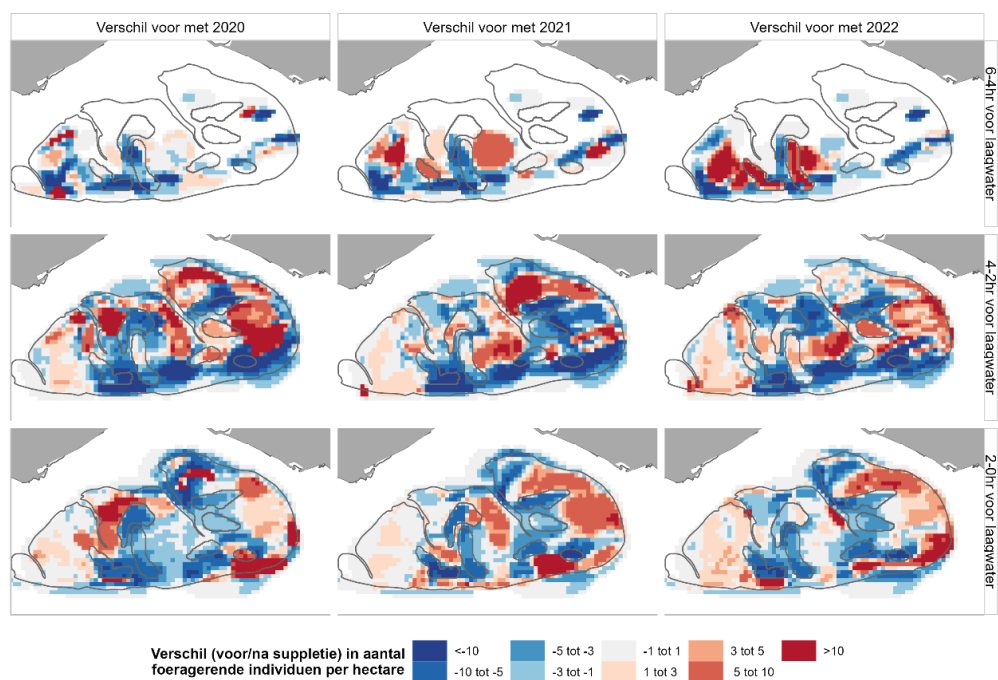


Figuur 3-32. Overzicht van de verschillende suppletie elementen met hun benaming.

Op de Roggenplaat zien we dat een bedekking van 16% van het plaatareaal met een droogvalduur van 20-80% met zandsuppleties (Figuur 3-32) leidt tot een tijdelijke achteruitgang van het foerageerareaal voor vogels. Foeragerende steltlopers, bergeenden en meeuwen bezoeken de gesuppleerde delen minder dan voorheen, op een paar uitzonderingen na (zie Figuur 3-36: kokmeeuw op suppletie 6, rosse grutto op suppletie 3). We zien een verschuiving naar de niet gesuppleerde delen waar dichtheden juist zijn toegenomen na aanleg van de suppleties (Figuur 3-33). Drie jaar na de suppletie (2022) lijkt hier enigszins verandering in te komen. Na een zandsuppletie ligt een gesuppleerde locatie hoger dan voorheen. Hierdoor heeft de plek ook een andere droogvalduur, waardoor vogels deze plek mogelijk op een ander moment bezoeken dan voorheen. Dit is te zien in 2022 op suppleties 4 en 5. Op deze suppleties, in het zuidwesten van de plaat, foerageerden 6-4 uur voor laagwater (telperiode 1) meer vogels in 2022 dan voorheen. De verschilkaart van foeragerende individuen, voor en 3 jaar na aanleg van de suppleties, toont tevens aan dat niet alleen het aantal foeragerende individuen is toegenomen op suppletie 4 en 5. Ook in het gebied dat ten westen aan suppletie 4 grenst en het gebied dat ten oosten aan suppletie 5 grenst zijn foeragerende individuen toegenomen 6-4 uur voor laagwater (Figuur 3-34). Kijkend naar de verschilkaart 4-2 uur voor laagwater (telperiode 2), zien we ook een toename in foeragerende individuen op: suppletie 3 en 5; het noordelijke deel van suppletie 4; het westelijke deel van zandsuppletie 1; en het oostelijke deel van suppletie 6. Suppletie 2 en 7 worden nog steeds weinig bezocht gedurende deze telperiode. Opvallend is het ruimtelijk patroon in foeragerende individuen 2-0 uur voor laagwater (telperiode 3). Voor alle suppleties geldt dat 3 jaar na aanleg aantallen foeragerende individuen nog altijd lager zijn dan voorheen (Figuur 3-34).

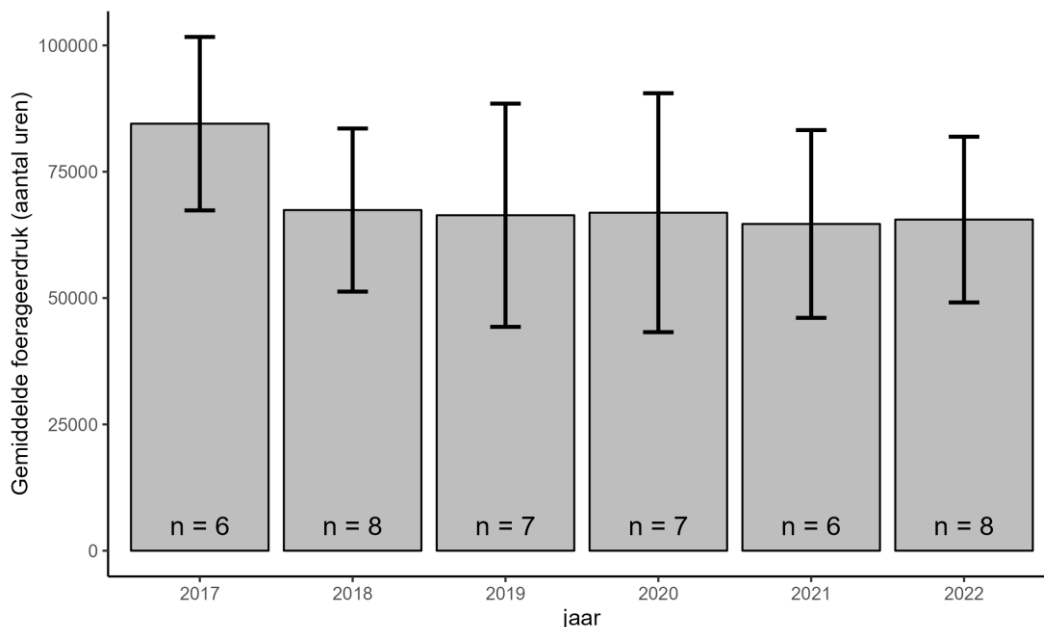


Figuur 3-33. Verspreiding van de benthos-etende vogels, voor (2017-2019) en na de zandsuppleties per jaar. In lichtgrijs zijn binnen de Roggenplaat de suppletie-posities aangegeven.



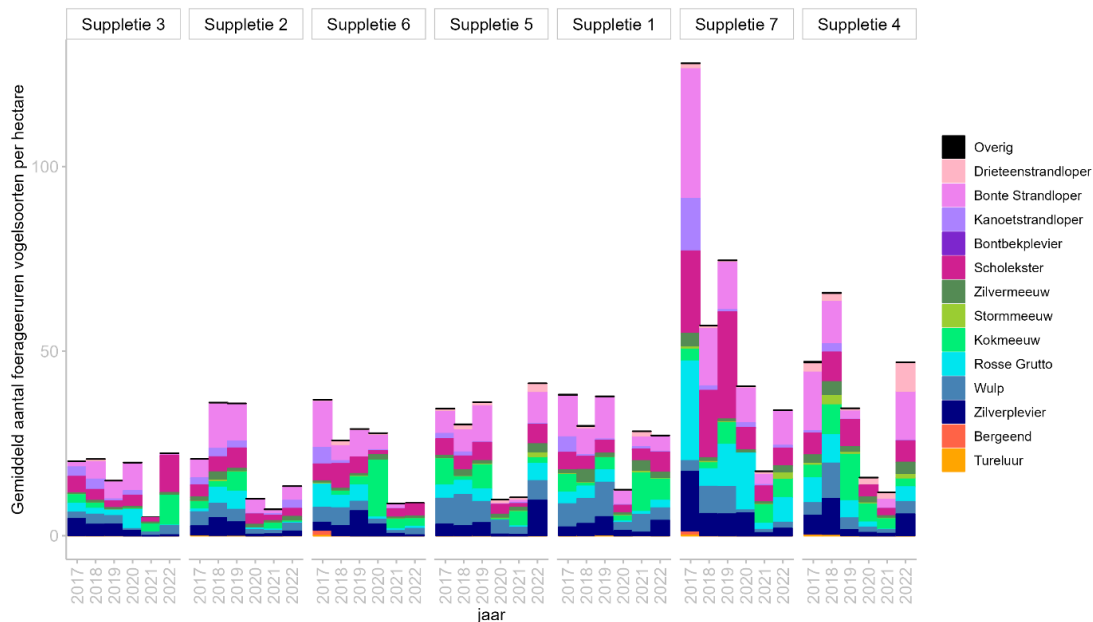
Figuur 3-34. Verschilkaart van de verspreiding van de benthos-etende vogels, voor (2017-2019) en na de zandsuppleties per jaar. In lichtgrijs zijn binnen de Roggenplaat de suppletie-posities aangegeven. De blauwe kleur geeft aan wanneer er gemiddeld minder vogels op een bepaalde plek zitten vergeleken met voor de suppleties. Oranje/rode rasters geven aan dat er op die plek gemiddeld meer vogels zitten dan voor de suppleties.

Ondanks de ruimtelijke verschuivingen na aanleg van de suppleties, lijkt het aantal vogels dat de plaat bezoekt, gemeten als foerageerdruk, niet te zijn veranderd, alhoewel aantallen sterk fluctueren (Figuur 3-35). De foerageerdruk 6-0 uur voor laagwater is berekend door de aantallen vogels om te zetten in foerageeruren. De drie telmomenten zijn hiervoor bij elkaar opgeteld. Elke individuele vogel die geteld is, staat dan voor 2 uur foerageren. Figuur 3-35 toont dat de foerageerdruk min of meer stabiel is gebleven na aanleg van de suppleties in 2019. Foerageerdruk was gemiddeld hoger in 2017, maar dit is ruim voor de uitgevoerde suppleties.



Figuur 3-35 Gemiddeld aantal foerageeruren 6-0 uur voor laagwater van selectie van steltlopers, bergeenden en meeuwen plus standaarddeviatie. In de barplot staat het aantal uitgevoerde tellingen genoteerd per jaar. In 2021 is één telling weggelaten omdat in dit jaar als enige een telling in juni is uitgevoerd en er dan veel minder vogels zitten dan in andere maanden.

Zoals hierboven reeds besproken, zorgt een zandsuppletie lokaal voor een toename in droogvalduur waardoor vogels deze plek op een ander moment kunnen bezoeken dan voorheen. Dit is te zien in Figuur 3-33 en Figuur 3-34, waarbij suppleties 4 en 5 meer gebruikt worden vroeg in het getij. Per soort en jaar zijn de gemiddelde foerageeruren per hectare op de verschillende suppleties berekend. In Figuur 3-36 is te zien dat het aantal foerageeruren weer enigszins op de gemiddelde foerageerdruk van voor de suppletie zitten voor suppletie 3, 4 en 5. Suppletie 1 en 7 laten herstel in foerageerdruk zien terwijl suppletie 2 en 6 duidelijk achterblijven. Wat betreft soortsaamenstelling lijken er voor de meeste suppleties geen heel duidelijke verschuivingen te zijn, behalve voor suppletie 3 en 5. Op suppletie 3 zaten er in 2022 relatief veel kokmeeuwen en scholeksters en op suppletie 5 relatief veel zilverplevieren.



Figuur 3-36 Gemiddeld aantal foerageeruren op suppleties. De suppleties zijn geordend van relatief dunne naar relatief dikkere suppleties.

Waarom sommige suppleties 3 jaar na aanleg wel gebruikt worden door vogels en andere suppleties niet, is (nog) niet bekend. Specifieke eigenschappen per suppletie zoals ligging (geëxponeerd of beschermt), sediment-type en benthos-soortensamenstelling kunnen hier een rol spelen. Zoals genoemd in paragraaf 3.2.3, speelt het vochtgehalte in het zand een rol in de verspreiding van sommige vogelsoorten. Ook volgen sommige soorten de waterlijn als foerageertechniek. De hogere ligging van de locaties met suppleties vergeleken met de situatie voor de suppleties en de mogelijk veranderde zandsamenstelling kunnen samen een rol spelen in de lagere dichtheden van vogels (op bepaalde momenten in het getij). Op andere plekken náást de locaties met suppleties waren vogeldichtheden na de suppletie juist hoger. Dichtheden zouden hoger kunnen zijn omdat vogels geen andere keuze hadden: de foerageermogelijkheden op de suppleties zelf waren immers (nog) niet teruggekeerd naar 'normaal'. Echter, zouden de condities op bepaalde plekken onbedoeld ook beter geworden kunnen zijn. Zo zou door de aanleg van suppleties in het midden van de Roggenplaat mogelijk nattere delen hebben kunnen ontstaan wat aantrekkelijke foerageercondities creëert voor een aantal soorten.

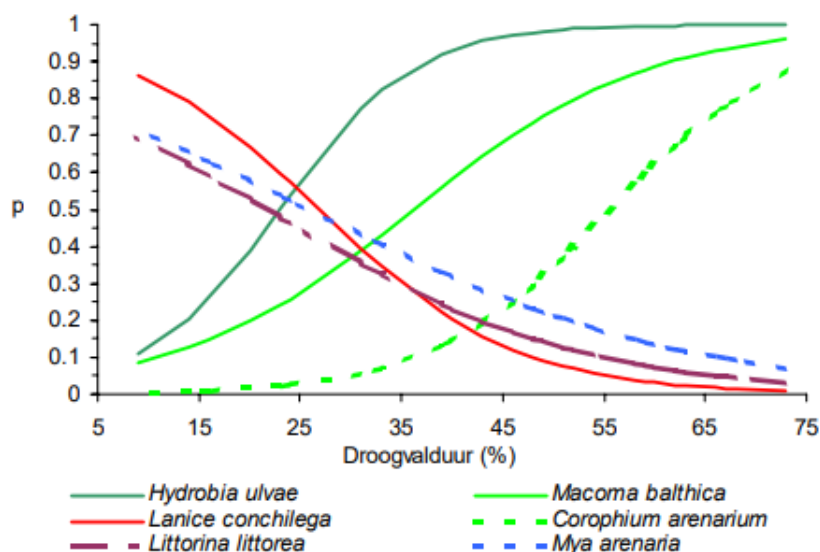
Het aanbrengen van zandsuppleties met als doel het verbeteren of behouden van foerageerareaal voor vogels is nog vrij nieuw. De opgedane kennis tijdens de Roggenplaat-suppleties is daarom van cruciaal belang. Echter, het is duidelijk dat de situatie op de Roggenplaat nog steeds in ontwikkeling is. Het uiteindelijke effect van de suppleties is hiermee nog niet bekend. Daarnaast is elk systeem en elke plek anders. Zo verschillen de condities zoals stroming, aanvoer van voedingsstoffen en golfslag in het Middengebied met de monding van de Oosterschelde. Aanleg van zandsuppleties in het Middengebied zal daarom mogelijk een ander verloop hebben dan op de Roggenplaat, en daarom blijft monitoring en analyseren en begrijpen van de verzamelde gegevens van belang.

3.3 Macrofauna

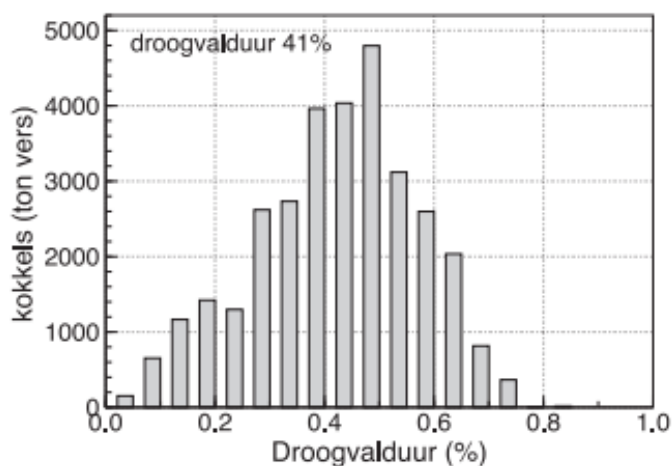
3.3.1 Macrofauna en omgevingsfactoren in de intergetijdgebieden

3.3.1.1 Droogvalduur

De distributie van macrofauna in de intergetijdgebieden van de Oosterschelde (MWTL 1994-2002 in deelgebieden Monding/Zijpe/Kom) wordt sterk beïnvloed door droogvalduur (Escaravage et al., 2003). Soorten verschillen in hun voorkomen; sommige soorten komen in hogere aantallen voor in een korte droogvalduur en anderen juist in gebieden met een lange droogvalduur. Een korte droogvalduur blijkt gunstig te zijn voor de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*), de strandgaper (*Mya arenaria*) en de alikruik (*Littorina littorea*), terwijl het nonnetje (*Macoma balthica*) de slijkgarnaal (*Corophium arenarium*) en het wadslakje (*Hydrobia ulvae*, nu *Peringia ulvae* genoemd) een duidelijke voorkeur hebben voor een lange droogvalduur. Sommige soorten zoals de kokkels hebben een voorkeur voor intermediaire droogvalduren. De hoogste biomassa kokkels wordt gevonden bij een droogvalduurklasse van 41% (Figuur 3-38; Rappoldt et al., 2006).

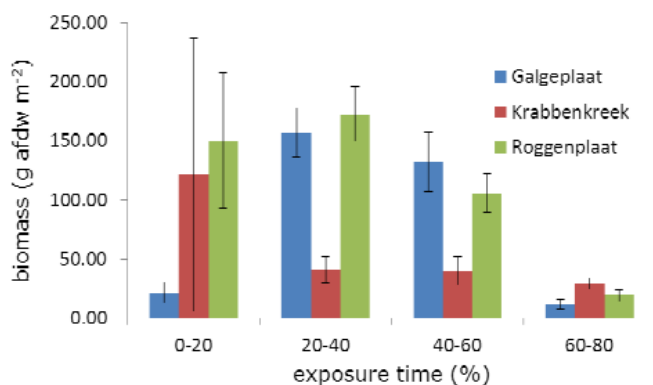


Figuur 3-37. Trefkans voor bodemdieren soorten als functie van droogvalduur (%) berekend door middel van logistische regressie (in Escaravage et al., 2003). Opgemerkt wordt dat ten tijde van het opstellen van dit figuur bepaalde soorten anders genoemd werden dan tegenwoordig het geval is: *Hydrobia ulvae* heet nu *Peringia ulvae*.



Figuur 3-38. Verdeling van kokkelbiomassa (na de zomergroei) over droogvalduurklassen op basis van de schelpdieren survey (1990-2001) in de Oosterschelde (Rappoldt, 2006).

Het effect van droogvalduur op de verspreiding van bodemdieren werd ook gevonden door Troost & Ysebaert (2011). Zij vonden hiernaast dat de relatie tussen voorkomen van bodemdieren en droogvalduur verschilde tussen deelgebieden in de Oosterschelde ook (Figuur 3-39). Op zowel de Roggenplaat als de Galgeplaat komt de hoogste biomassa voor in de 20-40% droogvalduurklasse (bestaande uit kokkels (54%), wadslakjes (14%), wadpieren (9%) en zandgapers (5%)) en in iets mindere mate in de 40-60% droogvalduurklasse. Daarboven (>60%) is de bodemdierbiomassa duidelijk lager. In de lageregelegen gebieden (0-20% droogvalduur) komen nog steeds hoge biomassa's voor op de Roggenplaat maar niet op de Galgeplaat.

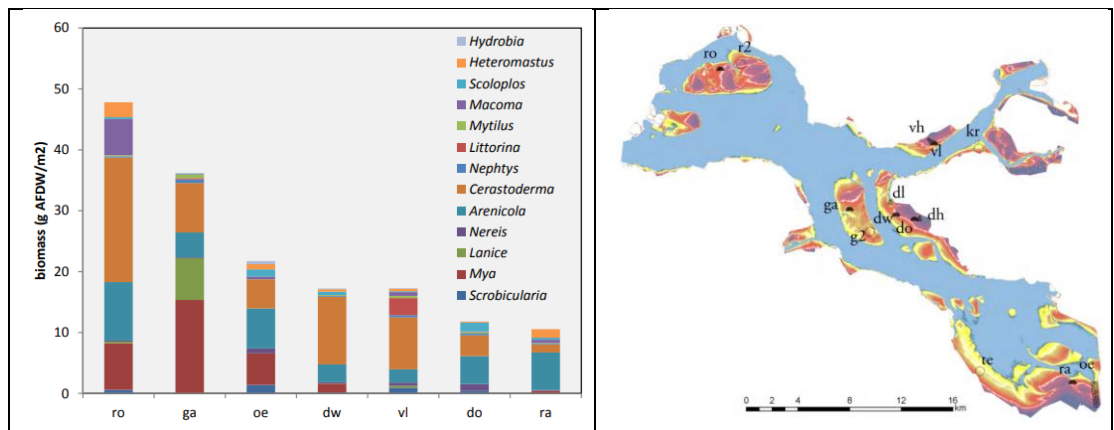


Figuur 3-39. Totale bodemdieren biomassa (gem ± SE) op de Galgeplaat, Krabbenkreek en Roggenplaat bij verschillende klassen van droogvalduur op basis van de INTERECOS (1989) dataset in Troost & Ysebaert (2011).

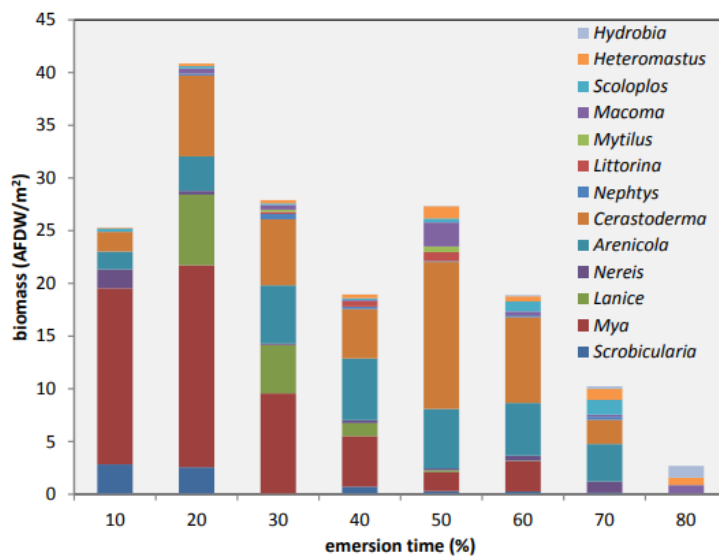
Net als in de resultaten van Escaravage et al. (2003) vinden Troost & Ysebaert (2011) verschillen tussen taxonomische groepen en gebieden:

- Biomassa van wadslakjes neemt toe met de droogvalduur bij de Krabbenkreek, maar op de Galgeplaat en Roggenplaat is biomassa het hoogst tussen 20 en 60% droogvalduur.
- Biomassa van kokkels en nonnetjes is in het algemeen hoog tussen 20 en 60% droogvalduur, maar op de Roggenplaat ook tussen 0 en 20% droogvalduur.
- Dichtheden aan vlokreeftjes, met uitzondering van de garnalen in afwateringgeultjes, nemen toe met de droogvalduur.

Biomassa bodemdieren in de Oosterschelde lijkt af te nemen met afstand tot de monding (Zwarts et al., 2011). Dit blijkt uit een studie op basis van semi-kwantitatieve bodemdierenmonitoring (2009-2011). Biomassa is het hoogste op de Roggenplaat (monding) en is lager op de Galgeplaat (middengebied) en nog lager op de slikken in de kom (Rattekaai) (Figuur 3-40). Deze afname in biomassa ligt mogelijk aan een hogere droogvalduur in gebieden verder van de monding en een verschil in soortensamenstelling tussen de gebieden. Zo komen strandgapers (*Mya*) vooral voor bij korte droogvalduur, kokkels (*Cerastoderma*) en wadpieren (*Arenicola*) bij gemiddelde droogvalduur en nonnetjes (*Macoma*), rode draadwormen (*Heteromastus filliformis*) en de wadslakjes (*Hydrobia*, nu *Peringia* genoemd) in gebieden met een lange droogvalduur.



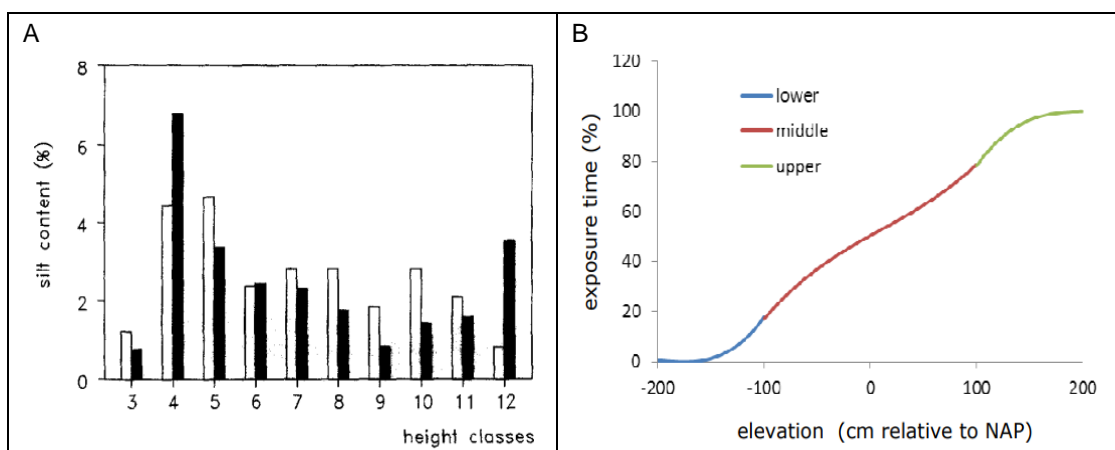
Figuur 3-40. Biomassa (gAFDW/m²) van 13 dominante soorten in zeven gebieden gesorteerd van rijk (Roggenplaat) naar arm (Rattekaai) uit Zwarts et al. (2011). Let op bij het maken van dit figuur werden bepaalde soorten anders genoemd dan tegenwoordig: *Hydrobia* heet nu *Peringia*.



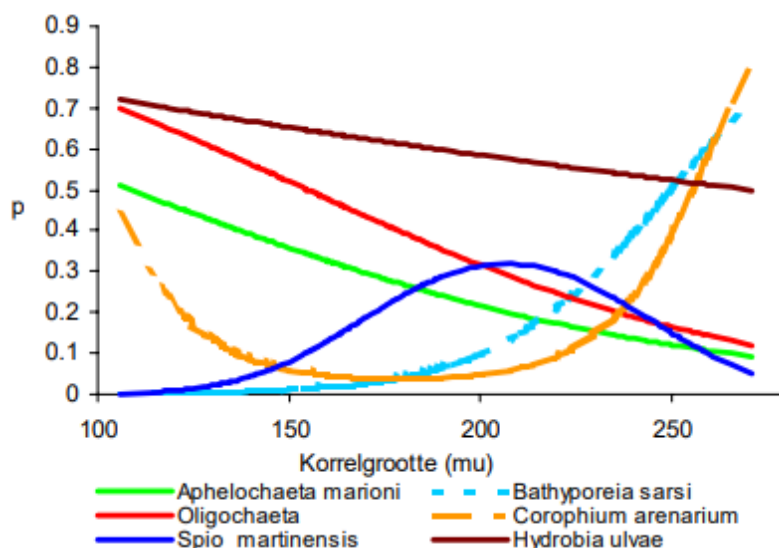
Figuur 3-41. Biomassa (gAFDW/m²) van 13 dominante soorten als functie van droogvalduur uit Zwarts et al. (2011). Let op bij het maken van dit figuur werden bepaalde soorten anders genoemd dan tegenwoordig: *Hydrobia* heet nu *Peringia*.

3.3.1.2 Sedimentsamenstelling

Slibgehalte lijkt op de Oosterscheldeplaten toe te nemen met droogvalduur/elevatie (Coosen et al., 1994, Figuur 3-42). Door deze correlatie is het effect van sedimentsamenstelling op de bodemdiergemeenschap moeilijk te onderscheiden van het effect van droogvalduur. Dit gezegd hebbende, tonen Escaravage et al. (2003) een significant verband tussen de distributie van sommige soorten met de korrelgrootte. Vlokkreeftjes *Bathyporeia sarsi* en *Corophium arenarium* nemen toe met een grotere korrelgrootte, Oligochaeta, de borstelworm *Aphelochaeta marioni* en het wadslakje *Hydrobia ulvae* nemen af met een grotere korrelgrootte (Figuur 3-43). De borstelworm *Spio martinensis* heeft een hogere trefkans op fijn zand met een mediane korrelgrootte rond 200 μ m.

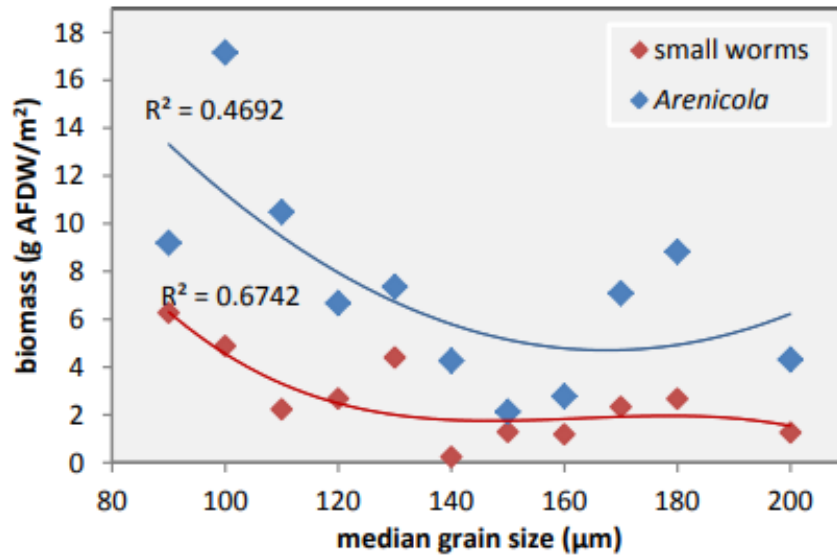


Figuur 3-42. A: Slibgehalte van het sediment (v/v %) als functie van de hoogteklassen op Oosterschelde platen gemeten in 1985 (witte staven) en 1989 (zwarte staven). Hoogteklassen in cm t.o.v. NAP: 3 [-150 : -125], 4 [-125 : -100], 5 [-100 : -75], 6 [-75 : -50], 7 [-50 : -25], 8 [-25 : 0], 9 [0 : 25], 10 [25 : 50], 11 [50 : 75], 12 [75 : 100]. Uit Coosen et al. (1994). B: Droogvalduur als functie van de elevatie ter interpretatie van de hoogteklassen in grafiek A uit Troost & Ysebaert (2011).



Figuur 3-43- Trefkans voor bodemdieren soorten als functie van de mediane sediment korrelgrootte (μ m) berekend door middel van logistische regressie (in Escaravage et al., 2003). Let op bij het maken van dit figuur werden bepaalde soorten anders genoemd dan tegenwoordig: *Hydrobia ulvae* heet nu *Peringia ulvae*.

Op basis van de semi-kwantitatieve bodemdierenmonitoring in Zwarts et al. (2011) komt vooral een relatie tussen de biomassa van wormen ("kleine wormen" en wadpieren) en korrelgrootte naar voren. Hogere biomassa is gevonden in gebieden met zeer fijn zand en een mediane korrelgrootte kleiner dan 130 μm (Figuur 3-44). Voor andere soortengroepen (schelp en schaaldieren) werd geen duidelijke relatie gevonden.



Figuur 3-44- Biomassa (g AFDW/m²) van wadpieren (*Arenicola*) en kleine wormen (*Nereis* + *Scoloplos* + *Heteromastus*) als functie van de mediane sediment korrelgrootte (in Zwarts et al., 2011).

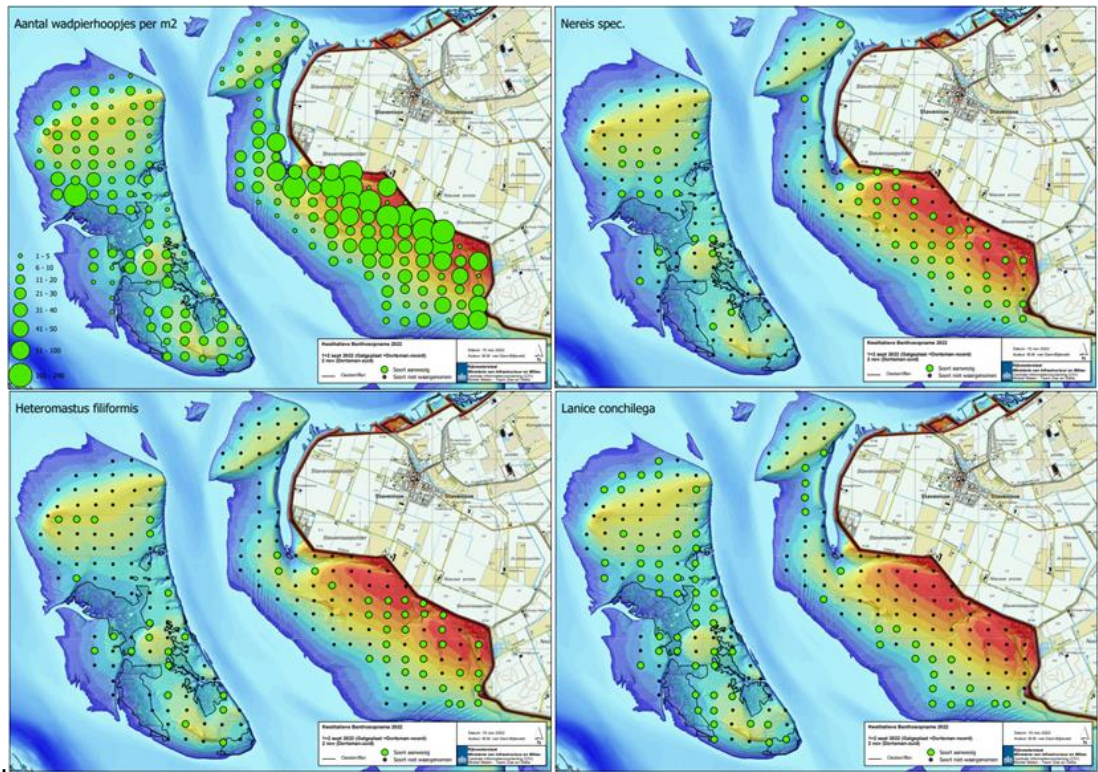
Door middel van een multivariate analyse van de INTERECOS dataset maakte van der Meer (1991) het onderscheid tussen de invloeden van hoogte en sedimentsamenstelling op de verdeling van bodemdierensoorten. Deze analyse bevestigde de affiniteit van de weekdieren *Cerastoderma*, *Macoma*, *Mya*, *Scrobicularia* en *Peringia* en van de wormen *Aphelochaeta*, *Polydora*, en *Heteromastus* voor slibrijke locaties. De wormen *Spio*, *Nephtys*, en het vlokreeftje *Bathyporeia* toonden een voorkeur voor zandige locaties. Andere soorten zoals *Arenicola*, *Nereis* en *Mytilus* bleken minder gevoelig te zijn voor de sedimentsamenstelling

3.3.2 Semi-kwantitatieve monitoring in het Middengebied

In het najaar (september/november) van 2022 werd een kwalitatieve opname van het macrozoöbenthos in het Middengebied (Galgeplaat en Slikken van den Dortsman) uitgevoerd door Rijkswaterstaat volgens de methode van Bijleveld en Pree [RWSV 913.00.B100 \(versie 2\)](#)¹. Deze methode wordt gebruikt om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verspreiding van bodemdieren in het litoraal. De met het oog waarneembare bodemdieren van twee spadesteken werden gescoord. Daarnaast werden ook levende kokkels geteld door het omwoelen van de bovenste 6 ± 1 cm van het sediment binnen een 50/50 cm werpvierkant. Ook werden golfribbels, wieren, diatomeeën, oesters en wadpierhoopjes gescoord. gerapporteerd.

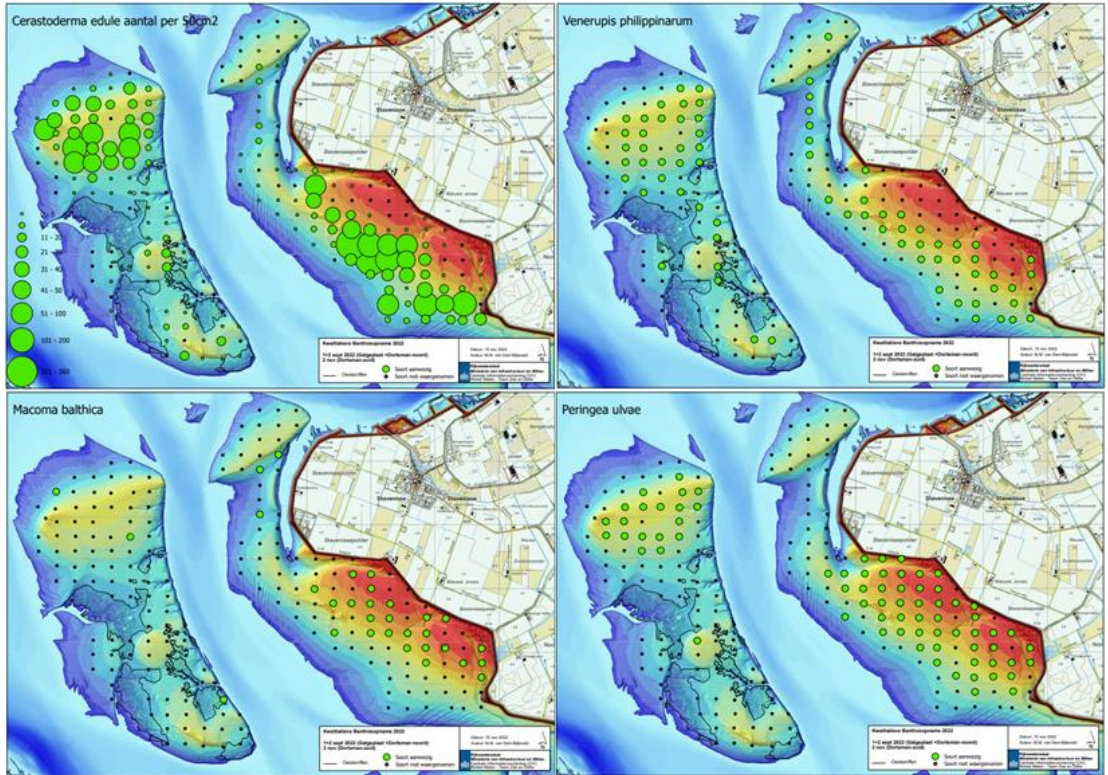
Figuur 3-45 tot Figuur 3-47 tonen de verspreiding van een aantal prooi-soorten (wadpier, zeeduizendpoot, bloedworm, schelpkokerworm, kokkel, nonnetje, wadslakje, tapijtschelp, slijkgarnaal en grijze garnaal) samen met een kwalitatieve indicatie voor het bodemleven (*geen* [geen bodemleven zichtbaar], *sporadisch* [enkele organismen], *gemiddeld* [veel van een soort of meerdere soorten aanwezig], *veel* [meerdere soorten gemiddeld of enkele soorten veel aanwezig]). Op de Dortsman werden hogere aantallen wadpieren (*Arenicola marina*) aangetroffen dan op de Galgeplaat. De zeeduizendpoten (*Nereis spec.*) worden zowel op de Dortsman als Galgeplaat gevonden (Figuur 3-45). Wadpieren komen bovendien op elke locatie voor in beide gebieden. De rode draadworm (*Heteromastus filliformis*) komt ook met een hogere frequentie voor op de Dortsman dan op de Galgeplaat. Het tegenovergestelde geldt voor de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) die vooral op de Galgeplaat aangetroffen wordt en, in mindere mate, op de (zuidwestelijke) buitenrand van de Slikken van den Dortsman (Figuur 3-45).

¹ De resultaten van deze opname zijn beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat en mogen exclusief gebruik worden in het kader van dit project.



Figuur 3-45. Ruimtelijke verspreiding van een aantal (dominante) wormen (v.l.n.r. wadpieroepje - *Nereis spec.*, bloedworm - *Heteromastus filiformis* en schelpkokerworm - *Lanice conchilega*) in het Middengebied op basis van een kwalitatieve opname (RWS, najaar 2022).

Figuur 3-45 De kokkel *Cerastoderma edule* komt op het hooggelegen deel in het noorden van de Galgeplaat in hoge dichtheden voor terwijl weinig kokkels aangetroffen zijn in het zuiden. Op de Dortsman komen kokkels voornamelijk op een gemiddelde hoogte in het intergetij voor (Figuur 3-46). De ruimtelijke verdeling van de tapijtschelp *Venerupis philippinarum* komt sterk overeen met die van de kokkel (Figuur 3-46). Het nonnetje *Macoma balthica* wordt vooral gevonden op de Dortsman op hoger gelegen delen dan de kokkel. Het wadslakje *Peringia ulvae* komt op het hooggelegen deel in het noorden van de Galgeplaat voor. Op de Dortsman komt het wadslakje frequent voor, met uitzondering van de diepere delen.

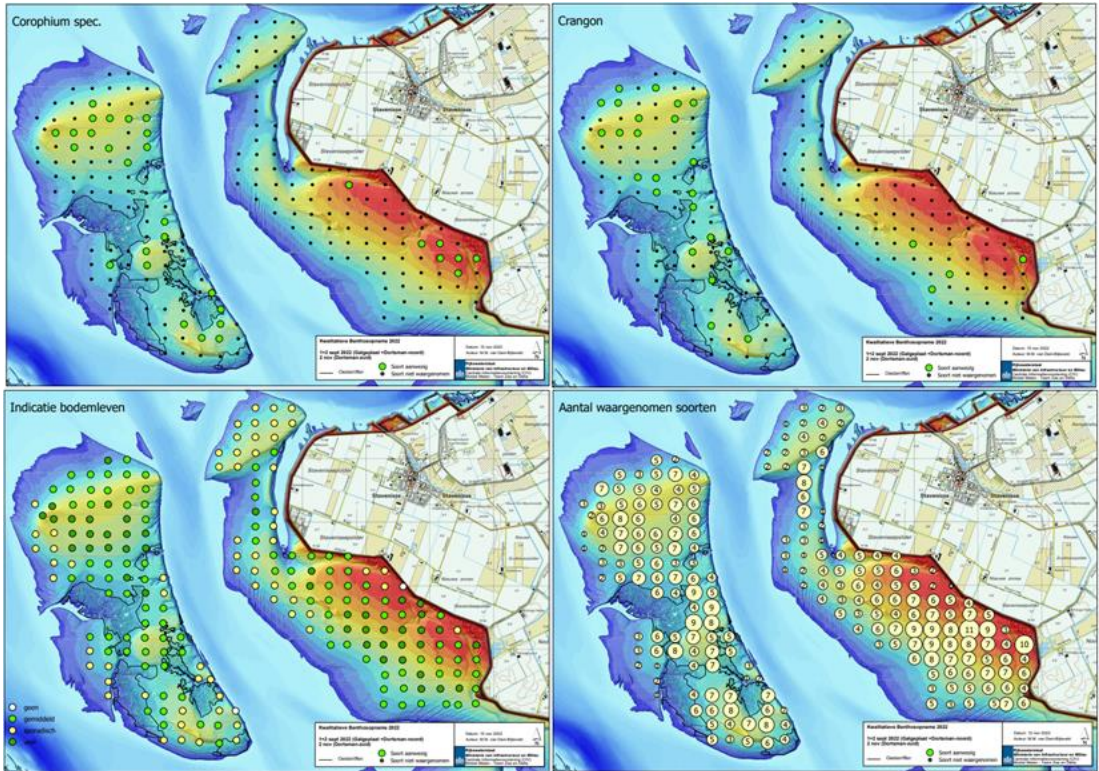


Figuur 3-46. Ruimtelijke verspreiding van een aantal (dominante) weekdieren (v.l.n.r. kokkel, tapijtschelp non, en wadslakje) in het Middengebied op basis van een semi-kwantitatieve opname (RWS, najaar 2022).

De slijkgarnaal *Corophium spec.* en grijze garnaal (*Crangon*) zijn niet heel frequent waargenomen. De slijkgarnaal komt vooral voor op de hogere delen van de Galgeplaat en de nog hogere delen op de Dortsman. De grijze garnaal (*Crangon*) zit duidelijk lager in het getijdengebied dan de slijkgarnaal (Figuur 3-47).

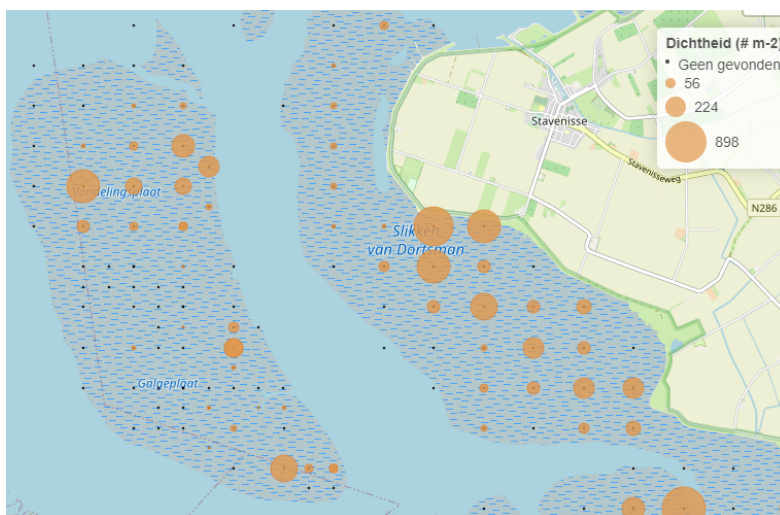
De waargenomen verschillen in soortensamenstelling van de semi-kwalitatieve benthosmonitoring kunnen grotendeels verklaard worden door de verschillen in hoogteligging tussen de Dortsman en de Galgeplaat en verschillen in hoogte binnen de twee gebieden (zie onderliggend dieptekaart in Figuur 3-45). De gevonden resultaten komen deels overeen met de besproken literatuur, zoals dat schelpkokerwormen voorkomen in lageregelegen gebieden dan wadpieren en kokkels, en het voorkomen van rode draadwormen, nonnen en wadslakjes in hoger gelegen gebieden (Escaravage et al., 2003, Troost & Ysebaert, 2011, Zwarts et al., 2011).

De kwalitatieve indicatie voor het bodemleven en het aantal gevonden soorten hebben een vergelijkbare ruimtelijke verdeling als de kokkel, met maximale waarden op het hooggelegen deel in het noorden van de Galgeplaat en op intermediaire hoogte op de Dortsman. De, qua bodemleven, armere gebieden bevinden zich vooral laag in het getijdengebied van de Galgeplaat en Dortsman.

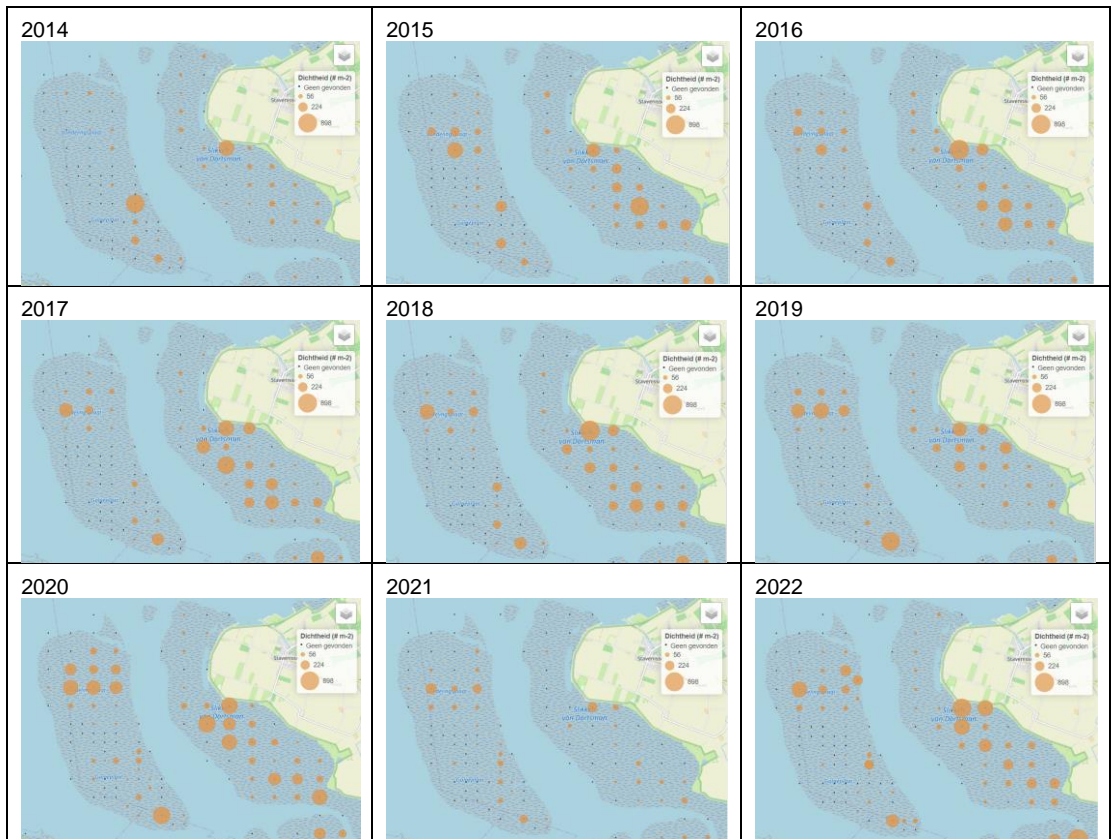


Figuur 3-47. Ruimtelijke verspreiding van twee (dominante) schaaldieren (v.l.n.r. slijkgarnaal en grijze garnaal), indicatie van het bodemleven (wit=geen; geel=sporadisch; licht groen=gemiddeld; donker groen=veel) en aantal waargenomen soorten in het Middengebied op basis van een semi-kwantitatieve opname (RWS, najaar 2022).

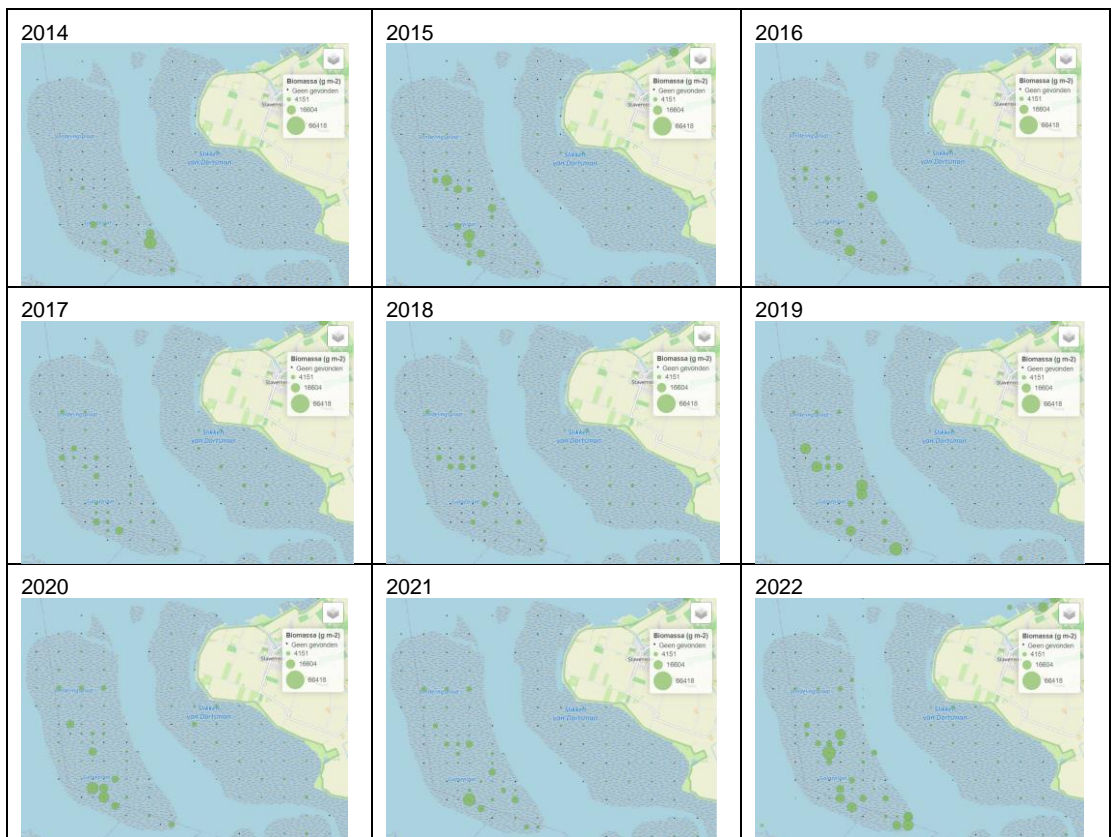
De RWS kwalitatieve monitoring toont een goede overeenkomst met de WOT jaarlijkse schelpdierinventarisatie t.o.v. de ruimtelijke verspreiding van de kokkeldichtheden in het Middengebied (Figuur 3-48). Er van uit gaande dat kokkeldichtheden significant bij dragen aan de voedselbeschikbaarheid voor een aantal vogelsoorten kan de schelpdierinventarisatie gebruikt worden om de variatie erin door de jaren heen te volgen. Binnen de schelpdierinventarisatie zijn zowel kokkeldichtheden als -biomassa's door de jaren heen opgevolgd.



Figuur 3-48. Ruimtelijke verspreiding van kokkeldichtheden in het Middengebied op basis van de WOT schelpdierenbestandsopname van 2022 (Schelpdiermonitor).



Figuur 3-49. Ruimtelijke verspreiding van kokkeldichtheden in het Middengebied op basis van de WOT schelpdierinventarisatie van 2014 tot 2022 ([Schelpdiermonitor](#)).

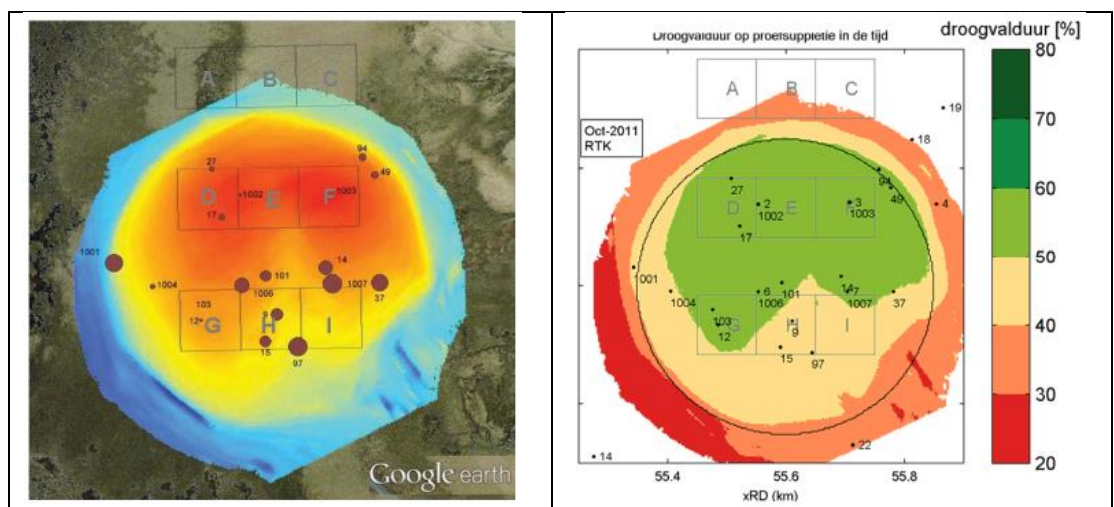


Figuur 3-50. Ruimtelijke verspreiding van de kokkels biomassa's in het Middengebied op basis van de WOT schelpdierinventarisatie van 2014 tot 2022 ([Schelpdiermonitor](#)).

Kokkeldichtheden laten duidelijk een jaar-tot-jaarvariatie zien in zowel de waargenomen dichtheden als de ruimtelijke verspreiding (Figuur 3-49). Een terugkerend patroon betreft lage dichtheden in het laaggelegen deel van de Galgeplaat en hogere dichtheden in het noorden van de Galgeplaat vergeleken met het zuiden. Op de Dortsman zijn dichtheden, door de jaren heen, vooral hoog op gemiddelde hoogte in het zuidwesten van het intergetijdengebied. In het noorden komen ze bijna niet voor. De kokkelbiomassa wordt vooral bepaald door de grotere individuen. In tegenstelling tot de dichtheid is de biomassa door de jaren heen telkens het hoogste in het midden en zuiden op lager gelegen gebieden van de Galgeplaat. De terugkerende hoge dichtheden en lage biomassa's op de slikken van den Dortsman duidt waarschijnlijk op de rekrutering van juveniele kokkels die niet leidt tot de ontwikkeling van een populatie met talrijke volwassenen (Figuur 3-50).

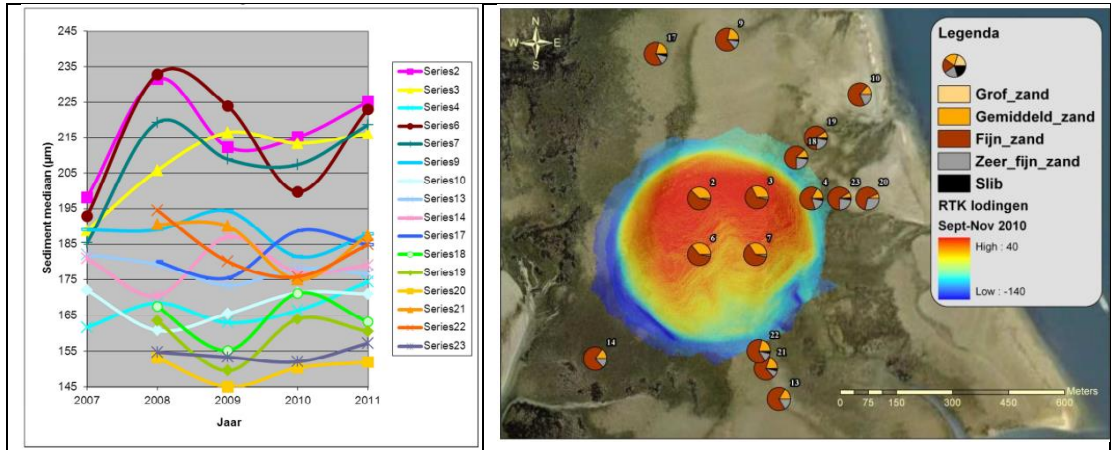
3.3.3 Effect van de suppleties op macrofauna op de Galgeplaat en de Roggenplaat

Drie jaar na aanleg van de suppletie op de Galgeplaat was, aan de zuidelijke en laag gelegen kant van de suppletie, de gemiddelde biomassa in dezelfde orde van grootte als in het referentiegebied. Dit was echter niet het geval voor het hoge deel ten noorden van de suppletie (Figuur 3-51).



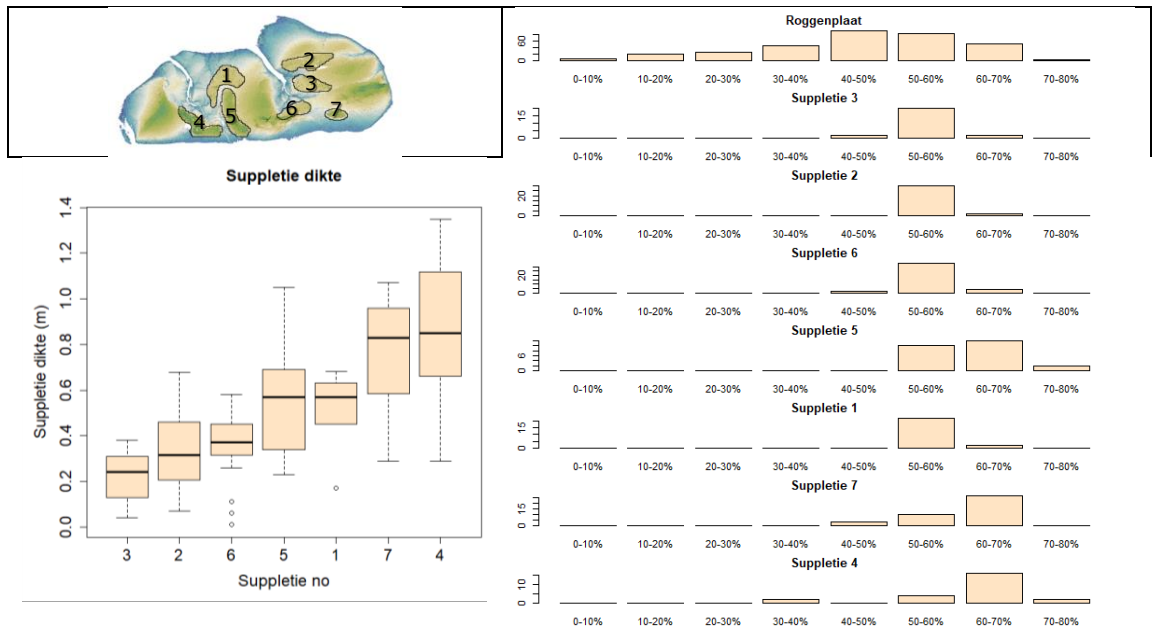
Figuur 3-51. Links: Ruimtelijke verdeling van bodemdierbiomassa op de suppletie (drie jaar na het suppleren). Rechts: Droogvalduur drie jaar na aanleg van de suppletie op de Galgeplaat, uit van der Werf et al. (2013).

De vertraging in het rekolonisatieproces aan de noordelijke kant van de suppletie is waarschijnlijk niet enkel toe te schrijven aan de langere droogvalduur van dit gebied, maar heeft vermoedelijk ook te maken met de sedimentkarakteristieken van de suppletie (Schaap, 2012). Uit visuele waarnemingen (Schaap, 2012) blijkt dat het sediment op de hogere delen sneller uitdroogt, terwijl op de lagere delen het water langer wordt vastgehouden. Er zijn zelfs permanent vochtige gebieden (plassen) ontstaan met een vermoedelijke gunstige invloed op de rekolonisatie. De suppletie bestond uit grover sediment dan voorheen (Figuur 3-52). In combinatie met de dikte van de suppletie en de grotere korrelgrootte zou het sediment een beperkte vochtvasthoudend vermogen kunnen hebben zoals waargenomen door Schaap (2012). Op basis van deze waarnemingen werd aanbevolen om bodemvochtigheid en de relatie met benthos in vervolgstudies nader te onderzoeken.



Figuur 3-52.- Links: Trends in mediane korrelgrootte van het sediment (μm) op Galgeplaat locaties tussen 2007 en 2011 (Locaties 2, 3, 6 en 7 op de suppletie). Rechts: Sediment samenstelling op die locaties in 2011 uit Wijnhoven et al. (2012).

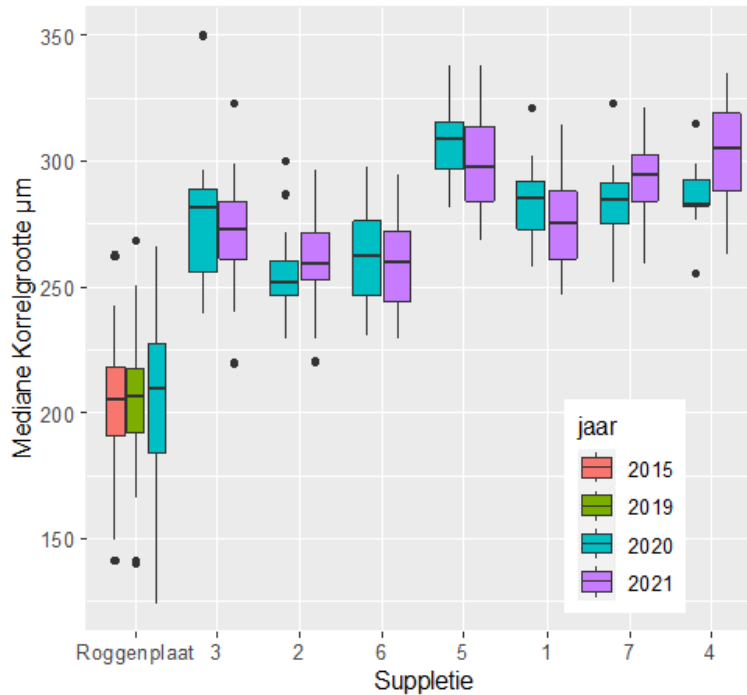
De aanleg van de Roggenplaat suppletie heeft geleid tot zeven unieke suppleties die verschillen in droogvalduur, sedimentsamenstelling en dikte van de sedimentlaag (Figuur 3-53 en Figuur 3-54).



Figuur 3-53. Links Boven: Weergave van de ruimtelijke locaties van de verschillende suppleties op de Roggenplaat. Links onder: Dikte (in m) van de verschillende suppleties gesorteerd voor toenemende diktes. Rechts: Verdelingen van droogvalduren voor de verschillende suppleties (Suppletie $i_{(1-7)}$) vergeleken met de gebieden daarbuiten ("Roggenplaat").

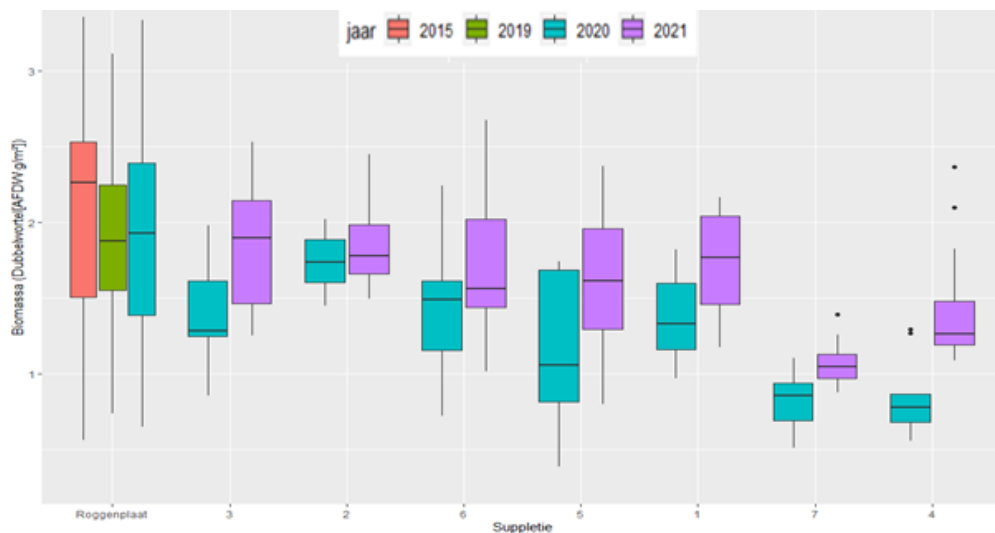
Versillen in diktes tussen de suppleties maakt het mogelijk om het effect van deze eigenschap op het benthos te onderzoeken en te vergelijken met de waarnemingen van de Galgeplaat suppletie. De dikte van de suppleties varieert tussen gemiddeld 0.2 m (Suppletie 3) en 0.8 m (Suppletie 4). De suppleties hebben bijgedragen aan een langere droogvalduur, maar ook hier zitten verschillen in. Suppleties 1, 2, 3 en 6 hebben het areaal met een droogvalduur van 50-60% versterkt, suppletie 5 het areaal met een droogvalduur van 50-70% en suppletie 4 en 7 het areaal met een droogvalduur van 60-70% (Figuur 3-53).

Ook de sedimentsamenstelling is sterk beïnvloed door de suppleties met een gemiddelde korrelgrootte van 250 tot 325 μm op de suppleties en 75 tot 225 μm op dichtbij liggende locaties. De gemiddelde korrelgroottes zijn het hoogste op de dichtere suppleties 4, 5 en 7 (Figuur 3-54).



Figuur 3-54.- Mediane korrelgrootte (μm) op de suppleties (3 tot 4 gesorteerd op dikte) in 2020 en 2021 en op dichtbij liggende locaties (Roggenplaat) tussen 2015 en 2020.

In 2020, één jaar na het suppleren, is de bodemdierbiomassa op die suppleties lager dan op dichtbij liggende locaties (Figuur 3-55). Tussen 2020 en 2021 neemt de biomassa op alle suppleties toe maar blijft de biomassa beduidend lager op de twee dikste suppleties 7 en 4. Dit zijn tevens de meest geëxponeerde suppleties. Het is op dit moment nog onduidelijk of de dikte van het sediment, de sedimentsamenstelling, de geëxponeerde ligging of alle drie de afwijkende ontwikkeling op suppletie 4 en 7 kunnen verklaren.



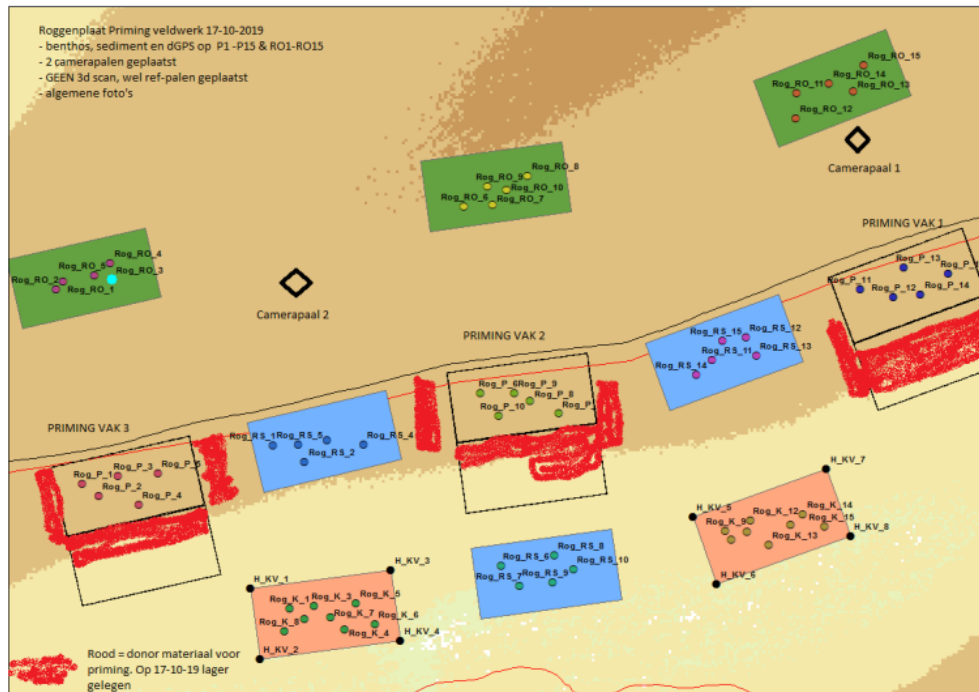
Figuur 3-55. Bodemdieren biomassa (kwantitatieve monitoring) op de suppleties (3 tot 4 gesorteerd op dikte) in 2020 en 2021 en op dichtbij zijnde locaties (Roggenplaat) tussen 2015 en 2020.

De onderlinge relaties en respectieve bijdrage van de waargenomen veranderingen in droogvalduur, korrelgrootte van het sediment en bodemvocht bij de benthos rekolonisatie op de suppleties moeten met meerjarige data bepaald worden.

3.3.4 Benthos priming

Priming is het voorbehandelen van een suppletie. Middels het actief aanbrengen van een bodemdiergemeenschap op een suppletie wordt gepoogd het toekomstige herstel en ontwikkeling te versnellen zodat de voedsel functie voor vogels zo snel mogelijk na de ingreep weer op peil is.

Er is geëxperimenteerd met twee verschillende manieren van priming (Walles et al., 2021). Bij de eerste manier werd plaatmateriaal afgeschraapt van ± 22 cm dikte. Dit sediment werd naar een vak van 50 bij 100 meter getransporteerd en op gewenste hoogte gebracht. Vervolgens zijn de omliggende delen middels suppletiezand op gewenste hoogte gebracht, waardoor de geprimeerde vak in de suppletie kwam te liggen. In totaal resulteerde dit in drie vakken (Figuur 3-56). Omdat het uitvoeren van een priming geen gebruikelijke methode is, heeft dit tot technische uitdagingen geleid die geresulteerd hebben in verschillende manieren in uitvoering (sediment verplaatsing middels shovels of middels een kraan) (Walles et al., 2021). De tweede priming betrof het uitzaaïen van kokkels op de suppletie.

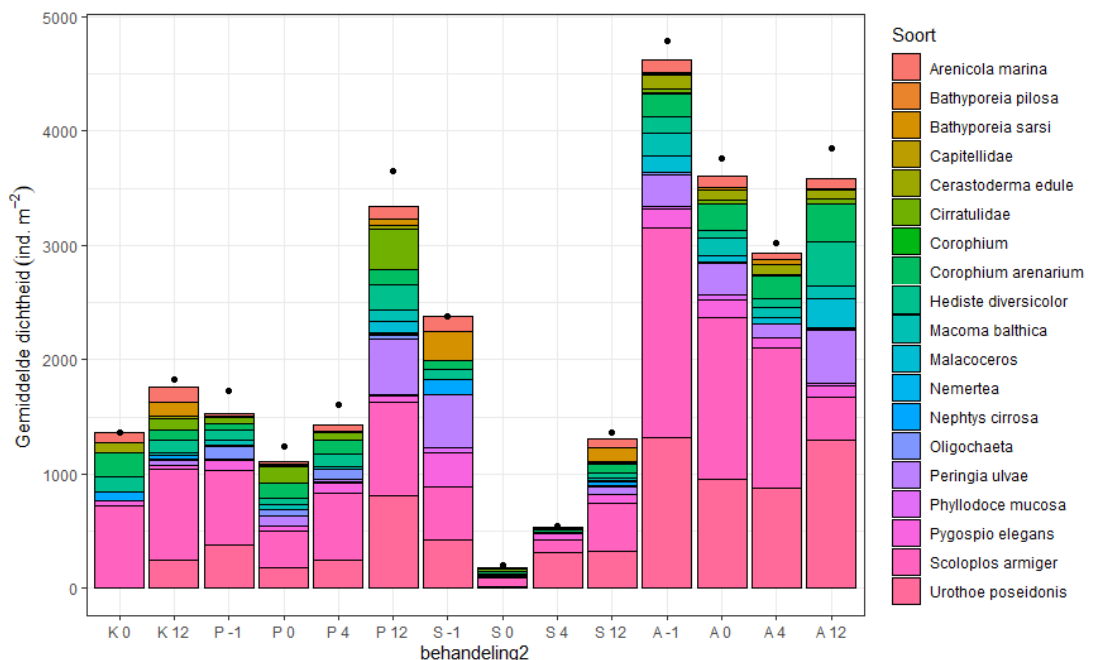


Figuur 3-56.- Overzicht van de priming suppletie-element met weergave van de monsterpunten: Priming vak 1, 2 en 3 (zwartomlijnde vakken). Groene en blauwe vakken zijn referentievakken buiten de suppletie (groen) en op de suppletie (blauw). In de roze vakken zijn alleen kokkels aangebracht. De rode gebieden geven aan waar het materiaal voor de priming met gebiedseigen materiaal afkomstig van was (in Walles et al., 2021).

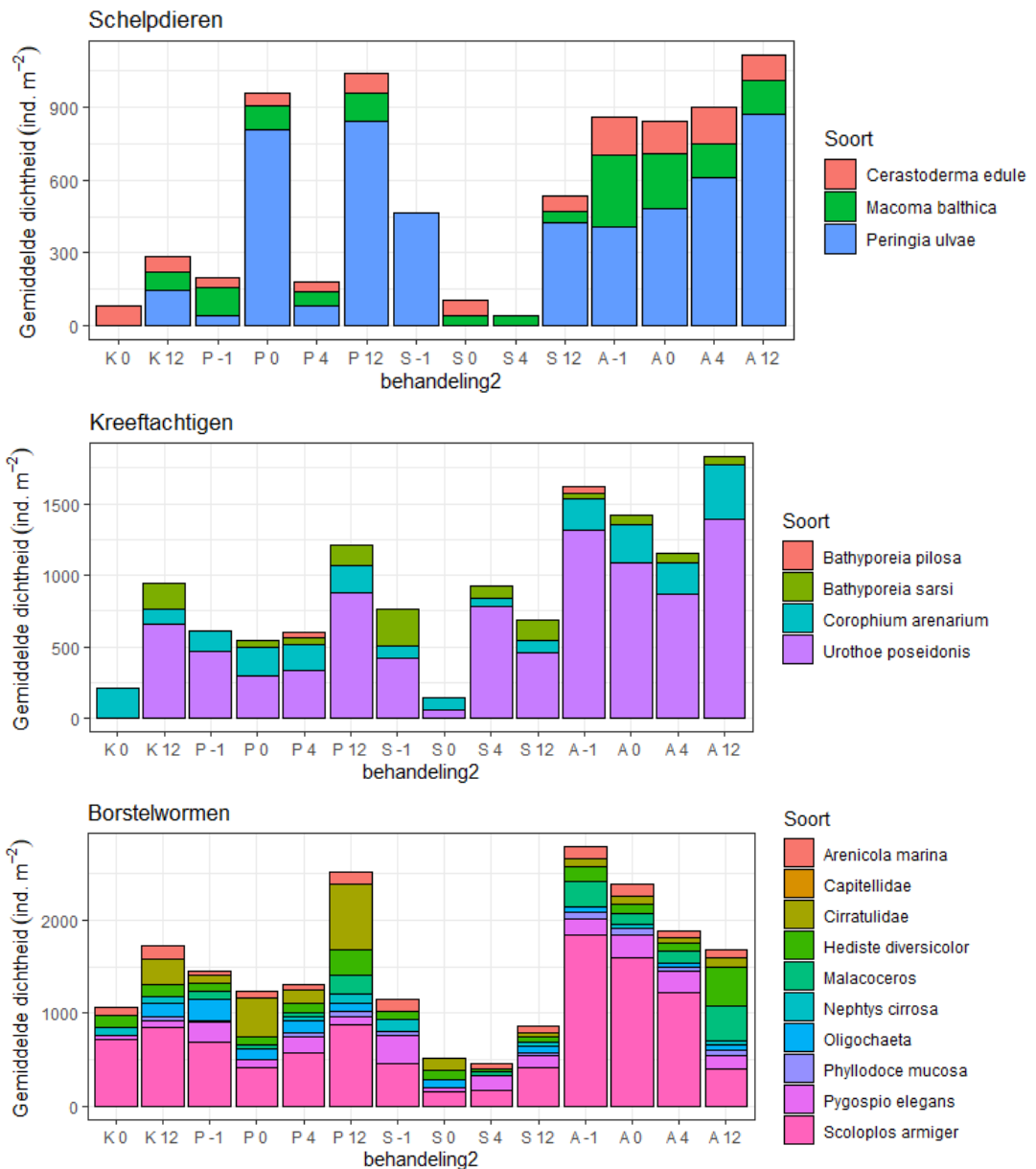
Het bodemleven werd bemonsterd op alle in Figuur 3-56 aangegeven locaties één week (T0: november 2019), vier maanden (T4: maart 2020), zeven maanden (T7: juni 2020), een jaar (T12: november 2020), twee jaar (2021) en drie jaar (2022) na aanleg van het laatste geprimeerde vak. De monsters van jaar 2 worden niet uitgezocht, tenzij daar reden toe is. De monsters van jaar 3 worden momenteel uitgezocht in het lab.

Zowel de priming met kokkels als met sediment, hebben effect op het herstel van het bodemdierleven 1 jaar na aanleg (Figuur 3-57). Door de suppletie nemen dichtheden van alle soorten af (S in Figuur 3-57). Soorten als *Peringea* (vroeger *Hydrobia*, het wadslakje), *Bathyporeia* (bulldozerkreeftjes) en de borstelwormen *Phyllodoce mucosa* en *Arenicola* verdwijnen volledig, maar worden een jaar later weer waargenomen in lagere dichtheden. Vanaf de eerste week zijn de gemiddelde dichtheid in de geprimeerde vakken (P en K in Figuur 3-57) hoger dan op de suppletie. Gemiddelde dichtheden in de met sediment geprimeerde vakken (P) nemen toe in de tijd en zijn één jaar na aanleg vergelijkbaar met het referentiegebied. Ook de soortensamenstelling lijkt vergelijkbaar.

Het is onbekend waarom de dichtheden van soorten anders dan kokkels zoveel hoger zijn in de kokkel priming dan de sediment priming. Mogelijk zijn er meer dieren meegetransporteerd tijdens de kokkeltransplantatie dan voorheen gedacht. Gemiddelde dichtheden in de kokkel priming (K) zijn één jaar na aanleg echter niet veel hoger geworden dan één week na aanleg. In het referentiegebied (A in Figuur 3-57) wordt een lichte afname in de totale dichtheden waargenomen. De borstelwormen nemen geleidelijk af in de tijd. Dit komt vooral door een afname van de borstelworm *Scoloplos armiger*, terwijl deze soort juist toeneemt op de suppletielocaties. De soortensamenstelling in het referentiegebied blijft verder relatief gelijk. Voor vrijwel alle groepen nemen borstelwormen het grootste aandeel van de totale dichtheden in beslag, gevolgd door de kreeftachtigen en schelpdieren (Figuur 3-58).



Figuur 3-57. Gemiddelde dichtheden (ind. m⁻²) van de meest voorkomende benthos soorten in de kokkel priming vakken (K), sediment priming vakken (P), suppletie vakken (S) en het referentiegebied (A) een maand voor, en 1 week, 4 maanden en één jaar na aanleg. De zwarte puntjes geven de totale gemiddelde dichtheid van ALLE soorten bij elkaar.



Figuur 3-58. Gemiddelde dichtheden (ind. m⁻²) van de meest voorkomende benthos soorten, onderverdeeld in schelpdieren, kreeftachtigen en borstelwormen, in de kokkel priming vakken (K), sediment priming vakken (P), suppletie vakken (S) en het referentiegebied (A) een maand voor, en 1 week, 4 maanden en één jaar na aanleg.

3.3.5 Discussie over de ontwikkeling van bodemdieren in relatie tot suppleties

De ruimtelijke verspreiding van bodemdiersoorten in de intergetijdengebieden van de Oosterschelde is voor een groot deel te verklaren op basis van droogvalduur en korrelgrootte (Escaravage et al., 2003). Ook speelt de sedimentsamenstelling zeer waarschijnlijk een belangrijke rol erin zoals dit het geval is in het subtidaal (Degraer et al., 2008). Dit is de reden waarom de sedimentsamenstelling van de suppletie zoveel mogelijk gelijk gehouden moet worden als op de plaat. De suppletie op de Galgeplaat was inderdaad gekenmerkt door grovere sedimenten dan de oorspronkelijke gebieden wat een negatieve impact blijkt te hebben gehad op de rekolonisatie (Schaap, 2012). Ook op de Roggenplaat is het sediment gebruikt voor de suppletie grover dan het sediment dat van nature op de plaat ligt. Ook al is de laatste monstercampagne (2022) niet uitgezocht, blijkt, op basis van de beschikbare gegevens, de rekolonisatiesnelheid door het benthos sterk afhankelijk te zijn van de korrelgrootte en elevatie van de suppleties (Figuur 3-53 en Figuur 3-54).

Op basis van de trage rekolonisatie op de Galgeplaat suppletie wijzen van der Werf et al. (2013) naar de hoeveelheid bodemvocht als een mogelijke sturende factor in het herstel van het benthos op zandsuppleties. Hun hypothese was gebaseerd op resultaten in Borsje et al. (2012) waar vochtige bodems een hogere biomassa bevatten dan droge bodems en op de visuele waarnemingen in Schaap (2012) waar het sediment op de hogere delen van de Galgeplaat suppletie snel blijkt uit te drogen, terwijl op de lagere delen het water langer wordt vastgehouden.

Het stimulerende effect van het vochtig blijven van het sediment bij laag water op de activiteit van bodemdieren die daardoor als prooi beschikbaar blijven voor wadvogels werd eerder beschreven in o.a. Vader (1964), Rosa et al. (2007) en Van Dusen et al. (2012). Van Dusen et al. (2012) observeren dat de plaatdelen waar het water langer blijft op het sediment na het terugtrekken van de zee gekenmerkt zijn door hogere slibpercentages dan de overige gebieden die sneller droog worden bij laag water. Deze bevindingen zijn verder bevestigd door veldmetingen in Drabsch (1999) waar het oppervlaktensediment 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 werking). 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. Deze waarnemingen benadrukken het belang om de goede sedimentsamenstelling te gebruiken als substraat voor de te suppleren foerageergebieden die wellicht net zo belangrijk zou kunnen zijn als de droogvalduur van die gebieden.



Roggeplaat-oost, met opvallend vlak substraat, zonder ribbels en daardoor ook geen achterblijvend water met laagwater. Het gebied was heel vogelarm, ondanks de aanwezigheid van veel wadvieren.



Roggenplaat-centraal, een voedselrijke en vogelrijke plaat waar tijdens laagwater veel water bleef staan. De vele Scholeksters aten kokkels en andere vogelsoorten vooral krabben en garnalen. In de nazomer zijn vrijwel alle bonte, drieteen- en kanoetstrandlopers in de Oosterschelde op de Roggenplaat geconcentreerd.



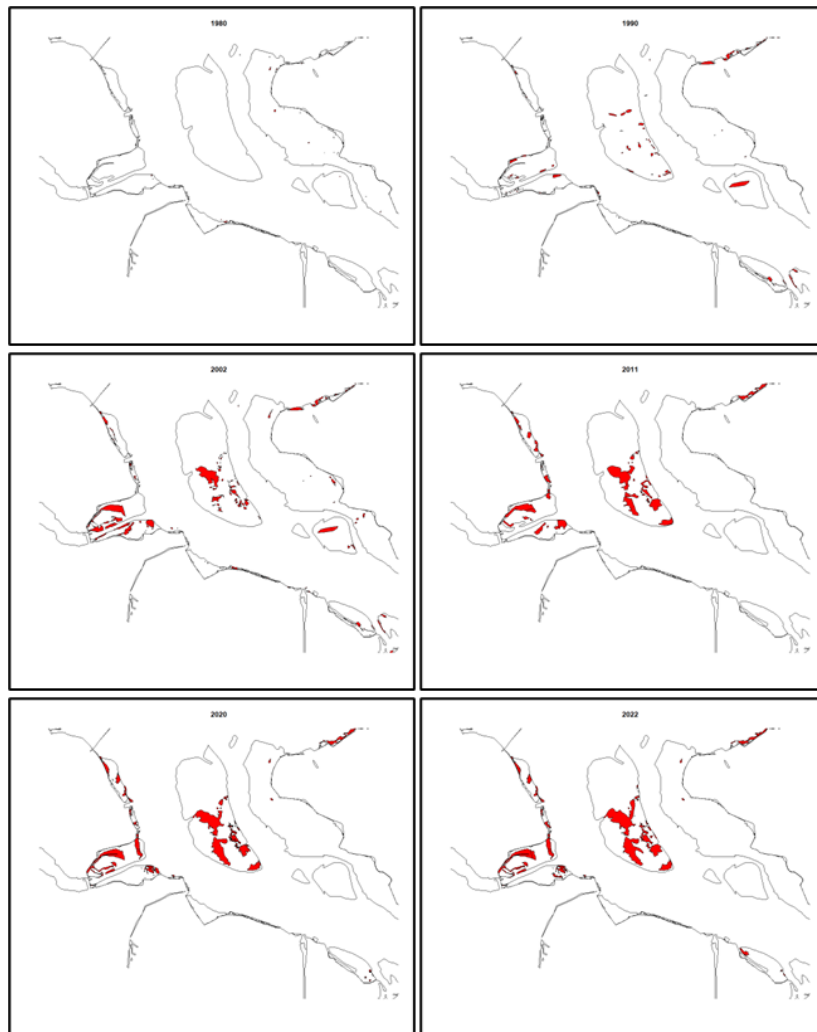
Galgeplaat-zuid, een vogelrijke plaat met een grote afwisseling aan habitattypen (oesterbanken langs de laagwaterlijn, slenken, droge en vooral natte slikken). Op de achtergrond zijn de plastic tonnen zichtbaar die zijn uitgelegd t.b.v. de mosselcultuur.

Figuur 3-59. Veldindrukken in Zwarts (2009) met de bijdrage van vochtigheid voor de geschiktheid van plaatdelen als foerageergebieden.

3.4 Oesterriffen

3.4.1 Ontwikkeling

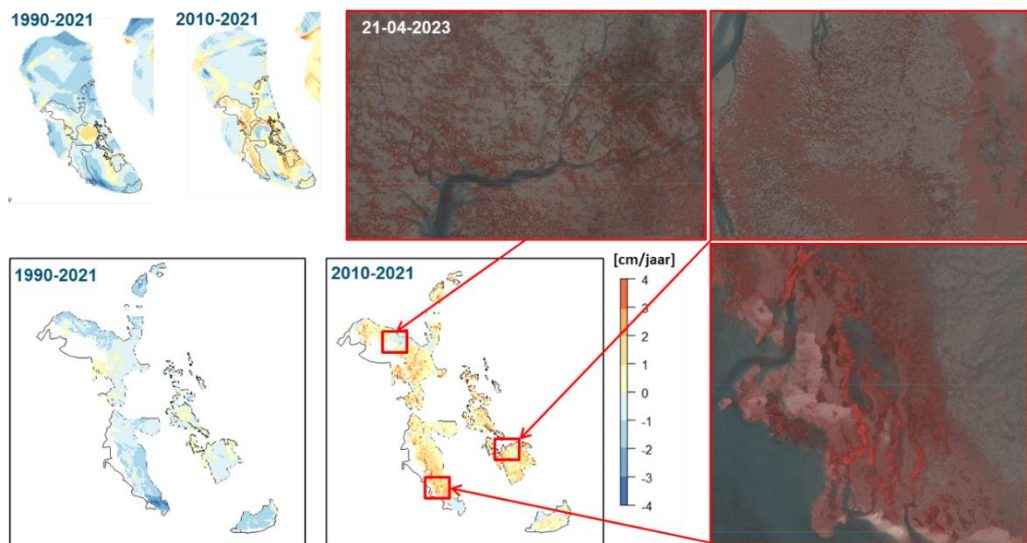
De Japanse oester *Crassostrea gigas* werd in 1964 geïntroduceerd in de Oosterschelde voor aquacultuur, na massasterfte van de invasieve oester *Ostrea edulis*. Aanvankelijk werd verondersteld dat het water te koud was voor de Japanse oester om zich voort te kunnen planten (Drinkwaard, 1998). Echter plantten de oesters zich voort in 1975 (Drinkwaard, 1998) waarna ze zich snel verspreidden door de Oosterschelde en riffen vormden (Smaal et al. 2009). In het Middengebied van de Oosterschelde waren in de jaren '80 enkel een paar kleine oesterriffen aanwezig op de Slikken van den Dortsman (Figuur 3-60). In de jaren '90 ontstonden ook riffen op de Galgeplaat en in de Zandkreek. In beide gebieden breidde het areaal aan riffen zich verder uit, terwijl de riffen op de Dortsman verdwenen. Vanaf 2011 zien we geen nieuwe riffen ontstaan en groeit het gebied bedekt met oesterriffen lichtelijk in omvang.



Figuur 3-60. Areal bedekt met Oesterriffen (rode polygonen) in 1980, 1990, 2002, 2011, 2020 en 2022.

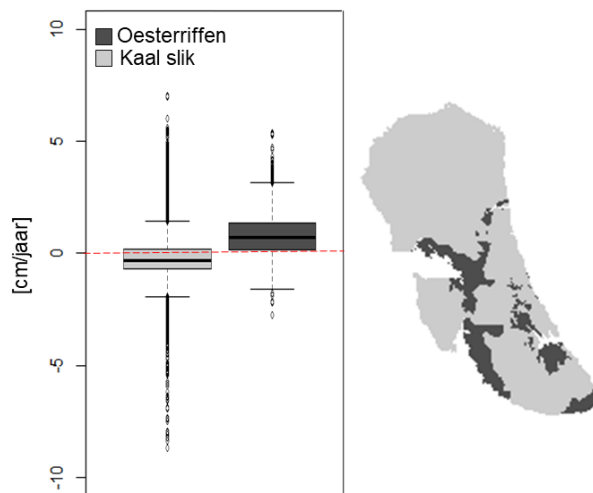
3.4.2 Trends in sedimentatie en erosie

Het gebied geassocieerd als oesterrif bedraagt ca. 100 ha op de Galgeplaat. Deze gebieden bestaan echter niet alleen uit oesters, maar variëren van grote aaneengesloten oesterriffen tot oesterstrooi (losse oesters met daartussen kaal sediment). Deze ruimtelijke variatie is terug te zien op de satellietopname van 21 april 2023 in het infrarood-rood-groen spectrum (Figuur 3-61). Oesters zijn biobouwers, wat inhoudt dat ze hun omgeving kunnen veranderen door hun aanwezigheid en/of biologische activiteit. Oesters doen beide. Door hun 3D-structuur beïnvloeden ze lokaal de hydrodynamiek en daarmee de sedimentdynamiek en als filter feeder filteren ze algen en andere zwevende deeltjes uit het water welke vervolgens uitgescheiden worden als faeces of pseudo-faeces. Beide processen dragen bij aan opslibbing tussen de oesters. Dit kunnen we terugzien in de morfologische ontwikkeling van gebieden binnen de contouren van oesterriffen. Figuur 3-61 toont de lineaire erosietrend binnen de contouren van de riffen over een periode van de afgelopen 11 en 30 jaar. Dertig jaar geleden lagen er echter nauwelijks riffen op de Galgeplaat (Figuur 3-60). Om deze reden kunnen we beter inzoomen op de ontwikkeling in de afgelopen 11 jaar.



Figuur 3-61. Lineaire erosietrend voor de periode 1990-2021 en 2010-2021 binnen de contouren van de in 2021 aanwezige oesterriffen op de Galgeplaat. Satelliet beelden in het infrarood-rood-groen spectrum van 21 april 2023 (Satelietdataportaal).

In de afgelopen 11 jaar zien we een gemiddelde sedimentatie van 0,7 cm/jaar binnen de contouren van de oesterriffen, met een maximale erosie van -2,8 cm/jaar en maximale sedimentatie van 5.4 cm/jaar (Figuur 3-62). Het kale slik erodeert gemiddeld met -0,3 cm/jaar met een maximale erosie van -8,7 cm/jaar en maximale sedimentatie van 7 cm/jaar. De vraag is of de Lidar data te gebruiken voor deze vergelijking. Dit omdat het voor de Lidar-opnamen onduidelijk is of deze het kale slik of oesters waarnemen (wat ook kan variëren tussen verschillende opnamen). De geobserveerde toename in hoogte binnen de contouren van de riffen zou dus ook groei van de riffen zelf kunnen zijn. Echter zagen we al eerder in Figuur 3-61 dat binnen de contouren ook veel kaal slik aanwezig is. Als een rif groeit, dan groeit ook zijn omgeving mee. Riffen bestaan uit een matrix van levende en dode oesters met daartussen sediment. Oesters vestigen zich (cementen zich vast) als larve op hard substraat zoals stenen en schelpen. Ze vestigen zich bij voorkeur op schelp van soortgenoten. Hier groeien ze uit tot een volwassen oester. Door afzetting van faeces en pseudo-faeces in en om het rif in combinatie met het neerslaan van sediment, komt de bodem omhoog binnen het rif. Dit proces verstikt de onderste oesters die op deze manier voor decennia in de bodem opgeslagen worden (Walles et al. 2015a). Riffen kunnen verticaal sneller groeien dan de huidige zeespiegelstijging (Walles et al. 2015a en 2016a, Rodriguez et al. 2014) waardoor ze klimaat robuuste habitats vormen.



Figuur 3-62. Lineaire erosietrend voor de periode 2010-2021 binnen de contouren van de in 2021 aanwezige oesterriffen op de Galgeplaat (oesterriffen) en daarbuiten (kaal slik).

3.4.3 Uitstralings-effect

Naast een direct effect binnen de contouren van riffen is ook bekend dat riffen meters tot enkele honderden meters aan de lizijde erosie reduceren (Walles et al. 2015b). Aan de lizijde van het kunstmatige rif op de slikken van Viane zien we hierdoor een plateau ontstaan tot 200 meter achter het rif (ongepubliceerde data). Dit zien we tevens terug in RTK-metingen aan de lizijde van de natuurlijke riffen op de Galgeplaat (profiel 5420, 1400-1500m afstand, Figuur 3-21). Rekening houden met dit uitstralings-effect in het suppletie ontwerp is niet wenselijk omdat daarmee het zoekgebied verder verkleind wordt. De riffen zouden wel als buffer gezien kunnen worden aan de rand van suppleties welke erosie lokaal kan reduceren.

3.4.4 Biodiversiteit

Oesterriffen vormen een uniek habitat in een zacht sediment gedomineerd systeem als de Oosterschelde. Ze worden wereldwijd gezien als hotspots van biodiversiteit. Ze bieden hard substraat en voorzien daarmee verschillende organismen van een plek om zich te vestigen, verschuilen, of foerageren. Ook de heterogeniteit (hard substraat, kaal sediment en

waterpoeltjes), veroorzaakt door de aanwezigheid van riffen, draagt hier aan bij. Middels hun faeces en pseudo-faeces neemt ook het organisch stof gehalte toe in de nabijheid van riffen, wat een effect heeft op de bodemdiersamenstelling, welke het foeragegedrag van vogels beïnvloed (Van der Zee et al. 2012). Studies in Duitsland en Engeland laat zien dat riffen een aanvullende voedselbron voor vogels kunnen zijn (Herbert et al. 2018, Markert et al. 2013). Dichtheden en biomassa's van met name wormen en krabben waren hoger in riffen dan op het kale slik. Hoewel gemiddelde dichtheden van foerageerde vogels hoger was op het kale slik, waren gemiddelde piektellingen, foerageer succes en prooi inname daarentegen weer hoger op riffen (Herbert et al. 2018). Met name de scholekster en de wulp maakten gebruik van riffen, terwijl andere vogel soorten (bv. Grutto en zilvermeeuw) juist riffen vermeden (Herbert et al. 2018, Markert et al. 2013). Het is belangrijk dat binnen een estuarium variatie aan voedselbronnen aanwezig is. Sommige vogels gebruiken riffen om te foerageren terwijl andere deze gebieden juist mijden. Herbert et al. (2018) adviseert daarom om een deel van de riffen intact te laten, maar ook een deel weg te vissen om zo een mozaïek aan habitats te creëren voor een grotere verscheidenheid aan vogel soorten. De vraag is alleen, hoe bepaald je welk deel van de riffen behouden dient te worden. Je zou kunnen kijken naar behoud van complexiteit of biodiversiteit. Onder complexiteit verstaan we het verschil tussen aaneengesloten en patchy riffen (Figuur 3-61). Riffen die sterk bijdragen aan heterogeniteit van het landschap kunnen mogelijks leiden tot verschillen in aantrekkelijkheid voor vogels. De WOT survey bemonsterd sinds 2020 riffen met een oesterhapper. Hieruit kan een maat van biodiversiteit verkregen worden. Als we kijken naar soortenrijkdom zien we dat riffen rijk zijn aan soorten, maar dat jaar tot jaar variatie groot is. Er is geen duidelijk aanwijzing dat één van de riffen rijker of armer is dan de rest (Figuur 3-63). In het algemeen zien ze wel dat lager gelegen banken vaak wat rijker zijn dan hoger gelegen banken. Waarschijnlijk omdat hier vaker water staat of blijft staan (pers. Communicatie K. Troost). Ook totale dichtheden van de aangetroffen soorten geven geen uitsluitsel over armere riffen. Een andere maat kan zijn het aantal mosselen binnen riffen. In de WOT data vinden we ze maar op enkele plekken terug. Middels een veldbezoek door (WOT)experts zouden riffen op waarde gescoord kunnen worden om te helpen bij de beslissing welke riffen behouden dienen te worden.

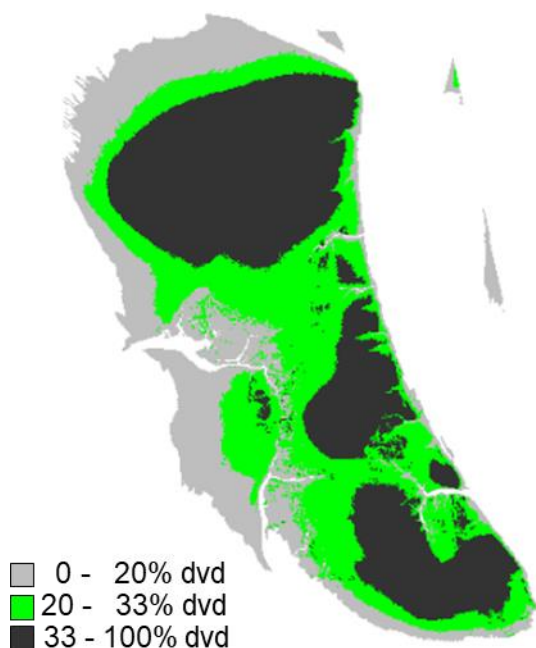


Figuur 3-63. Soortenrijkdom, totale dichtheden en voorkomen mosselen op de Galgeplaat en Dortsman op basis van WOT data verkregen met een oestershopper in 2020 en 2021.

3.4.5 Aanleg kunstmatige riffen

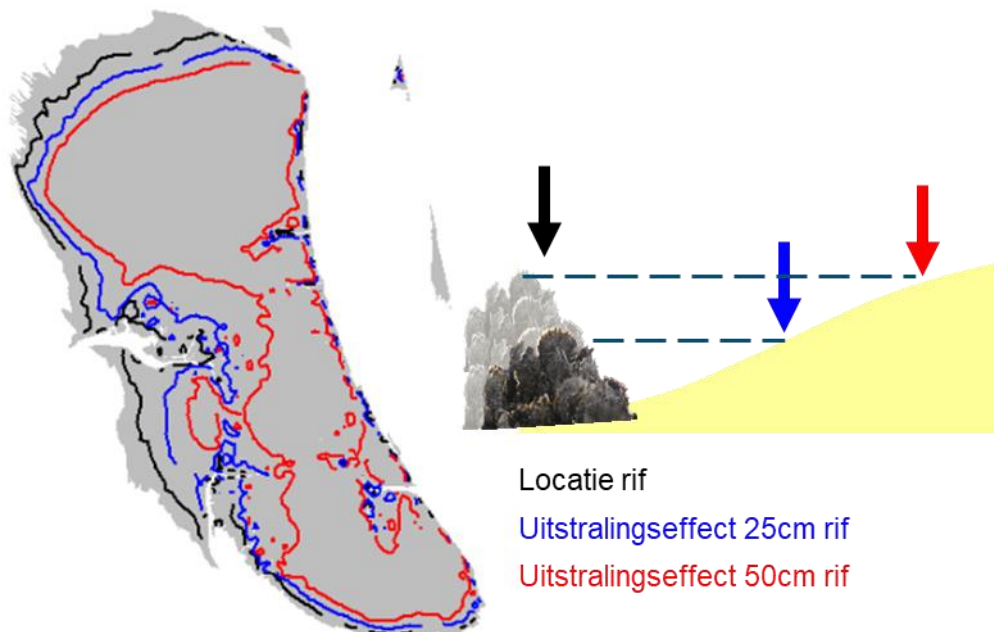
In paragraaf 2.1 werd al aangegeven dat Van Zanten & Adriaanse adviseerden om de komende decennia het verlies aan intergetijdengebied te beperken met suppleties op platen en slikken in combinatie met erosie-remmende maatregelen. Met betrekking tot dit laatste zijn verschillende pilots uitgevoerd in de Oosterschelde. Focussend op oesters zijn er twee kleine pilot riffen (lxbxh: 10x4x0.25m) aangelegd in 2009 op de Slikken van Viane. In 2010 vond opschaling plaats (lxbxh: 200x10x0.25m) met twee riffen op de Slikken van Viane en één op de Val (Wallès et al. 2016a). In 2013 volgde nog vier riffen met verschillende lengtes en hoogtes op de Oesterdam (Boersema et al. 2018). Onderzoek aan deze riffen heeft aangetoond dat de hoogteligging met betrekking tot droogvalduur cruciaal is voor de ontwikkeling van deze kunstmatige riffen in zelfvoorzienende structuren (Wallès et al. 2016a). Oesters komen van nature niet of nauwelijks voor in de vorm van riffen boven de 55% droogvalduur (Wallès et al. 2016b). In de Oosterschelde kunnen we spreken van een

groeiplafond rond de ~33% droogvalduur. Riffen aangelegd onder dit groeiplafond kunnen uitgroeien tot zelfvoorzienende structuren, terwijl hoger aangelegde riffen in enkele jaren verdwijnen (Wallis et al. 2016a). Groei en overleving van oesters wordt bepaald door successen binnen alle levensfasen. Onderzoek toont aan dat juveniele en volwassen oesters het beste groeien en overleven tussen de 20 en 40% droogvalduur (Wallis et al. 2016bc). De natuurlijke riffen op de Galgeplaat liggen tussen de 6 en 33% droogvalduur. Om groeiende riffen te garanderen moeten kunstmatige riffen op de juiste hoogte aangelegd worden. Dit houdt in dat de top van het rif niet hoger dan 33% droogvalduur moet zijn en liever niet lager dan 20% droogvalduur (Figuur 3-64).



Figuur 3-64. Geschiktheidskaart voor de aanleg van kunstmatige oesterriffen. De groene gebieden zijn geschikt voor aanleg van riffen. De donkergrijze gebieden liggen boven het groeiplafon. Riffen op deze hoogte zullen niet groeien. In de lichtgrijze gebieden zullen riffen wel groeien maar suboptimaal.

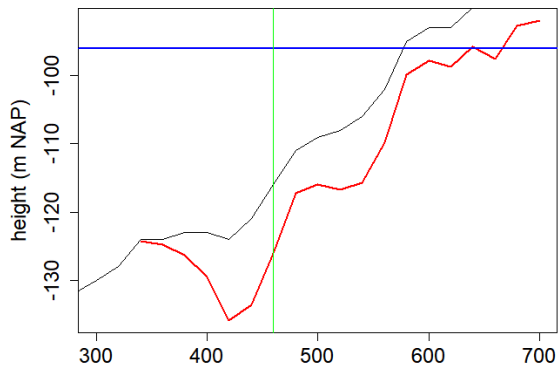
Middels RTK metingen hebben we zicht op de morfologische ontwikkeling in de omgeving van riffen (uitstralingseffect). Het rif op de Slikken van Viane reduceert erosie tot een afstand 200m lijwaarts van het rif (ongepubliceerde data). In een groot gebied achter dit rif observeren we maar liefst een viervoudige reductie van de erosietrend (ongepubliceerde data). Op basis van golfmetingen gecombineerd met de morfologische ontwikkeling is een model opgesteld waarmee het uitstralingseffect verklaard wordt. Hieruit volgt een simpele vuistregel voor het berekenen van het uitstralingseffect. In het gebied aan de lizijde van het rif, met een bodemhoogte lager dan de top van het rif zal verminderde erosie plaatsvinden. Figuur 3-65 toont als voorbeeld verschil in effectafstand tussen een 25 en 50 cm hoog rif aangelegd op een bodemhoogte van 10% droogvalduur. De helling van het gebied zal sturend zijn tot hoe ver effecten reiken. Dit is zichtbaar in Figuur 3-65 waar lijnen dichter bij elkaar liggen bij een steilere helling. Hoe flauwer de helling hoe verder het effect reikt. De mate van erosievermindering is moeilijk in te schatten, omdat dit beïnvloed wordt door dagelijkse erosie en event gedreven erosie (stormen). Nader onderzoek is nodig om het effect van beide erosieprocessen te onderzoeken aan de hand van de reeds aangelegde riffen. Op basis van expertoordelen stellen we een halvering van de erosietrend voor als een behoudende inschatting.



Figuur 3-65. Uitstralingseffect voor kunstmatige oesterriffen van verschillende hoogtes (blauw: 25cm, rood: 50cm) aangelegd op dezelfde bodemhoogte (10% droogvalduur).

Riffen werken hoofdzakelijk als golfdempende maatregel. Dat gezegd hebbende, dient rekening gehouden te worden met inkomende golfrichting (Figuur 3-5). De verwachting is dat de noordwestzijde en zuidoostzijde van de Galgeplaat aan de meeste golfenergie onderhevig zullen zijn. Dit zouden daardoor geschikte gebieden voor de inzet van riffen kunnen zijn. Ook de rand van de Slikken van den Dortsman leent zich voor de inzet van riffen. Omdat riffen erosie reduceren maar niet stoppen is de meeste efficiëntie te behalen op sterk eroderende plekken (een halvering van 5 cm erosie naar 2,5 cm erosie is efficiënter dan een halvering van 2 naar 1 cm). Op dit moment worden deze gebieden voor suppleties uitgesloten, waardoor riffen juist een aanvulling op suppleties kunnen zijn. Met name de noordwestzijde van de Galgeplaat wordt 2-0 uur voor laagwater door vogels gebruikt (Figuur 3-27) en hier vinden we gemiddelde aanwezigheid van benthos (Figuur 3-47). Daarnaast toonde de ANT studie (Troost en Ysebaert, 2011) aan dat hoogste bodemdierbiomassa's zich onder de 60% droogvalduur bevinden, de zone waar riffen in aangelegd kunnen worden en effect op hebben. Een groot deel van deze zone bevindt zich tevens in de bufferzone van de mosselpercelen, waardoor deze uitgesloten is voor suppleren. Riffen zouden daarmee het te beschermen areaal kunnen uitbreiden wanneer aangelegd binnen deze bufferzone.

Voor de inzet van riffen als erosie-remmende maatregel is het van belang vooraf te kijken hoe een rif het meest efficiënt aangelegd kan worden. Hierbij spelen niet alleen de afstand tot waar een rif effect heeft op zijn omgeving een belangrijke rol, maar ook erosietrends. Figuur 3-66 toont als voorbeeld dat de aanleg van een 25 cm hoog rif net het gebied met de hoogste erosietrend niet mee pakt. Hier zou verkend moeten worden of een hoger, dieper gelegen rif hogere baten dan kosten met zich mee brengt. Kortom, de aanleg van riffen vraagt gebiedskennis en maatwerk om de effectiviteit van een rif te vergroten.



Figuur 3-66. Voorbeeld van een bodemprofiel (zwarte lijn) op de Galgeplaat waarbij de erosietrend van de afgelopen 11 jaar voor de komende 10 jaar wordt geëxtrapoleerd (rode lijn). De groene verticale lijn geeft de ligging van een hypothetisch rif aan met de blauwe lijn als rif hoogte. Grootste erosie vindt plaats aan de voorzijde van het rif. Geadviseerd is om te berekenen of een hoger dieper gelegen rif rendabel is.

4 Toepasbaarheid en mogelijke verrijkingen van de huidige praktijk van suppletieontwerp in de Oosterschelde

4.1 Inleiding

Wat betreft de hydromorfologie en ecologie kent het Middengebied (Hoofdstuk 3) veel gelijkenissen met de Roggenplaat (Van der Werf et al., 2016b). Ook de probleemstelling (achteruitgang foerageerfunctie) is voor beide gebieden zeer vergelijkbaar (De Ronde et al., 2013). Hoewel op detailniveau er logischerwijs verschillen zijn tussen beide gebieden, adviseren wij om de huidige suppletieontwerppraktijk in de Oosterschelde zoals gevolgd bij het ontwerp van de Roggenplaat (Hoofdstuk 2) in de basis over te nemen. Ook omdat dit heeft geleid tot een gedragen en realiseerbaar suppletie-ontwerp.

Wel is er aanleiding om de huidige ontwerppraktijk te verrijken met nieuwe kennis en inzichten die sinds het voltooien van de ontwerpstudie van de Roggenplaat (2016) zijn verkregen. Deze kennis en inzichten zijn opgedaan met de aanleg van de Roggenplaat suppleties (uitvoerbaarheid) en de nog lopende monitoring/evaluatie van de Roggenplaat suppleties, tijdens de werksessies in het kader van deze voorstudie, met de enquête van de vogelexperts (Bijlage B) en nieuwe literatuur.

Dit hoofdstuk bediscussieert in hoeverre deze huidige praktijk toepasbaar is voor het Middengebied en welke verrijkingen er met de nieuwe kennis en inzichten kunnen worden gedaan. Alle verrijkingen zijn opgesteld ten bate van het kerndoel (behoud foerageerfunctie) waarbij de uitvoerbaarheid niet uit het oog is verloren.

4.2 Doelstellingen

De doelstellingen van het suppleren van het Middengebied zijn, zoals geformuleerd door Rijkswaterstaat in zijn plan van aanpak (Rijkswaterstaat, 2022):

1. Behoud van de foerageerfunctie voor de komende 25 jaar voor de steltlopers en rustgebied voor de zeehonden van het Middengebied van de Oosterschelde;
2. Voorkomen van toename van golfaanval door de zandhonger op nabijgelegen dijken van het Middengebied;
3. Ontwikkelen van kennis voor flexibel, klimaatbestendig en kosteneffectief suppleren voor toekomstige zandhongerregrepen.

Deze komen overeen met de doelstellingen van de Roggenplaat suppletie (zie paragraaf 2.2.3), maar zijn wel onderhevig aan accentverschillen (zie onderstaande paragrafen).

- 4.2.1 Behoud van de huidige foerageerfunctie van het Middengebied voor de komende 25 jaar**
- Het behoud van de foerageerfunctie blijft, in lijn met De Ronde et al. (2013), centraal staan. Benadrukt wordt dat dit niet alleen een focus vergt op het vogelgebruik van de suppleties maar juist ook op een systeem-brede beschouwing van hoe de suppleties passen binnen de foerageerfunctie van het gehele Middengebied. Dit is in paragraaf 4.3.1 nader uitgewerkt. Omdat deze doelstelling centraal staat, dient tijdens de ontwerpstudie gewaarborgd te worden dat de ontwerpconcepten (b.v. in het kader van de andere doelstellingen) deze doelstelling niet in de weg staan. Tot slot wordt opgemerkt dat de levensduur van suppleties binnen deze doelstelling niet zwart-wit moet worden gezien. Ook als sediment uit bepaalde

droogvalduurklassen verdwijnt maar wel in de intergetijdengebieden blijft, kan het de foerageerfunctie van het gebied blijven faciliteren.

Rijkswaterstaat heeft aangaande deze doelstelling in zijn plan van aanpak (Rijkswaterstaat, 2022) een resultaatsverwachting gespecificeerd: “5 jaar na aanleg is de foerageerfunctie (in het Middengebied) beter dan in het peiljaar 2021, dit blijft zo tot en met 2050, 25 jaar na aanleg. In de eerste 5 jaar van de aanwezigheid herstelt de foerageerfunctie”. Deze resultaatsverwachting onderschrijft dat het herstel van het foerageerhabitat jaren in beslag kan nemen. Op basis van de eerdere suppletieprojecten (paragraaf 3.2 en 3.3) moet er echter rekening mee worden gehouden dat het volledige ecologisch herstel op de suppleties langer dan 5 jaar kan duren en dat deze aan onzekerheden onderhevig is gezien de beperkte maakbaarheid van foerageerhabitat (paragraaf 4.8). Bovendien is het de vraag wanneer er überhaupt gesproken kan worden van “volledig ecologisch herstel” omdat er altijd verschillen zullen zijn in soortensamenstelling ten opzichte van de situatie vóór aanleg (bijvoorbeeld door verschillen in sedimentkarakteristieken). Hoe dan ook moet er tijdens de ontwerpfase alles aan gedaan worden om deze ecologische hersteltijd te minimaliseren (o.a. op basis van de ontwerpprincipes van paragraaf 4.4). Ook moet er bij de evaluatiemonitoring aandacht zijn voor het feit dat het vaststellen van de kwaliteit van de foerageerfunctie niet eenduidig is, bijvoorbeeld door de verschillende vogelsoorten te onderscheiden en rekening te houden met tijdsvariaties. Verschillende vogelsoorten hebben namelijk verschillende wensen (paragraaf 3.2) en het vogelgebruik is onderhevig aan natuurlijke variaties binnen een getijcyclus, een seizoenacyclus en over de jaren.

4.2.2 Voorkomen van een ongewenste golfaanval op de kust

Voor de Roggenplaat was de inschatting dat de tweede doelstelling niet onderscheidend zou zijn voor een plaatsuppletie (zeer beperkte invloed op de maatgevende golfcondities langs de dijken). Voor de Slikken van den Dortsman zijn er wel mogelijkheden de golfcondities langs de dijken te beïnvloeden. Daarom zou gekozen kunnen worden om het effect van suppleren op de golfaanval op de dijken expliciet mee te nemen in het ontwerp van de suppleties in het Middengebied. Dit is vooral interessant als de verbinding wordt gelegd met toekomstige versterkingsopgaven in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).

Om een effect op de maatgevende golfcondities te bewerkstelligen, moet het zand vooral dichtbij de waterkering worden gelegd, zoals blijkt uit de studies van Kala (2016) en Maas (2020). Kala (2016) liet voor de Oesterdamsuppletie zien dat alleen het deel van de suppletie langs de voet van de dam (zie dijksuppletie in Figuur 2-1) de ontwerp golfbelasting heeft verminderd.

Maas (2020) heeft in een generieke beschouwing laten zien dat suppleties bijdragen aan het reduceren van de ontwerp golfbelasting als:

- suppleties zorgen voor een hogere bodemligging van het intergetijdengebied in een aaneengesloten zone direct voor de dijk.
- de bodemhelling van het intergetijdengebied voor de dijk flauwer wordt door de suppletie.

Echter, een hooggelegen suppletie staat mogelijk meerwaarde voor de foerageerfunctie (doelstelling 1) in de weg, onder andere vanwege de verstoring door recreanten (zie Boersema et al., 2018). Daarnaast brengt een hoge (en droge) suppletie het risico tot verstuing met zich mee. Bij de Oesterdam hinderde verstuing zand het verkeer over de dam zodanig, dat de toplaag van de dijkvoetsuppletie met bulldozers richting het lager gelegen slik geschoven is (Boersema et al., 2018). Dergelijke tegengestelde belangen vergen aandacht in de ontwerpstudie (paragraaf 4.5).

4.2.3 Ontwikkelen van kennis voor flexibel, klimaatbestendig en kosteneffectief kustmanagement

De suppletievarianten van de Roggenplaat zijn niet expliciet beoordeeld op de doelstelling kennisontwikkeling omdat deze daarvoor niet onderscheidend waren. Dit betekent niet dat de Roggenplaat suppletie niet heeft bijgedragen aan de kennisontwikkeling. Met de Roggenplaat suppletie is er bijvoorbeeld ervaring opgedaan met priming en zijn er met de nog lopende monitoring van de suppletie nieuwe inzichten verkregen over de eco-morfologische ontwikkeling van suppleties. Deze kennis draagt direct bij aan het effectiever maken van opvolgende suppleties (zoals die in het Middengebied).

Het expliciet meenemen van kennisontwikkeling als doelstelling zou kunnen voor de suppletie in het Middengebied, al zal het uitdagend zijn om deze doelstelling te vertalen naar een geschikte doelindicator. Gedacht moet vooral worden aan innovatieve concepten die de foerageerfunctie van de suppletie faciliteren (bijv. snellere rekolonisatie van bodemdieren). Dergelijke experimenten (en opvolging met monitoring) dienen gezien te worden binnen de systeem-brede suppletiecyclus waarbij de urgentie voor verdere optimalisatie van de foerageerfunctie hoog blijft, ook al hebben de suppleties geen pilot-status meer (Hoofdstuk 5).

Hierbij hoeft het niet per se alleen te gaan over de ontwikkeling van nieuwe kennis. Ook het bestendigen en bevestigen van bestaande kennis is waardevol.

4.3 Afwegingskader

4.3.1 Doelindicatoren

In de Roggenplaat ontwerpstudie is het areaal met een droogvalduur van 50-80% als belangrijkste indicator gebruikt voor de ecologische doelstelling. Dit is een geschikte indicator in de zin dat deze direct gekoppeld is aan de doelstelling, duidelijk en onderscheidend is, en met voldoende zekerheid kan worden bepaald.

Deze doelindicator kan gebruikt worden voor een eerste ontwerp van de suppletie in het Middengebied. Echter, we denken dat deze onvoldoende recht doet aan de doelstelling om de foerageerfunctie van het Middengebied te behouden. Er is behoefte aan het meenemen van de volgende aanvullende overwegingen:

1. Het foerageersysteem van het Middengebied, en de draagkracht daarvan in het bijzonder, moet integraal in beschouwing worden genomen:
 - a. niet-gesuppleerde delen dragen ook fundamenteel bij aan de foerageerfunctie. In het bijzonder moeten de niet-gesuppleerde delen de tijdelijke achteruitgang in foerageerfunctie van de door de suppletie verstoorde gebieden kunnen opvangen;
 - b. lage delen van intergetijdengebieden dragen ook bij aan de behoefte van foeragerende vogels over de getijcyclus en daarmee het foerageersysteem.
2. Er is behoefte aan differentiatie in hoogteligging ter voorkoming van een te uniforme hoogteligging van de suppleties, aansluitend op de verschillende behoeften van de doelsoorten (paragraaf 3.2) die ook variëren over de getijcyclus. Dit gaat overigens voor een deel “vanzelf”. Zo wijst de Roggenplaat suppletie uit dat door de uitvoering en de morfologische ontwikkeling al binnen een paar maanden meer diversiteit in hoogteligging ontstaat tussen de suppleties (Walles et al., 2021).
3. Het grootste gedeelte van het gesuppleerde sediment dat erodeert, verdwijnt niet direct van het intergetijdengebied maar draagt bij aan de lagere hoogteklassen en is zo ook van ecologische waarde.
4. Voor de Roggenplaat was de aanleg van een hoogwatervluchtplaats (dat permanent boven water blijft) uitgesloten omdat deze boven de 80% droogvalduur uitkomt. Echter kan deze alsnog bijdragen aan de foerageerfunctie van het hele systeem (nieuw type

habitat, al kan dat juist ook weer ecologische neveneffecten introduceren). De ontwerpstudie moet uitwijzen of dit inderdaad van meerwaarde is binnen de doelstellingen en of dit binnen de vergunningen haalbaar is. Aanbevolen wordt afwegingen over een hoogwatervluchtplaats af te stemmen met het 7-Eilandenplan (Stichting Het Zeeuwse Landschap & DPM, 2016) waarbinnen reeds plannen liggen voor een hoogwatervluchtplaats/vogeleiland in het Middengebied (Kats).

Deze overwegingen moeten een plek vinden in het te ontwikkelen afwegingskader en meegenomen worden in de ontwerpprincipes.

Naast het areaal droogvalduur zijn voor het ontwerp van de Roggenplaat suppletie twee andere (secundaire) doelindicatoren gebruikt:

- De voetafdruk (*footprint*) van de suppletie, gekoppeld aan het minimaliseren van de negatieve impact (verstoring bodemleven). Deze kan ook voor het Middengebied worden gehanteerd. Ter referentie, op de Roggenplaat is 16% van het areaal met een droogvalduur van 20-80% gesuppleerd. Voor zover nu beoordeeld kan worden, lijkt daarmee de foerageerfunctie van de niet-gesuppleerde delen op de Roggenplaat voldoende gespaard te zijn. Hieruit kan echter geen vuistregel verkregen worden voor het Middengebied. Bodemdierbiomassa is gebiedsafankelijk. Gemiddelde biomassa ligt lager op de Galgeplaat dan op de Roggenplaat en nog lager op de Dortsman (paragraaf 3.3). Het relatieve ruimtegebruik van de suppletie in het Middengebied verdient aandacht tijdens de ontwerpstudie in het kader van de eerder genoemde draagkracht van het foerageersysteem.
- De lengte van de waterlijn van de suppletie, gekoppeld aan het maximaliseren van de ecologische waarde. Bepaalde vogelsoorten foerageren in belangrijke mate langs de waterlijn en kunnen baat hebben van een lange waterlijn (te beïnvloeden met de suppletievorm en flauwe helling). Zoals ook in Hoofdstuk 2 benoemd, is dit bijvoorbeeld (gedeeltelijk; soms afhankelijk van het seizoen of de individuele strategie) het geval voor de drieteenstrandloper, kanoetstrandloper, scholekster, tureluur, wulp (gedeeltelijk), rosse grutto en de scholekster (Mu & Wilcove, 2020; van der Kam et al., 1999; Zwarts et al., 2011). Het gaat hier niet alleen om de omtrek van de suppleties, maar ook om de variatie in bodemhoogte.

4.3.2 **Randvoorwaarden voor opstellen uitsluitingsgebieden**

Om negatieve neveneffecten van de Roggenplaat suppletie vooraf zoveel mogelijk uit te sluiten zijn destijds zes randvoorwaarden gesteld die de basis vormden voor de geschiktheidskaart (toegelicht in paragraaf 2.2.5). De onderstaande tabel geeft een inschatting in welke mate deze ook van toepassingen zouden kunnen zijn voor het suppleren in het Middengebied.

Tabel 4.1 Inschatting toepasbaarheid met eventuele verrijkingen van de randvoorwaarden gesteld aan de Roggenplaat-suppletie voor het Middengebied. De achtergrond van de randvoorwaarden is in paragraaf 2.2.5 toegelicht.

Randvoorwaarden	Toepasbaarheid voor het Middengebied
1: 400 m afstand houden tot mosselpercelen	Dit werkte goed voor de Roggenplaat en wij zien op basis van de systeemkennis in het Middengebied geen grotere kans op verzanding van de percelen. De monitoringsdata van de Roggenplaat laten zien dat er op de percelen op een dergelijke afstand geen meetbare aanpassingen in bodemveranderingen door de suppleties plaatsvinden. Bovendien wijst ook de risicomonitoring (Wijsman, 2023) niet op schade door de aanleg van de suppletie op de omliggende percelen. Het advies is deze afstand aan te houden, tenzij dat met een impact-analyse overtuigend wordt aangetoond dat met een kleinere afstand het risico op verzanding van percelen niet ontoelaatbaar wordt verhoogd.
2: 600 m afstand houden tot de centrale Zeehonden rustplaatsen	Net als bij de Roggenplaat, zou een afstand van 1200 m het te suppleren gebied onwerkbaar verkleinen. Advies is om de motivatie voor de afstand van 600 m (paragraaf 2.2.5) ook voor het Middengebied te volgen.
3: uitsluiten van natuurlijk oesterriffen	Het is belangrijk om in het ontwerp rekening te houden met de aanwezigheid van natuurlijke oesterriffen. Riffen zijn gebieden die morfologisch gezien stabiel of groeiend zijn en daarmee klimaatrobuust. Tevens zorgen ze voor een heterogeen landschap met ecologische meerwaarde. Het valt te bezien of dit een randvoorwaarde of criterium moet zijn in het Middengebied, aangezien een relatief groot gedeelte van de Galgeplaat (100 ha) bedekt is met deze riffen, wat het potentieel suppletie-gebied aanzienlijk inperkt (zie belangenafweging in paragraaf 4.5).
4: 150 m afstand houden van grote afwateringsgeulen	Het lijkt verstandig om deze randvoorwaarde over te nemen, om verlies van suppletiesediment naar de afwateringsgeulen te beperken en om variatie in het foerageerhabitat te behouden. In de monitoring van de Roggenplaat is tot op heden geen verandering in ontwikkeling van de afwateringsgeulen waargenomen. De 150 m afstand lijkt daarmee ruim genoeg en er is geen aanleiding voor een grotere afstand.
5: Uitsluiten van sterk erosieve plaatranden	Het lijkt verstandig om deze randvoorwaarde over te nemen om direct verlies van suppletiezand naar de geulen te minimaliseren. Echter, een deel van de sterk erosieve gebieden wordt wel als foerageergebied door vogels gebruikt (Hoofdstuk 3). Voor deze gebieden zou de inzet van erosie-remmende maatregelen overwogen kunnen worden. Mocht er tijdens de ontwerpfasen beoogd worden om deze gebieden middels suppleren te verrijken, zou van deze randvoorwaarde afgeweken kunnen worden mits het verlies naar de geulen en mogelijk percelen in ogenschouw wordt genomen (bijvoorbeeld combineren met erosie-remmende maatregelen).
6: Aanlegzones en persafstanden baggerschepen	Dit bleek achteraf geen beperkende factor bij de Roggenplaat-suppletie en het is de verwachting dat dit ook niet zo zal zijn bij suppleren in het Middengebied. Advies is om deze randvoorwaarde niet over te nemen. In het afwegingskader moeten de uitvoerbaarheid en kosten worden meegenomen.

4.4 Ontwerpprincipes

Tijdens het ontwerpproces van de Roggenplaat suppletie is, in aanvulling op de doelindicatoren en randvoorwaarden, een aantal ontwerpprincipes ontwikkeld en gevolgd (toegelicht in paragraaf 2.2.6). De onderstaande tabel geeft een inschatting in welke mate deze ook van toepassing zouden kunnen zijn voor het suppleren in het Middengebied.

Tabel 4.2 Inschatting toepasbaarheid met eventuele verrijkingen van de ontwerpprincipes van de Roggenplaat-suppletie voor het Middengebied. De achtergrond van de ontwerpprincipes is in paragraaf 2.2.6 toegelicht.

Ontwerpprincipe	Toepasbaarheid voor het Middengebied
1. Het grootste gedeelte van de suppleties op de doelhoogte leggen; geen "Zand Motor"	Er is geen aanleiding om dit aan te passen voor het Middengebied omdat de morfologische dynamiek van het Middengebied, net zoals op de Roggenplaat, beperkt is (paragraaf 3.1.7). Het verdient wel aanbeveling om uit te zoeken hoe een hoogwatervluchtplaats (>80% DVD) zou kunnen bijdragen aan de foerageerfunctie.
2. Diversiteit in aanleghoogte van de suppletie-elementen	Het verdient aanbeveling om dit principe over te nemen. Aanvullend op de focus op de aanleghoogte van de suppleties, is het advies om vooral ook de ecologische meerwaarde van de suppletieranden in ogenschouw te nemen. Dit omdat vogels langs de waterlijn foerageren en daarom juist ook de hellende delen van de suppleties de foerageerfunctie faciliteren.
3. Suppletie-elementen op morfologisch actievere plaatdelen wat hoger uitvoeren	Er is geen aanleiding om dit aan te passen voor het Middengebied. In de monitoring van de Roggenplaat is gebleken dat suppleties die in de morfologisch actievere delen zijn geplaatst (de zuidelijke suppleties) inderdaad aan veel sterkere erosie onderhevig zijn (lokaal wel 10 cm per jaar). Dit onderschrijft het belang van een dergelijke "overhoogte", waarbij rekening gehouden moet worden met dat deze hogere, drogere gebieden mogelijk minder snel ecologisch herstellen (paragraaf 3.3). Bij dikkere suppletielagen dient ook meer rekening gehouden te worden met zetting van de ondergrond.
4. Lange afwateringsweg tussen de suppletie-elementen om sediment vast te houden	Het verdient aanbeveling om dit over te nemen en de ontwerprijimte hier nog meer toe te benutten. Aangezien er onvoldoende kennis is over hoe dit precies werkt, kan/moet dit concept verder ontwikkeld worden. Mogelijk draagt dit concept ook bij aan het langer vast houden van water op de plaat (ten bate van de ecologie).
5. "Holle" suppleties om het water vast te houden	Omdat ecologisch herstel van suppleties vele jaren duurt, en het vochtgehalte een belangrijke parameter is voor rekolonisatie van bodemdieren verdient het nadrukkelijke aandacht om de ontwerpen met dergelijke concepten ecologisch te verrijken. Het vochtgehalte wordt ook in belangrijke mate bepaald door het type sediment, waarbij fijn/slibrijker sediment meer vocht kan vasthouden.
6. Bodemhelling van orde 1/40-1/70	Het is verstandig om expliciet rekening te houden met bodemhellingen tijdens het suppletie-ontwerp. Hierbij moet een balans worden gezocht tussen enerzijds flauwe hellingen die gunstiger zijn voor de rekolonisatie van bodemdieren en de foerageerfunctie (zie ook opmerking bij ontwerpprincipe 2), en steile hellingen waardoor de voetafdruk en de bedelving van de bodemdieren kleiner is. Een helling van orde 1/40-1/70 was uitvoerbaar bij de Roggenplaat suppleties en kan als eerste uitgangspunt worden genomen maar is niet leidend.
7. Sedimentsamenstelling suppletie zo veel als mogelijk hetzelfde als op de plaat	De samenstelling van suppletie-sediment is zeer belangrijk voor de ecologische ontwikkeling, mede omdat dit het vochtgehalte van de bodem beïnvloedt. Suggestie is om een proef te doen waarbij fijn sediment afkomstig van de vaargeul en havenonderhoud wordt toegevoegd aan het suppletie-sediment wat typisch grover is dan het plaat-eigen sediment. Om vertroebeling te voorkomen, moet niet te veel fijn sediment worden toegevoegd. De natuurlijke sedimentsamenstelling van het te suppleren intergetijdengebied is een goede indicatie van het geschikte gehalte bij te mengen fijn sediment. Er valt mogelijk ook winst te halen in de winning en het transport van het sediment, i.e. zorgen dat er in dit proces zo min mogelijk fijn/slibrijk sediment verloren gaat. Expertise van uitvoerende partijen moet worden benut om tot een uitvoerbaar proces te komen. Benadrukt wordt dat de haalbaarheid van een dergelijke proef eerst nog moet

	worden aangetoond, ook om ongewenste neveneffecten te voorkomen.
8. Ecologische priming	Het verdient aanbeveling om dit over te nemen. De toepassing op de Roggenplaat was nog van zeer experimenteel karakter en was slechts naast (i.p.v. op) één van de suppletie-elementen toegepast die bovendien zeer beschut lag. Om versnelling van rekolonisatie van bodemleven te bevorderen is het zinvol dit experiment in het Middengebied uit te breiden waarbij idealiter op verschillende suppleties met verschillende bodemliggingen/diktes kennis wordt opgedaan van de effectiviteit van dit concept. Met name hoge suppleties kunnen baat hebben bij priming omdat bodemleven daar langzamer op gang komt (paragraaf 3.3). Een beoordeling van de haalbaarheid van een dergelijke opschaling van dit principe verdient tijdens de ontwerpfase aandacht.
9. Reliëf binnen de suppletie	Hoewel bodemreliëf door de toename in morfologische diversiteit ecologisch van meerwaarde kan zijn, verdwijnt dit relatief snel na aanleg door natuurlijke uitvlakking van de suppleties. Op de Roggenplaat suppleties had het reliëf met een golflengte van orde 100 m en een golfhoogte van orde 20 cm na 2 jaar al driekwart van de golfhoogte verloren. Toch kan het waardevol zijn ruime aanlegmarges in het ontwerp op te nemen. Allereerst omdat dat de uitvoerbaarheid (en daarmee de kosten) ten goede kan komen. Daarnaast kan de ecologische meerwaarde op de lange termijn toch aanwezig zijn als het bodemreliëf in de eerste jaren de rekolonisatie van het bodemleven versnelt. Door het bodemleven op deze locaties te monitoren kan worden beoordeeld of dit het geval is (de Roggenplaat data geeft hier geen inzicht in).

4.5 Belangenafweging en locatiekeuze

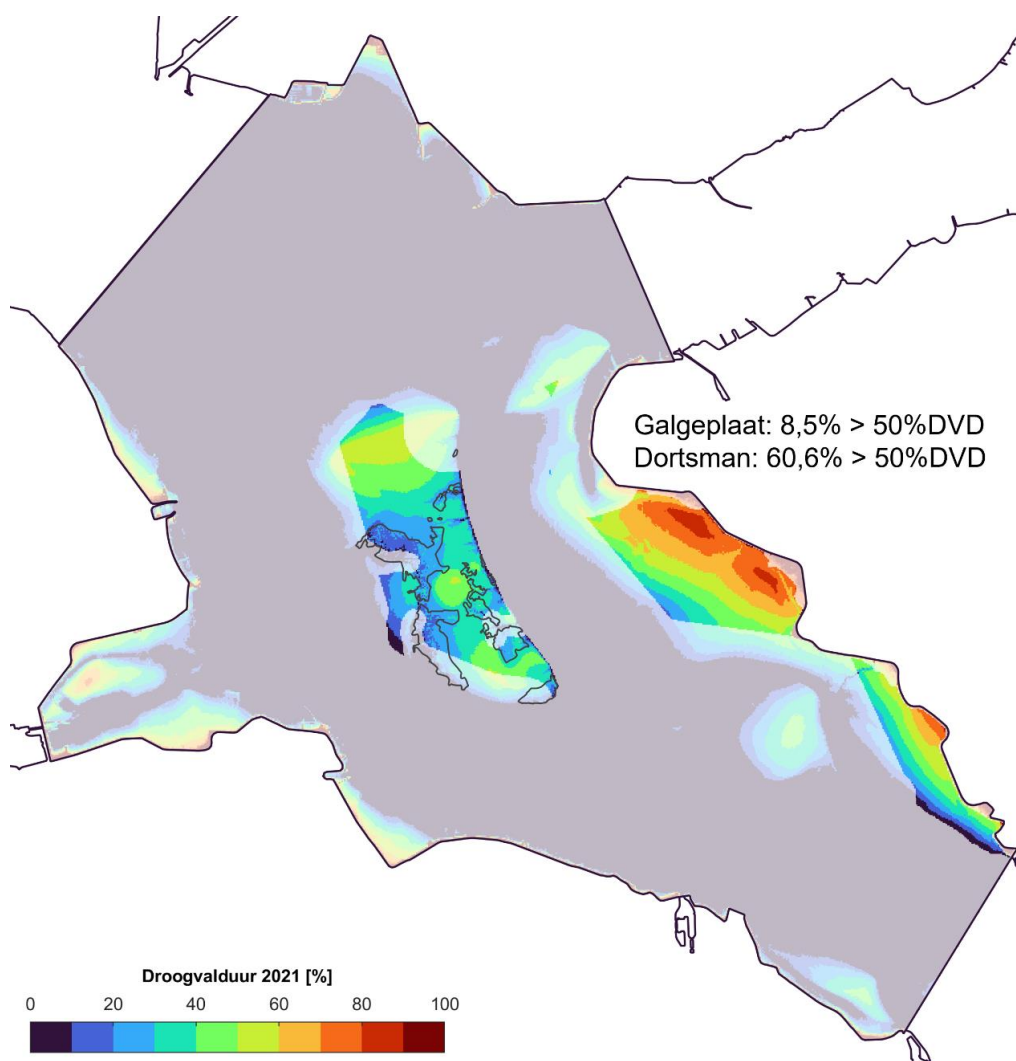
Op basis van de randvoorwaarden (paragraaf 4.3.2) heeft Rijkswaterstaat een geschiktheidskaart opgesteld. De gebieden die voor suppleren in aanmerking komen (de ontwerprijmte) zijn op basis van deze geschiktheidskaart in Figuur 4-1 weergegeven. Voor de Galgeplaat is het oppervlakte van dit gebied 439 ha exclusief de natuurlijke oesterriffen en 538 ha inclusief de natuurlijke oesterriffen (Figuur 4-1). Voor de Dortsman betreft de suppletieruimte 561 ha. De locatiekeuze zal onderhevig zijn aan een belangenafweging.

Bijvoorbeeld, de 100 ha aan natuurlijke oesterriffen beperken de suppletieruimte op de Galgeplaat sterk, ook omdat deze verspreid liggen over de plaat (Figuur 4-1). Het is daarom waarschijnlijk niet realistisch om het uitsluiten van natuurlijke oesterriffen strikt als randvoorwaarde te handhaven (paragraaf 4.3.2). Echter wordt wel aanbevolen om een deel van de riffen te sparen (idealiter de meest waardevolle) omdat deze morfologisch stabiel of groeiende zijn, en daarmee klimaatrobuust (meegroeiend met de zeespiegelstijging). Tevens herbergen ze een unieke biodiversiteit (paragraaf 3.4.4). Bij de weging tussen de verschillende suppletievarianten dient daarom het al dan niet (gedeeltelijk) suppleren van de natuurlijke riffen te worden meegewogen tijdens de besluitvorming. Mochten de riffen gedeeltelijk worden gesuppleerd, worden idealiter de meest waardevolle riffen vermeden. Om dat te bereiken, zou tijdens de ontwerpfase een waardeoordeel kunnen worden gevraagd van een onderzoeker binnen het WOT programma (wettelijke onderzoekstaken op het gebied van visserij) waarbinnen de monitoring van deze riffen momenteel loopt.

De morfologische en ecologische karakteristieken van de Slikken van den Dortsman en de Galgeplaat verschillen substantieel (Hoofdstuk 3). Dit heeft implicaties voor de locatiekeuze van de suppleties. De Slikken van den Dortsman ligt bijvoorbeeld substantieel hoger dan de Galgeplaat: ruim 60% van de suppletieruimte van de Slikken van den Dortsman lag in 2021 nog boven een 50% droogvalduurwaarde (lage delen zijn daar hoofdzakelijk uitgesloten door de nabije percelen). Deze hoge bodemligging resulteert in een ander vogelgebruik van dit

gebied (paragraaf 3.2). Hoewel geredeneerd kan worden dat er voor de Dortsman door de hogere ligging minder noodzaak is voor een suppletie dan op de Galgeplaat, is het niet verstandig om de Dortsman op voorhand uit te sluiten. Een suppletie langs de dijk van de Slikken van den Dortsman de enige mogelijkheid om te voldoen aan de tweede doelstelling (voorkomen van een ongewenste golfaanval op de kust; paragraaf 4.2.2). Verder kan een gedeeltelijke suppletie op de Slikken van den Dortsman de verstoring van de Galgeplaat doen verminderen en helpt dit de foerageerfunctie van de Slikken van den Dortsman langer te behouden. Overwogen kan worden om te faseren, door bijvoorbeeld eerst de Galgeplaat te suppleren en bijvoorbeeld 5-10 jaar later de Dortsman. Echter, een dergelijke fasering strookt niet met de tijdslijn in de huidige resultaatverwachting van het project (paragraaf 4.2.1).

Het is essentieel om tijdens de ontwerpstudie de verschillende (ecologische) belangen en doelstellingen (ook die van de omgeving/stakeholders) een centrale rol te geven bij de weging van de suppletievarianten, in samenhang met de uitvoerbaarheid, haalbaarheid en duurzaamheid. Concessies op de primaire doelstelling (behoud foerageerfunctie) dienen voorkomen te worden of van zeer zwaarwegende argumenten te worden voorzien.



Figuur 4-1. Potentiële suppletiegebieden die in het Middengebied resulteren als de randvoorwaarden van paragraaf 4.3.2 gevolgd worden. Op de achtergrond zijn de droogvalduurwaarden van de intergetijdengebieden weergegeven (op basis van de 2021 hoogteligging). Uitgesloten gebieden zijn transparant weergegeven. Op de Galgeplaat zijn de natuurlijke oesterriffen (100 ha) met de grijze lijnen aangegeven. Dit betreft een eerste uitwerking van de geschiktheidskaart zoals gemaakt en verstrekt door Rijkswaterstaat (Rutger Blok).

4.6 Suppletievolume

Een gegeven voor de ontwerpstudie is de hoeveelheid sediment dat voorzien is voor suppletie. Als gekeken wordt naar de achteruitgang van het Middengebied, is er sinds 1983 7,4 miljoen m³ verloren gegaan uit de 50-80% droogvalduurklasse. Daarnaast betekent verdrinking van de platen door zeespiegelstijging (oppervlakte intergetijdengebieden maal zeespiegelstijging) een verlies van orde 2 miljoen m³ in het Middengebied sinds de voltooiing van de kering in 1986. Voor al deze verliezen compenseren is niet de visie van het suppletiebeleid in de Oosterschelde, de focus ligt op het behoud van de foerageerfunctie van de kerngebieden (De Ronde et al., 2013). Concreet is, net als voor de Roggenplaat suppletie, budget maatgevend voor de bovengrens van het suppletievolume. Rijkswaterstaat schat deze bovengrens momenteel op 2-3 miljoen m³ (logsicherwijs onderhevig aan complexiteit uitvoering en onzekerheden). Uiteindelijk staat het behalen van de doelstellingen voorop, wat beoordeeld moet worden tijdens de ontwerpstudie.

4.7 Erosie-remmende maatregelen

In aanvulling op suppleren kunnen erosie-remmende maatregelen worden ingezet ter facilitering van de projectdoelstellingen. Gedacht kan bijvoorbeeld worden aan de aanleg van kunstmatige oesterriffen om erosie lokaal te beperken, zoals toegepast bij de Oesterdam suppletie (Boersema et al., 2018). Dergelijke riffen zorgen voor een stabilisatie van de achtergelegen bodem en voor een verrijking van de soortenrijkdom van het bodemleven in de directe omgeving (relevant voor de vogels). Wel is het toepassingsgebied van natuurlijke riffen beperkt tot een droogvalduur van 33% (paragraaf 3.4) omdat oesters alleen in de lage droogvalduurklassen leven. Bij de Roggenplaat zijn hierdoor oesterriffen niet ingezet (droeg niet bij aan de 50-80% droogvalduurindicator). Met de aanvullende overwegingen uit paragraaf 4.3.2 is de inzet van oesterriffen in het Middengebied daarentegen niet op voorhand uitgesloten. Hoewel deze waarschijnlijk niet de erosie van hoog gelegen suppleties zullen verminderen, zouden wij wel meerwaarde zien bij het verminderen van de erosie van bijvoorbeeld de sterk erosieve noordelijke plaatranden (paragraaf 3.1.7). De ontwerpstudie moet uitwijzen of de meerwaarde van erosie-remmende maatregelen voor de doelstellingen opweegt tegen de risico's en het benodigd budget (gaan inherent ten koste van suppletievolume) van een dergelijke ingreep.

4.8 Maakbaarheid en uitvoerbaarheid

Benadrukt is dat de maakbaarheid van het foerageerhabitat in de Oosterschelde niet vanzelfsprekend is. Het is bijvoorbeeld niet gezegd dat vogels gebruik maken van suppleties als alleen de gewenste droogvalduurhoogten gecreëerd zijn (paragraaf 3.2). Het is wel een indicator voor de meerwaarde voor vogels, maar bijvoorbeeld ook het watergehalte in de bodem (mede afhankelijk van de korrelgrootte van het sediment) heeft sterke invloed op de rekolonisatiesnelheid van het bodemleven (paragraaf 3.3) en daarmee het vogelgebruik.

Ook de uitvoerbaarheid van de suppletie is niet triviaal. Bijvoorbeeld, de Natuurimpuls suppletie in de kom van de Oosterschelde (Ysebaert et al., 2020) werd tijdens de uitvoering gestaakt omdat de draagkracht van de ondergrond ontoereikend bleek (ondanks vooronderzoek). Voor het Middengebied is hiertoe een bureaustudie uitgevoerd naar de draagkracht en begaanbaarheid van het projectgebied (Geonius, 2023). Adviezen in dit hoofdstuk geven reeds een leidraad voor de ontwerpstudie, binnen de ontwerpstudie dienen de ecologische meerwaarde en uitvoerbaarheid van de ontwerpen nader geborgd te worden.

5 Synthese

Dit hoofdstuk geeft een synthese van deze voorstudie. De kennisbasis van de eco-morfodynamiek van het Middengebied is in paragraaf 5.1 samengevat. In paragraaf 5.2 wordt ingaan op de suppletiecyclus in de Oosterschelde en zijn de belangrijkste kennisleemtes in dit kader uiteengezet. Vervolgens zijn op basis van de kennisbasis van het Middengebied en de eerdere suppleties in de Oosterschelde in paragraaf 5.3 de aanbevelingen samengevat voor het ontwerpproces van de aanstaande suppletie in het Middengebied. Tot slot zijn in paragraaf 5.4 aanbevelingen geven voor het overkoepelende suppletieonderzoek in de Oosterschelde zodat opvolgende suppleties steeds doelmatiger kunnen worden ontworpen.

5.1 Eco-morfodynamiek van het Middengebied

Het areaal intergetijdengebied in het Middengebied bestaat uit de Slikken van den Dortsman (1277 ha), Galgeplaat (847 ha) en overige delen (582 ha) op basis van bodemgegevens uit 2021. De Dortsman ligt gemiddeld 30 cm hoger dan de Galgeplaat. Het areaal dat tussen de 50-80% van de tijd droogvalt is met 347 ha op de Dortsman dan ook veel groter dan de 81 ha op de Galgeplaat, zowel in absolute als relatieve zin. De Galgeplaat beslaat grote gebieden die vlakker zijn dan 1/1000 (relevant voor het vogelgebruik), met uitzondering van de plaatranden. Met name de relatief steile oostkant bevat verscheidene kreken. De Dortsman bevat grote delen die flauwer zijn dan 1/500 maar is gemiddeld genomen wel steiler dan de Galgeplaat.

De gemiddelde hoog- en laagwaterstand zijn NAP+1,60 m en NAP-1,29 m, respectievelijk (meetlocatie Stavenisse; 2022). De wind komt dominant uit het zuidwesten, maar de grootste golven komen voor een groot deel van het Middengebied uit het noordwesten en zuidoosten vanwege de grotere strijklengte. De gemiddelde piekstromsnelheden op de intergetijdengebieden zijn typisch 0,3-0,4 m/s. Met name op de Galgeplaat (in mindere mate op de Dortsman door de aanwezigheid van de dijk) is wind-gedreven stroming relevant voor de morfologische ontwikkelingen tijdens stormen, vergelijkbaar als waargenomen op de Roggenplaat.

De Galgeplaat en de Dortsman waren al lang voor de aanleg van de Oosterscheldekering (1986) onderhevig aan significante morfologische veranderingen, zoals bijvoorbeeld erosie van de noordelijke plaatrand van de Galgeplaat. Tussen 1983 en 2021 is er 9,9 miljoen m³ zand geërodeerd uit de 20-80% droogvalduurklasse van alle intergetijdengebieden in het Middengebied, en dan met name uit de hogere delen. Na een periode van erosie, heeft het 20-50% droogvalduurgebied het laatste decennium een relatief stabiele bodemligging. De gemiddelde erosietrend voor de periode 2010-2022 bedraagt op basis van de gemeten profielen 0,8 cm/jaar voor de Dortsman, 0,4 cm/jaar voor de Galgeplaat en 0,6 cm/jaar voor het Middengebied als geheel.

De Galgeplaat, Dortsman en Zandkreek zijn belangrijke foerageergebieden in het Middengebied met gemiddeld zo'n 20.000 benthos-etende vogels per teldag. De hoogste aantallen vogels foerageren op de Slikken van den Dortsman, tevens het gebied met het grootste oppervlakte, en verplaatsen zich onder andere naar de Galgeplaat bij afgaand tij. Binnen de gebieden varieert het aantal foeragerende vogels in de ruimte en tijd met hogere dichtheden op het noordwestelijke deel van de Galgeplaat bij laagwater en achter de in zuidwestelijke richting terugtrekkende waterlijn op de Slikken van den Dortsman.

De ontwikkeling van bodemdiergemeenschappen – waaronder vele prooi-soorten voor vogels – is sterk afhankelijk van de droogvalduur met de hoogste biomassa's waargenomen tussen de 20 en 60% droogvalduur. Ook de sedimentsamenstelling speelt een rol bij het voorkomen van bodemdiersoorten waarbij de meeste wormen en schelpdieren een voorkeur hebben voor slibrijke bodems. Hierin speelt mee dat de negatieve invloed van een grotere korrelgrootte op het waterretentievermogen van de bodem (en daarmee het vochtgehalte bij laagwater) de geschiktheid van het sediment voor bodemdieren negatief kan beïnvloeden.

Op de Galgeplaat hebben de oesterriffen zich over de laatste 20 jaren ontwikkeld tot een totaal oppervlak van ca. 100 ha. Bodembedekkende en op elkaar aangehechte schelpen in afwisseling met open ruimtes met slijk en poeltjes vormen een nieuwe biotoop waar andere bodemdiersoorten zich kunnen vestigen. De opstapeling van de groeiende schelpen en het neerslaan van sediment tussen deze structuren zorgt voor de verticale groei van riffen die groter is dan de huidige zeespiegelstijging.

De eco-morfodynamiek van het Middengebied, in het bijzonder de Galgeplaat, vertoont sterke gelijkenissen met die van de Roggenplaat. Er zijn ook verschillen, zoals:

- De Galgeplaat ligt ongeveer een halve meter lager dan de Roggenplaat (nog vóór suppleren). Terwijl op de Galgeplaat in 2021 “maar” 81 van 847 ha (10%) van het intergetijdengebied 50-80% van de tijd droogvalt, is dit 595 van de 1440 ha (41%) voor de Roggenplaat (situatie 2019; zie Walles et al., 2021).
- De suppleties die in 2019 op de Roggenplaat zijn aangelegd, en dan met name de 3 zuidelijke elementen, eroderen een stuk sneller (met name in het eerste jaar na aanleg lokaal meer dan 10 cm; Walles et al., 2021) dan de 2008 Galgeplaat suppletie (tot enkele centimeters per jaar net als de noordelijke suppleties op de Roggenplaat). Deze grotere morfodynamiek van het zuidelijke deel van Roggenplaat is mede te verklaren door de grotere strijklengte voor wind uit de dominante, zuidwestelijke richting.
- Het aantal benthos-etende vogels op de Roggenplaat komt redelijk overeen met het totale aantal in het hele Middengebied (gemiddelde maximale aantallen tussen 15.000 en 20.000 per teldag). Belangrijk verschil is dat de Roggenplaat – door de hogere bodemligging – gebruikt wordt door vogels in de periode 6-4 uur vóór laagwater wat niet het geval is voor de lagere Galgeplaat die in deze periode nog onder water staat.
- De biomassa aan schelpdieren (kokkels en zandgapers) zijn maximaal bij 20-60% droogvalduur op zowel de Roggenplaat als de Galgeplaat maar op de Roggenplaat zijn ook hoge waarden gevonden op de lagere delen van de plaat (0-20% droogvalduur).

5.2 Suppleren in de Oosterschelde

Door het ontwerpen, aanleggen en monitoren van 4 (proef)suppleties op intergetijdengebieden in de Oosterschelde sinds 2008 is er een kennisbasis opgebouwd die bijdraagt aan het ontwerp van de aanstaande suppletie in het Middengebied.

De metingen sindsdien wijzen erop dat de verwachte levensduur van deze suppleties (substantieel) meer dan 10 jaar bedraagt (in lijn met de beoogde levensduur voor de Roggenplaat suppletie), en dat de grootste zandverplaatsingen optreden tijdens stormen. Het bodemleven rekoloniseert voor een groot deel in de eerst ~3 jaar na aanleg, al is van volledig herstel dan nog geen sprake. Foeragerende vogels die langere tijd gevolgd zijn na suppleties op de Roggenplaat, vermijden zandsuppleties na aanleg voor enige tijd, maar maken na ~3 jaar weer deels gebruik van deze locaties, al dan niet op een ander moment van het getij.

Een belangrijke kanttekening is dat het aantal bestudeerde suppleties (4) en de duur van de monitoring (doorgaans 5 jaar) beperkt is, zeker gezien de tijdschaal van de morfologische ontwikkeling en het ecologische herstel. Ook met de aanstaande suppletie in het Middengebied kan waardevolle nieuwe kennis worden verkregen die bijdraagt aan de suppletiecyclus in de Oosterschelde.

De belangrijkste kennisleemtes van suppleren in de Oosterschelde zijn in dit kader:

1. Met de suppleties worden verschillende vogelsoorten bediend die verschillende habitatvoorkeuren hebben (bijvoorbeeld wat betreft dieet en morfologische karakteristieken). Hoewel onderscheid tussen vogelsoorten in bepaalde mate al duidelijk is (paragraaf 3.2.3), is dit nog onvoldoende basis om in het ontwerp volledig op te differentiëren. Bovendien verschilt habitat en dieet per gebied (paragraaf 3.2.3) en daarom zou een studie naar habitatgebruik en dieet van de verschillende vogelsoorten in de Oosterschelde een grote meerwaarde hebben.
2. Ondanks dat het hoofdoel van de suppletie het behoud van de foerageerfunctie van het Middengebied voor vogels is, is er nog weinig bekend over hoe zo'n functioneel foerageergebied effectief gevormd moet worden. Daarvoor moeten de fysische eigenschappen van bestaande (natuurlijke) foerageergebieden beter in kaart worden gebracht zoals morfologie (helling, vorm), invloed van stroming en golven, korrelgrootte (in relatie tot waterretentievermogen bij laag water) en aanwezigheid van schelpengruis.
3. Het gebruik van fijner/slibrijker suppletie-materiaal, bijvoorbeeld afkomstig van de onderhoud van havens en vaargeulen. De vraag is hoe een dergelijke suppletie aangelegd kan worden, wat dit betekent voor de vertroebeling, en hoe de sedimentsamenstelling de levensduur en het ecologische herstel beïnvloedt.
4. De sedimenttransporten, in het bijzonder de verspreiding van het gesuppleerde sediment. De peilingen (in het bijzonder de LIDAR-opnamen) laten zien hoe de bodem van de suppletie en haar directe omgeving veranderen, maar niet wat de onderliggende sedimenttransportpatronen zijn. Het is met name van belang om te weten hoe de verspreiding van het gesuppleerde sediment verloopt, bijvoorbeeld hoeveel sediment er na erosie op de plaat blijft en hoeveel er naar de geul wordt getransporteerd.
5. Met numerieke modellen als Delft3D/D-HYDRO kan de langjarige (~1-20 jaar) morfologische ontwikkeling van (gesuppleerde) intergetijdengebieden nog niet in afdoende detail worden voorspeld. Bij het ontwerp van de Roggenplaat suppletie bleek dat een variatie in modelinstellingen tot substantiële veranderingen in ontwikkelingen resulteren (Van der Werf et al., 2016b). Dergelijke proces-gebaseerde modellen kunnen in potentie een belangrijke bijdrage leveren aan het ontwerpen en begrijpen van suppleties.
6. Tijdens hittegolven kan er schelpdierensterfte optreden in intergetijdengebieden. In verband met klimaatverandering en het daarmee vaker voorkomen van hittegolven, is het relevant om bij het ontwerpen van een suppletie over meer kennis te beschikken over hoe droogvalduur (hoogteligging) en sedimentsamenstelling het risico op schelpdierensterfte beïnvloeden. Dit om schelpdierensterfte op suppleties waar mogelijk te beperken.

5.3 Aanbevelingen ten aanzien van de ontwerpstudie suppletie Middengebied

5.3.1 Ontwerpproces

Wij adviseren om het proces zoals gevolgd bij de Roggenplaat suppletie van 2019 als startpunt te nemen voor het ontwerp van de suppletie in het Middengebied. In het bijzonder bevelen we aan om de volgende punten over te nemen:

- maak gebruik van een brede kennisbasis en diverse experts waarbij de regie bij één partij ligt,
- werk van grof naar fijn met voldoende tijd voor interacties en workshops. Inbedding in de omgeving vergt speciale aandacht en het is dan ook essentieel om tijdens het ontwerpproces in dialoog te gaan met omgeving (omgevingsmanagement),
- start vanuit de eco-morfologische systeembeschrijving zoals gepresenteerd in Hoofdstuk 3,
- vertaal de doelstellingen naar een afwegingskader met (zo veel mogelijk) kwantificeerbare, onderscheidende en met voldoende zekerheid te bepalen indicatoren,
- maak een geschiktheidskaart om ongeschikte plaatdelen op voorhand uit te sluiten,
- richt een monitoringscampagne in om de suppletie te kunnen evalueren en kennis te kunnen doorontwikkelen. Om schade aan aangrenzende mosselpercelen uit te sluiten, kan een specifieke risicomonitoring (Wijsman, 2023) een effectief middel zijn.

5.3.2 Doelstellingen en indicatoren

Ten aanzien van de eerste, centrale doelstelling (“behoud van de foerageerfunctie”) is het belangrijk om te realiseren dat het niet mogelijk is om middels suppleties instantaan een geschikt foerageergebied aan te leggen waarbinnen het aantal vogels behouden blijft. Dit moet natuurlijk ontstaan. Het bodemleven op de suppleties moet zich eerst herstellen wat een aantal jaren in beslag neemt. Deze rekolonisatie kan mogelijk gestimuleerd worden door ecologische priming en het bijmengen van fijn sediment (gebruik van te grof sediment kan de rekolonisatie sterk in de weg staan). Hier is beperkt ervaring mee en kennis van, en daarom bevelen we aan om een aantal proeven uit te voeren in het kader van de Middengebied-suppletie (zie ook paragraaf 5.3.5).

Anders dan bij de Roggenplaat zou ervoor gekozen kunnen worden om de doelstelling “voorkomen van een ongewenste golfaanval op de kust” expliciet mee te nemen in het ontwerp van de suppleties in het Middengebied. Dan moet het sediment wel hoog in het profiel tegen de dijk rondom de Slikken van den Dortsman aangelegd worden, en moet er rekening gehouden worden met mogelijk beperkte ecologische meerwaarde en negatieve neveneffecten zoals verstuiving en recreatie als versturende factor voor vogels.

Net zoals bij de Roggenplaat-suppletie zal de derde doelstelling, i.e. kennisontwikkeling, beperkt onderscheidend en daardoor minder geschikt zijn om een keuze tussen verschillende suppletie-ontwerpen te maken. Dit betekent niet dat dit niet een onderdeel moet zijn van de Middengebied-suppletie. Integendeel: het is juist belangrijk om de kennisbasis te verbreden en te verdiepen in het licht van toekomstige Oosterschelde-suppleties, zoals in de Kom. We bevelen aan om in het ontwerp, de aanleg en de monitoring ruimte te maken voor innovaties en het evalueren daarvan, zoals bijvoorbeeld middels de pilots beschreven in paragraaf 5.3.5.

In de Roggenplaat ontwerpstudie is het areaal met een droogvalduur van 50-80% als belangrijkste indicator gebruikt voor de ecologische doelstelling. We adviseren deze te gebruiken voor een eerste ontwerp van de suppletie in het Middengebied. Daarna kan de ecologische meerwaarde van het ontwerp waar mogelijk worden verhoogd met de voorgestelde ontwerpprincipes (paragraaf 4.4) en oordelen van experts. In deze

optimalisatieslag kan worden afgeweken van de 50-80% droogvalduurindicator als dat het foerageersysteem ten goede komt, bijvoorbeeld in het geval van een hoogwatervluchtplaats.

Daarnaast adviseren we de draagkracht van het foerageersysteem van het gehele Middengebied te beschouwen. De suppletie zelf zorgt namelijk voor een tijdelijke achteruitgang in foerageerhabitat die opgevangen moet kunnen worden door de niet-gesuppleerde gebieden. Gezien het feit dat de maakbaarheid van foerageerhabitat beperkt is, is een expert-beoordeling van de suppletievarianten op de ecologische meerwaarde essentieel. Ook om te voorkomen dat met de vertaalslag van de doelstelling naar indicatoren ecologische kansen gemist worden. Het ecologisch functioneren van het Middengebied moet hoe dan ook voorop staan.

5.3.3 Randvoorwaarden voor opstellen uitsluitingsgebieden

Om negatieve neveneffecten van de suppletie vooraf zoveel mogelijk uit te sluiten kunnen de randvoorwaarden die tijdens het ontwerpproces van de Roggenplaat-suppletie zijn ontwikkeld grotendeels worden overgenomen. Deze kunnen vervolgens gebruikt worden voor het maken van een geschiktheidskaart. Het op voorhand uitsluiten van suppleren op natuurlijke oesterriffen op de Galgeplaat is mogelijk te restrictief. Daarom bevelen we aan om te overwegen om dit niet als een randvoorwaarde, maar als een criterium te beschouwen.

5.3.4 Ontwerpprincipes

Ook de Roggenplaat-suppletie ontwerpprincipes zijn grotendeels toepasbaar voor het Middengebied met de volgende aanbevelingen:

1. *Diversiteit in aanleghoogte van de suppletie-elementen.* Naast aanleghoogte vooral ook de ecologische meerwaarde van de suppletieranden in ogenschouw nemen.
2. *Bodemhelling.* Er moet een balans worden gezocht tussen enerzijds flauwe hellingen die gunstiger kunnen zijn voor rekolonisatie van bodemdieren en de foerageerfunctie, en steile hellingen waardoor de voetafdruk en de bedelving van de bodemdieren kleiner is.
3. *Reliëf binnen de suppletie.* Het toestaan van marges bij de aanleg kan gunstig zijn voor de uitvoerbaarheid en kosten, en het herstel van het bodemleven. Tegelijkertijd verdwijnen bodemoneffenheden relatief snel na aanleg. Het verdient aanbeveling om met monitoring op te volgen hoe reliëf bijdraagt aan rekolonisatie, voordat de bodem uitgevlakt is. Dit vergt (ecologische) monitoring van de toppen en dalen van het reliëf.

5.3.5 Pilot-experimenten

Hoewel de suppletie in het Middengebied – net als de Roggenplaat suppletie van 2019 – formeel geen pilotstatus meer heeft, is er nog steeds noodzaak om de suppletie te blijven verrijken met pilot-experimenten. Dit om het behalen van de doelstellingen verder te faciliteren en om de kennis van suppleren te vergroten (zie ook paragraaf 5.2).

In deze voorstudie is het belang van de volgende pilot-experimenten onderschreven:

1. *Bijmengen met fijn sediment* (in het kader van ontwerpprincipe 7; paragraaf 4.4). Door te variëren in korrelgrootte/slibgehalte tussen verschillende suppletiedelen kan bovendien geleerd worden hoe deze sedimentkarakteristieken de rekolonisatie en het foerageergedrag sturen, ook in relatie tot het vochtgehalte in de bodem;
2. *Priming* (in het kader van ontwerpprincipe 8; paragraaf 4.4);
3. Elk van de aanpassingen van de ontwerpprincipes vermeld in paragraaf 4.4 omdat de optimale uitvoering van deze principes nog niet bekend is;

Tijdens de ontwerpfasen moeten deze (en mogelijk aanvullende) pilot-experimenten worden uitgewerkt, en moet worden beoordeeld hoe deze in te passen zijn in het ontwerp (beoordeling haalbaarheid). Het opvolgen van de gerealiseerde pilots met monitoring is essentieel om voor toekomstige suppleties de werking van deze concepten te kunnen aanscherpen. Juist door

suppletie-elementen met verschillende toepassingen van deze concepten te vergelijken (bijvoorbeeld priming op erosieve versus stabiele suppleties) is er de mogelijkheid om te leren van waar dergelijke concepten het meest effectief zijn. Het is aan te bevelen om tijdens de ontwerpfase aanvullende innovatieve ontwerpprincipes te verkennen (b.v. toepassing van zeegras).

5.4 Project-overstijgend suppletieonderzoek in de Oosterschelde

De focus van deze voorstudie lag op de aanstaande suppleties in het Middengebied van de Oosterschelde. Benadrukt wordt dat deze suppletie onderdeel uitmaakt van een doorgaande suppletie-cyclus in de Oosterschelde waarbinnen ook al een opvolgende suppletie is voorzien (in de Kom van de Oosterschelde; 3^e tranche PAGW). Hoewel er nu een gedegen basis ligt om te suppleren in het Middengebied, blijft er noodzaak voor kennisontwikkeling van zinvol ecologisch suppleren in de Oosterschelde.

Om sturing te geven aan verdere stappen in deze noodzakelijke kennisontwikkeling, zijn de volgende aanbevelingen voor project-overstijgend suppletieonderzoek in de Oosterschelde geformuleerd die invulling geven aan de belangrijkste kennisleemtes zoals geformuleerd in paragraaf 5.2:

1. Het ecologisch herstel (rekolonisatie van bodemleven en de terugkeer van vogels) blijkt in de voorgaande suppletieprojecten niet vanzelfsprekend en wordt nog niet voldoende begrepen. Dit is een van de meest fundamentele kennisleemtes voor de suppletiepraktijk in de Oosterschelde. Het is sterk aan te bevelen om ook met de suppletie in het Middengebied in deze kennisontwikkeling te voorzien (doelstelling 3; paragraaf 4.2.3). Concreet vergt dit een definitie van prioritaire kennisvragen (gefocusd op de beheervragen/-doelstellingen) die middels monitoring worden opgevolgd. Hier is ook een belangrijke rol weggelegd voor het verbeteren van het begrip van de sedimenttransporten en morfologische ontwikkelingen omdat de voorspelbaarheid daarvan (ook met morfologische modellen) nog beperkt is. Met deze kennisontwikkeling en verbetering van modellen kunnen suppleties steeds doelmatiger worden ontworpen;
2. Deze kennismonitoring (in aanvulling op de evaluatiemonitoring) volgt de monitoring van voorgaande suppletieprojecten op. Deze PAGW-monitoringsprogramma's zijn steeds projectgebonden met een looptijd van 5 jaar. Er is reden om deze PAGW-monitoringsprogramma's in de Oosterschelde strategisch te verbinden binnen een overkoepelend Oosterschelde-breed monitoringsprogramma. Dit biedt meer structuur en leidt tot een meer integrale beantwoording van relevante beleids-/kennisvragen. Bovendien biedt een dergelijk programma kansen om suppleties parallel te monitoren (vergelijking tussen suppleties) en voor langere perioden (ecologische en morfologische ontwikkelingen duren vaak langer dan 5 jaar);
3. Het huidige suppletiebeleid in de Oosterschelde is gestoeld op de vogelkerngebieden en probleemstelling zoals gedefinieerd in de ANT (Autonome Neerwaartse Trend) studie (De Ronde et al., 2013). Inmiddels is er veel nieuwe kennis vergaard, mede met deze suppletieprojecten. Het is zinvol om – bijvoorbeeld in het kader van de voorziene suppletie in de Kom van de Oosterschelde – de ANT studie te actualiseren met de nieuwste inzichten en vooruitzichten (ook puttend uit Zandvoort et al., 2019).

Literatuur

- AlRashidi, M., 2010. Breeding ecology and conservation of the Kentish Plover in Saudi Arabia. PhD thesis - Univ. Bath.
- 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.
- Boersema, M. P., van der Werf, J., de Paiva, J. N. S., van den Brink, A. M., Soissons, L., Walles, B., Bouma, T.J., de Vet, P.L.M., de Jong, D., 2018. Oosterschelde sand nourishment: Ecological and morphological development of a local sand nourishment. Centre of Expertise Delta Technology.
- 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.
- Colosimo, I., de Vet, P.L.M., van Maren, D.S., Reniers, A.J.H.M., Winterwerp, J.C., van Prooijen, B.C., 2020. The Impact of Wind on Flow and Sediment Transport over Intertidal Flats. *J. Mar. Sci. Eng.* 2020, Vol. 8, Page 910 8, 910.
- Colwell, M.A., Landrum, S.L., 1993. Nonrandom shorebird distribution and fine-scale variation in prey abundance. *Condor* 95, 94–103.
- Coosen, J., Seys, J., Meire, P. M., Craeymeersch, J., A., M., 1994. Effect of sedimentological and hydrodynamical changes in the intertidal areas of the Oosterschelde estuary (SW Netherlands) on distribution, density and biomass of five common macrobenthic species: *Spio martinensis* (Mesnil), *Hydrobia ulvae* (Pennant), *Arenicola marina* (L.), *Scoloplos armiger* (Muller) and *Bathyporeia* sp.
- Degraer, S., Verfaillie, E., Willems, W., Adriaens, E., Vincx, M. en van Lancker, V., 2008. Habitat suitability modelling as a mapping tool for macrobenthic communities: An example from the Belgian part of the North Sea, *Continental Shelf Research* 28 (3).
- Dekker, D.H.J., 2016. De verstoringsafstanden van rustende zeehonden op de Roggenplaat. Stagerapport, RWS/HZ (begeleiding: E. van Zanten en A. van den Brink) 2013/2014. RWS Centrale Informatievoorziening BM 15.08.
- De Ronde, J.G., Mulder, J.P.M., Van Duren, L.A., Ysebaert, T., 2013. Eindadvies ANT Oosterschelde, Deltares rapport 1207722-000-ZKS-0010. Delft.
- De Vet, P.L.M., Prooijen, B.C. van, Wang, Z.B., 2017. The differences in morphological development between the intertidal flats of the Eastern and Western Scheldt. *Geomorphology* 281, 31–42.
- De Vet, P.L.M., Van Prooijen, B.C., Schrijvershof, R.A., Van der Werf, J.J., Ysebaert, T., Schrijver, M.C., Wang, Z.B., 2018. The Importance of Combined Tidal and Meteorological Forces for the Flow and Sediment Transport on Intertidal Shoals. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 123, 2464–2480.
- De Vet, P.L.M., Van Prooijen, B.C., Colosimo, I., Steiner, N., Ysebaert, T., Herman, P.M.J., Wang, Z.B., 2020. Variations in storm-induced bed level dynamics across intertidal flats. *Scientific Reports* 10, 12877.
- 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.
- Drinkwaard, A.C., 1998. Introductions and developments of oysters in the North Sea area: a review. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 52, 301-308.
- Escaravage, V., T. Ysebaert, M. Bos en H. Hummel, 2003. Karakteristieken van het macrobenthos in de Oosterschelde in verband met actuele beheersvragen. Verworming?, Zandhonger en Steltlopers? Uitheemse versus Inheemse soorten?, NIOO-CEME Rapport 2003-06, ISSN Nummer 1381-6519, Nederlands Instituut voor Ecologie,

Yerseke.

- Friedrichs, C.T., 2011. Tidal Flat Morphodynamics: A Synthesis, in: Wolanski, E., McLuskyDonald (Eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Elsevier, Waltham, pp. 137–170.
- Garthe, S., Schwemmer, P., Paiva, V.H., Corman, A.-M., Fock, H.O., Voigt, C.C., Adler, S., 2016. Terrestrial and Marine Foraging Strategies of an Opportunistic Seabird Species Breeding in the Wadden Sea. *PLoS One* 11, 1–19.
- Geonius, 2023. Bureaustudie begaanbaarheid en zetting Zandsuppletie Galgeplaat en omgeving, GA230172.R01.V1.0.
- Gittings, T., O'Donoghue, P.D., 2012. The effects of intertidal oyster culture on the spatial distribution of waterbirds. Rep. Prep. Mar. Institute. Atkins, Cork.
- Granadeiro, J.P., Andrade, J., Palmeirim, J.M., 2004. Modelling the distribution of shorebirds in estuarine areas using generalised additive models. *J. Sea Res.* 52, 227–240.
- Hielkema, L., 2022. The effect of Climatic Pressure Factors on the Natura 2000 species in the Eastern Scheldt and Western Scheldt 1–68.
- Herbert, RJH, Davies, CJ, Bowgen, KM, Hatton, J, Stillman, RA. The importance of nonnative Pacific oyster reefs as supplementary feeding areas for coastal birds on estuary mudflats. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst.* 2018; 28: 1294– 1307.
- 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.
- Jentink R., Sinke, O., Pree, E., 2014. Cascadeproef Schelphoek - Voortgangsrapportage monitoring periode oktober 2013 tot en met december 2015. Rijkswaterstaat, afdeling CIV, Middelburg.
- Jentink, R. 2016. Ontwikkelingen suppletie Galgeplaat. Ontwikkelingen op basis van de metingen 2015 en 2016. Rijkswaterstaat Centrale Informatie Voorzieningen. Versienummer M151103488-01.
- Jentink, R. 2019. Opvolging Cascades Schelphoek: Korte memo hoogte ontwikkeling cascades Schelphoek. Memo, Rijkswaterstaat.
- Kala, Y., 2016. Wave attenuation over the Oesterdam tidal flat nourishment (Doctoral dissertation, Master thesis Delft University of Technology).
- Kleefstra, R., Hornman, M., Bregnballe, T., Frikke, J., Günther, K., Hällterlein, B., Körber, P., Ludwig, J., Scheiffarth, G., 2019. Trends of Migratory and Wintering Waterbirds in the Wadden Sea 1987 / 1988- 2016/2017. *Wadden Sea Ecosyst.* 1–68.
- Krijgsveld, K.L., Klaassen, B., van der Winden, J., 2022. Verstoring van vogels door recreatie. Literatuurstudie van verstoringsgevoeligheid en overzicht van maatregelen. Deel 1 hoofdrapport & deel 2 soortbesprekingen. 92.
- Maas, B. F., 2020. Feasibility of using sand nourishments to increase water safety in the Eastern Scheldt. Internship report Deltares project 11203741.
- Markert, A., Esser, W., Frank, D., Wehrmann, A., & Exo, K.-M., 2013. Habitat change by the formation of alien *Crassostrea*-reefs in the Wadden Sea and its role as feeding sites for waterbirds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 131, 41– 51.
- Moreira, F., 1999. On the use by birds of intertidal areas of the Tagus estuary: Implications for management. *Aquat. Ecol.* 33, 301–309.
- MIRT Verkenning Zandhonger Oosterschelde, 2013. Witteveen+Bos en Rijkswaterstaat, RW1809-28/holj2/211.
- Mu, T., Wilcove, D.S., 2020. Upper tidal flats are disproportionately important for the conservation of migratory shorebirds. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 287.
- Mulder, J.P.M., Louters, T., 1994. Changes in basin geomorphology after implementation of the Oosterschelde Estuary project. *Hydrobiologia* 282–283, 29–39.
- 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.
- Pree, E., 2012. Cascadeproef Schelphoek Voortgangsrapportage Monitoring t/m september

- 2012.
- 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.
- Rijkswaterstaat, 2015, Natura 2000 Deltawateren, Ontwerpbeheerplan 2015-2021, Oosterschelde.
- Rijkswaterstaat, 2022. Plan van aanpak planuitwerking suppleties Galgeplaat en omgeving, versie DEF, 1 december 2022.
- Rodriguez, A.B., Fodrie, F.J., Ridge, J.T., Lindquist, N.L., Theuerkauf, E.J., Coleman, S.E., Grabowski, J.H., Brodeur, M.C., Gittman, R.K., Keller, D.A., Kenworthy, M.D., 2014. Oyster reefs can outpace sea-level rise. *Nature climate change* 4, 493-497.
- Rosa, S., Granadeiro, J., P., Cruz, M., Palmeirim, J., M., 2007. Invertebrate prey activity varies along the tidal cycle and depends on sediment drainage: consequences for the foraging behavior of waders. *J Exp Mar Biol Ecol* 353: 35–44.
- 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 rekolonisatiesnelheid beïnvloeden.
- Schellekens, T., Ens, B., Ysebaert, T., 2013. Energiehuishouding van steltlopers en de effecten van verandering in foerageeropervlak op populaties. IMARES WUR, Rapp. C 067/13.
- Schwemmer, P., Garthe, S., 2011. Spatial and temporal patterns of habitat use by Eurasian oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) in the eastern Wadden Sea revealed using GPS data loggers. *Mar. Biol.* 158, 541–550.
- Smaal, A., Kater, B., Wijsman, J., 2009. Introduction, establishment and expansion of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Oosterschelde (SW Netherlands). *Helgoland Marine Research* 63, 75-83.
- Stichting Het Zeeuwse Landschap, DPM, 2016, 7-Eilandenplan: Duurzame en korte termijn maatregelen voor het behoud van kustbroedvogels in de Zuidwestelijke Delta.
- Stolte, W., Baart, F., Muis, S., Hijma, M.P., Taal, M., Bars, D. Le, Drijfhout, S., 2023. Zeespiegelmonitor 2022. Delft.
- Tjallingii, S.T., 1970. Habitatkeuze en gebruik van de kluut.
- Troost, K., & Ysebaert, T., 2011. ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds. (Report / IMARES Wageningen UR; No. C063/11). IMARES.
- Troost, K., van Asch, M., van den Ende, D., van Es, Y., Perdon, K.J., van der Pool, J., Suykerbuyk, W., van Zweeden, C., van Zwol, J., 2022. Schelpdierbestanden in de Nederlandse Kustzone, Waddenzee en zoute deltaxwateren in 2021, CVO Rapport 22.011.
- Vader, W., J., M., 1964. A preliminary investigation into the reactions of the infauna of the tidal flats to tidal fluctuations in water level. *Neth J Sea Res* 2: 189–222.
- Van den Berg, J. H., 1986. Aspects of sediment-and morphodynamics of subtidal deposits of the Oosterschelde (Netherlands). Rijkswaterstaat Communication 43, also Dissertation Utrecht University.
- Van der Kam, J., Ens, B., Piersma, T., Zwarts, L., 1999. Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Schuyt & Co, Haarlem, the Netherlands.
- Van der Kolk, H.J., Ens, B.J., Oosterbeek, K., Jongejans, E., van de Pol, M., 2022. The hidden cost of disturbance: Eurasian Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) avoid a disturbed roost site during the tourist season. *Ibis (Lond. 1859)*. 164, 437–450.
- Van der Meer, J., 1991. Exploring macrobenthos-environment relationship by canonical correlation analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 148, 1991. 105-120.
- Van der Werf, J., Boersema, M., Nolte, A., Schrijvershof, R., Stronkhorst, J., De Vet, L., Walles, B., Ysebaert, T. 2016a. Variantenstudie Roggenplaat suppletie. Centre of Expertise Delta Technology, Deltares rapport 1220324-000-ZKS-0008.
- Van der Werf, J., Boersema, M., Bouma, T., Schrijvershof, R., Stronkhorst, J., De Vet, L., Ysebaert, T. 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., Reinders, J., van Rooijen, A., Holzhauser, H., Ysebaert, T., 2015. Evaluation of a tidal flat sediment nourishment as estuarine management measure. *Ocean Coast. Manag.* 114, 77–87.
- Van der Werf, J.J., De Vet, P.L.M., Boersema, M.P., Bouma, T.J., Nolte, A.J., Schrijvershof, R.A., Soissons, L.M., Stronkhorst, J., Van Zanten, E., Ysebaert, T., 2019. An integral approach to design the Roggenplaat intertidal shoal nourishment. *Ocean Coast. Manag.* 172, 30–40.
- Van der Zee, E.M., van der Heide, T., Donadi, S., Eklöf, J.S., Eriksson, B.K., Olf, 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 Donk, S., 2022. Laagwatervogeltellingen van het middengebied van de Oosterschelde. Wageningen Univ. Res. Rapp. C079/22.
- Van Donk, S., Leopold, M., van den Ende, D., Keur, M., Asjes, A., 2023. De Filipijnse tapijtschelp als mogelijke voedselbron voor vogels in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Wageningen Univ. Res. Rapp. C004/23.
- Van Donk, S., Ysebaert, T., Tulp, I., 2020. Trends van steltlopers en andere benthos etende vogels in de Oosterschelde: 1987 – 2017/2018, Wageningen University & Research rapport C120/20.
- Van Kleunen, A., 1999. Verspreiding en habitatvoorkeur van eenden en steltlopers in Oosteren Westerschelde. Werkdoc. RIKZ/OS/2000.806X.
- Van Roomen, M., Nagy, S., Citegetse, G., Schekkerman, H., 2018. East Atlantic Flyway Assessment 2017: the status of coastal waterbird populations and their sites, Wadden Sea Flyway Initiative p/a CWSS, Wilhelmshaven, Germany, Wetlands International, Wageningen, The Netherlands, BirdLife International, Cambridge, United Kingdom.
- Van Zanten, E., Adriaanse, L.A., 2008. Verminderd getij: verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken. Middelburg.
- Vanoverbeke, J., van Ryckegem, G., 2015. Statistische analyse van het gebruik van het litoraal door steltlopers in de Westerschelde, Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.11358580). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- 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).
- Walles, B., Mann, R., Ysebaert, T., Troost, K., Herman, P.M.J., Smaal, A., 2015a. Demography of the ecosystem engineer *Crassostrea gigas*, related to vertical reef accretion and reef persistence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Walles, B., Salvador de Paiva, J., van Prooijen, B., Ysebaert, T., Smaal, A., 2015b. The ecosystem engineer *Crassostrea gigas* affects tidal flat morphology beyond the boundary of their reef structures. *Estuaries Coasts*, 1-10.
- Walles, B., Troost, K., Van den Ende, D., Nieuwhof, S., Smaal, A.C., Ysebaert, T., 2016a. From artificial structures to self-sustaining oyster reefs. *Journal of Sea Research*. 108. 1-9.
- Walles B, Smaal AC, Herman PMJ, Ysebaert T (2016b) Niche dimension differs among life-history stages of Pacific oysters in intertidal environments. *Mar Ecol Prog Ser* 562:113-122.
- Walles, B., Fodrie, F.J., Nieuwhof, S., Jewell, O.J.D., Herman, P.M.J. and Ysebaert, T., 2016c. Guidelines for evaluating performance of oyster habitat restoration should include tidal emersion: reply to Baggett et al.. *Restor Ecol*, 24: 4-7.
- Walles, B., van Donk, S., Hamer, A., Wijsman, J., Ysebaert, T., Rurangwa, E., de Vet, L., van der Werf, J., van Dalen, J., Bouma, T. & Slager, A., 2021. Roggenplaatsuppletie (Oosterschelde): ontwikkelingen voor (T0: 2015-2019) en het eerste jaar na aanleg (T1: 2020) van de suppleties (No. C038/21). Wageningen Marine Research.
- Waser, A.M., Deuzeman, S., Kangeri, A.K. w., van Winden, E., Postma, J., de Boer, P., van der Meer, J., Ens, B.J., 2016. Impact on bird fauna of a non-native oyster expanding into

- blue mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *Biol. Conserv.* 202, 39–49.
- Wijsman, J.W.M., 2023. Risicomonitoring suppletie Roggenplaat: Monitoring effecten van de suppletie op nabijgelegen mosselkweekpercelen. Rapport C014/23, WMR.
- Wijsman, J.W.M., Brummelhuis, E., 2013. Proefsuppletie Schelphoek: Monitoring effecten op mosselgroei. Rapport C064/13, Imares.
- Ysebaert, T., Walles, B., van der Werf, J., de Vet, L., Hansen, J., van Duren, L., Stronkhorst, J., 2020. Natuur Impuls Oosterschelde: toepassingsmogelijkheden van slibrijk sediment voor natuurbouw (No. C038/20). Wageningen Marine Research.
- Zandvoort, M., Van der Zee, E., Vuik, V., 2019. De effecten van zeespiegelstijging en zandhonger op de Oosterschelde. Rijkswaterstaat.
- Zwarts L., 1988. De bodemfauna van de Fries-Groningse Waddenkust. *Flevobericht* 294: 1-195.
- 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., A-M. Blomert, D. Bos, M. Sikkema, 2011. Exploitation of intertidal flats in the Oosterschelde by estuarine birds, A&W rapport 1657, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- 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.

A Bijlage: Overzicht van variabelen die verspreiding van verschillende soorten beïnvloeden

Onderstaande tabel is een uitgebreide versie (meer soorten) van Tabel 3-4 en is gebaseerd op diverse referenties (AlRashidi, 2010; Blomert, 2002; Colwell and Landrum, 1993; Garthe et al., 2016; Granadeiro et al., 2004; Horn et al., 2020; Moreira, 1999; Mu and Wilcove, 2020; Nehls and Tiedemann, 1993; Schwemmer and Garthe, 2011; Tjallingii, 1970; van der Kam et al., 1999; van der Zee et al., 2012; van Kleunen, 1999; Vanoverbeke and van Ryckegem, 2015; Waser et al., 2016; Zwarts, 1988; Zwarts et al., 2011, 1992). Voor de leesbaarheid is de tabel in twee delen gesplitst.

Factoren die stelpopeneverspreiding beïnvloeden	Species (nl)	Bergeend	Bonte strandloper	Drieteenstrandloper	Groenpoortruiter	Kanoetstrandloper	Kluut
	Species (en)	Shelduck	Dunlin	Sanderling	Common greenshank	Red knot	Avocet
	Species (lat)	<i>Tridactna tadorna</i>	<i>Gallinago alpina</i>	<i>Calliniss alba</i>	<i>Tringa nebulosa</i>	<i>Calidris canutus</i>	<i>Recurvirostra avosetta</i>
Droogvaldurf/ hoogte	positief	x	x		x		
	negatief		x				
	beiden	x	x	x		x	
Verspreiding dynamiek/ droogvalduren	Green/Onduidelijk			x			
	negatief						
	beiden						
Kreektjes of kanaaltjes	positief		x		x		
	negatief			x			
	beiden	x	x	x	x		x
Silkgehalte/ organisch materiaal	Green/Onduidelijk						
	negatief						
	beiden						
Vochtgehalte in sediment	positief						
	negatief						
	beiden		x	x	x	x	
Scheepdierbanken	Green/Onduidelijk						
	positief						
	beiden						

Factoren die stelpopeneverspreiding beïnvloeden	Rosse Grutto	Scholekster	Steenloper	Strandplevier	Tureluur	Wulp	Zilverplevier
	Bar-tailed godwit	Eurasian oystercatcher	Ruddy Turnstone	Kemish plover	Common redshank	Eurasian curlew	Grey plover
	<i>Limosa lapponica</i>	<i>Haematopus ostralegus</i>	<i>Arenaria interpres</i>	<i>Charadrius alexandrinus</i>	<i>Tringa totanus</i>	<i>Numenius arquata</i>	<i>Ploveris squatarola</i>
Droogvaldurf/ hoogte	x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x		x	x	x
Verspreiding dynamiek/ droogvalduren							
Kreektjes of kanaaltjes							
Silkgehalte/ organisch materiaal	x	x		x	x		x
	x	x					
Vochtgehalte in sediment							
Scheepdierbanken	x	x	x		x	x	x

B Bijlage: enquête - zandsuppletie in vogelperspectief

In deze bijlage is de enquête opgenomen zoals deze is afgenomen bij vogelexperts. Als input voor de ontwerpscenario's die ontwikkeld moeten worden door een ingenieursbureau voor een suppletie in het Middengebied van de Oosterschelde (Galgeplaat of platen van den Dortsman) zijn we gevraagd om aandachtspunten te leveren om de ecologische waarde van de suppletie te vergroten. Het ingenieursbureau zal het uiteindelijke ontwerp maken en WMR zal vermoedelijk later gevraagd worden om het gekozen ontwerp op ecologische vlak te reviewen.

B.1 Een aantal opmerkingen om mee te nemen

Zandsuppletie vooral bedoeld ten behoud van foerageer/rustgebieden voor vogels/zeehonden

De Galgeplaat en de omliggende gebieden zijn belangrijke foerageergebieden voor vogels en rustplaatsen voor zeehonden. Door zandhonger en zeespiegelstijging worden de zandplaten in de Oosterschelde kleiner en de getijgeulen ondieper. Om te voorkomen dat de platen verdwijnen, zijn maatregelen nodig (Zuidwestelijke Delta, 2023).

Zandsuppletie hoeven niet per se zelf een foerageer/rustgebied te worden maar kunnen ook op andere manieren helpen de zandhonger te compenseren

Suppleties moeten gezien worden als een functioneel onderdeel van het getijde-ecosysteem; het gaat daarom niet enkel over wat op de suppletie gebeurt maar ook wat er rond de gesuppleerde gebieden gebeurt:

- Suppleties kunnen een rol spelen als zandvoorraad, bedoeld om onderliggende gebieden (potentiële foerageergebieden) op langere termijn te voeden en het effect van de zandhonger ermee te compenseren.
- De suppletie kan ook gezien worden als wateropslag dat afwateringstroompjes stimuleert wat ten gunste komt aan de landschapsdiversiteit en het vergroten van de ecologische functie van de plaat.
- Een hogere suppletie, bijvoorbeeld in het supralitoraal, zou kunnen dienen als rustplaats voor vogels bij hoogwater.
- Bij het uitvoeren van suppleties moet rekening gehouden worden met foerageerplekken op de getijdeplaten met hoge vogeldichtheden. Als een gebied onder een laag zand komt te liggen, kan het lang duren tot vogels weer in dezelfde mate terugkeren als vóór de suppletie (zie de ervaring tot nu toe!). Ook oester-en/of gemengde-riffen en de directe omgeving ervan zullen zo veel mogelijk bespaard moeten blijven omdat oesterriffen kunnen meegroeien met zeespiegelstijging en stabiel zijn waardoor lokaal minder of geen erosie plaats vindt. Tevens zijn het biodiversiteitshotspots. Wanneer wordt overwogen om op riffen te suppleren, moeten deze positieve eigenschappen dus goed in ogenschouw worden genomen.

B.2 Uitleg tabel

Op de volgende pagina volgt een tabel met als eerste kolom een lijst van factoren die van belang kunnen zijn bij de kwalificatie van een intergetijdengebied als foerageergebied voor vogels. **Bij de huidige selectie is vooral aandacht besteed aan de factoren die direct beïnvloed kunnen worden in het ontwerp (en uitvoering) van de suppletie.** De tweede kolom bevat een beschrijving van het mechanisme waarop de factor vogelverspreiding kan beïnvloeden. In de derde kolom staan een aantal referenties die de relatie tussen de factoren en vogelverspreiding hebben onderzocht. Daar waar mogelijk wordt voor elke vogelsoort aangegeven of het effect is beschreven als positief (+), negatief (-) dan wel neutraal of onbepaald (≈) en/of eventueel, zoals bij droogvalduur (%DVD), sediment korrelgrootte (%slib) of % vochtigheid bijvoorbeeld, een optimale waarde of interval is gevonden. Uiteindelijk volgt een [publicatie nummer] waar die relatie beschreven werd. De focus van de huidige studie ligt voorlopig op zogenoemde 'ANT-studie soorten' (ANT = Autonome Neerwaartse Trend [17]). Deze soorten zijn in de ANT-studie geselecteerd vanwege "het relatieve belang in aantal, het internationale belang en hun gevoeligheid voor de effecten van zandhonger". De soorten zijn: Bergeend, Wulp, Scholekster, Zilverplevier, Rosse Grutto, Kanoetstrandloper en Bonte Strandloper (BRND, WULP, SLKS, ZLPV, RGRT, KANT, BSTR). Maar als uit expert judgement blijkt dat er soorten met specifieke habitat-eisen missen in deze lijst kunnen deze worden toegevoegd. Floor Arts suggereert eventueel om, qua habitatseisen, de Tureluur, Lepelaar of Zilvermeeuw toe te voegen.

De deelnemers wordt gevraagd om de lijst met factoren te beoordelen en eventueel aan te vullen en, als mogelijk, per soort aan te geven welke mechanismen van invloed zijn op de verspreiding van vogels. Ook kunnen deelnemers daarnaast aangeven hoe, in hun ogen, een ideale morfologische basis geboden kan worden voor een foerageergebied rekening houdend met bijvoorbeeld droogvalduur, helling, aanwezigheid van supra litoraal/zandruggen/poelen/afwateringstroompjes... enz. Het zou fijn zijn als deelnemers enigszins concrete cijfers kunnen noemen. Bijvoorbeeld wat betreft sediment-karakteristieken, helling, spreiding in droogvalduur, grootte van poeltjes etc. Verder is bij de vorige suppletie ook meegenomen dat suppleties een grotere omtrek hadden; op die manier zou de lengte van de waterlijn vergroot worden...? Is de lengte van de waterlijn belangrijk en zouden we dit kunnen sturen door een aantal kleinere suppleties te doen ipv 1 hele grote.

Factoren	Mechanismen	Vogel response / Referentie	Bijdrage deelnemer
1.-Afstand tot hoogwater-rustplaats dan wel tot het broedgebied	<p>Als de afstand naar een ideaal foerageergebied te groot is kiezen de vogels voor een sub-optimaal maar wel dichterbij gelegen gebied.</p> <p>Rol van de afstand tussen broed/rustgebied en foerageergebied (tot aaneengesloten gebieden)?</p>	<p>SLKS (-) [1] 2 tot 4 km foerageer-dag rustgeb.[1] en [12]</p> <p>SLKS (-) gem 1.8 km in SC-USA (H. palliatus)! [4]</p> <p>SLKS (-) aaneengesloten gebied. FL-USA (H. palliatus)! [5]</p>	
Droogvalduur/hoogte	<p>Het bereik in droogvalduur is bepalend voor de beschikbaarheid van voedsel.</p> <p>Optimale droogvalduur m.b.t. foerageeractiviteit?</p>	<p>SLKS (±) overal te vinden [2]</p> <p>SLKS (-) in vochtig sediment i.v.m. schelpdieren [3]</p> <p>BSTR (+) >40% DVD [3] in WS!</p> <p>BSTR (-) op uitgestrekte laaggelegen slik [3] in WZ</p> <p>ZLPV (+) >50% in China [13]</p> <p>RGRT (+) 50%-75% in China [13]</p> <p>RGRT (-) [2]</p> <p>KANT (±) volgt de waterlijn [15]</p>	
Spreiding over droogvalduren	<p>De helling van de plaat zorgt voor het areaal binnen elke droogvalduurklasse. Variaties in die helling zorgen voor de ruimtelijke verdeling van de droogvalduurklassen over de plaat.</p> <p>Soort talrijker in gebieden met spreiding in DVD ?</p>	<p>BSTR <0.5 kg (+) [7]</p> <p>ZLPV <0.5 kg (+) [7]</p> <p>RGRT <0.5 kg (+) [7]</p>	
Reliëf/aanwezigheid schelpdierriffen	<p>Met reliëf wordt hier bedoeld oneffenheden die het algemene hoogteprofiel complexer maken zoals bijvoorbeeld met het creëren van poelen, de aanwezigheid van afwateringstroompjes...</p>	<p>SLKS (+)</p> <p>plassen/mosselbanken/wieren [2]</p> <p>SLKS (+) langs stroompjes [11]</p> <p>BSTR (+) aanwezigheid poeltjes [6] in NC-USA!</p>	

	Rol van de aanwezigheid van poelen en afwateringstroompjes?		
Slikgehalte/organisch materiaal Korrelgrootte Vochtgehalte in sediment	<i>Binnen elk habitat kunnen ook gradiënten in sediment samenstelling aanwezig zijn. Slib en organisch gehalte, korrelgrootte mediane en vochtgehalte zijn sterk gecorreleerd en de effecten ervan (direct als indirect, via benthos b.v.) zijn daardoor moeilijk te onderscheiden.</i> Rol van de 'sediment textuur' (korrelgrootte/slib/vocht) bij het foerageren?	SLKS (+) >5% slib [2] maar niet in te slikkige geb. [3] SLKS (+) organisch materiaal in bodem[14] SLKS (+) in vochtig sediment i.v.m. schelpdieren [3] BSTR (+) >25% slib [2] en [3] in WS BSTR (+) in vj op wormen in slib langs waterlijn [8] BSTR (-) in nj op garnalen hoger [8] BSTR (+) sediment vochtigheid [9] en [10] ZLPV (+) >25% slib [2] RGRT (+) organisch materiaal in bodem[14] KANT (-) mijden slikkige platen [16] KANT (+) in vochtig sediment i.v.m. schelpdieren [15]	

Onderstaande tabel is in Bijlage A groter weergegeven.

Factoren die steltlopers aantrekken	Species (S)	Species (M)	Species (N)	Bergend Duidelijk Specifieke habitat	Beide strandpolder Dunnen Scheepvaart	Dreivestrandpolder Scheepvaart Landbouw	Overstroomgebied Common greenbank Droog gebied	Randstrandpolder Red knot Droog gebied	Kant Rozette Overstroomgebied	Beide Grutto Beide tailed godwit Common greenshank	Scheepvaart Rozetten oystercatcher Rozetten oystercatcher	Hoerduiker Ruddy Turnstone Rozetten oystercatcher	Strandpolder Kantelplover Overstroomgebied	Common noddack Droog gebied	Hoer Rozetten oystercatcher Rozetten oystercatcher	Overstroomgebied Grey plover Droog gebied
Droogvlakte/ hooft	inagrat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spreading dynamiek/ drooggebieden	inagrat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Slikgehalte/ organisch materiaal	inagrat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Vochtgehalte in sediment	inagrat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Habitat	inagrat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Genummerde literatuurlijst (referenties gebruikt in bovenstaande tabel)

- [1]- W. Bakker, B.J. Ens, A. Dokter, H.-J. van der Kolk, K. Rappoldt, M. van de Pol, K. Troost, H.W. van der Veer, A.L. Bijleveld, J. van der Meer, K. Oosterbeek, E. Jongejans, A.M. Allen (2021). Connecting foraging and roosting areas reveals how food stocks explain shorebird numbers, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 259. p
- [2]- Kleunen A. van 1999. Verspreiding en habitatvoorkeur van eenden en steltlopers in Ooster- en Westerschelde. Werkdocument RIKZ/OS/2000.806x.
- [3]- Blomert, A. M. (2002). De samenhang tussen bodemgesteldheid, droogligtijd en foerageerdichtheid van vogels binnen de intergetijdenzone. A&W-rapport 330. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek bv. Veerwouden.
- [4]- Sanders, F., Spinks, M. & Magarian, T. 2013. American oystercatcher winter roosting and foraging ecology at Cape Romain, South Carolina. Wader Study Group Bull. 120(2): 128–133.
- [5]- Farrell C., Korosy M., Wraithmell J. (2016). The Role of Coastal Engineering in American Oystercatcher Conservation. Audubon Florida, NFWF.

- [6].- VanDusen 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): e52694. doi:10.1371/journal.pone.0052694
- [7].- Vanoverbeke, J & Van Ryckegem, G (2015). Statistische analyse van het gebruik van het litoraal door steltlopers in de Westerschelde. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2015.11358580). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- [8].- 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 Journal of Sea Research, Volume 31-4, pp 375:384.
- [9].- Horn, S.; Schwemmer, P.; Mercker, M.; Enners, L.; Asmus, R.; Garthe, S.; Asmus, H. Species composition of foraging birds in association with benthic fauna in four intertidal habitats of the Wadden Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2020, 233:
- [10].- Colwell, M.A., Landrum, S.L., 1993. Nonrandom shorebird distribution and fine-scale variation in prey abundance. *Condor* 94–103.
- [11].- Schwemmer, P., & Garthe, S. (2011). Spatial and temporal patterns of habitat use by Eurasian oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) in the eastern WaddenSea revealed using GPS data loggers. *Marine Biology*, 158, 541–550
- [12].- W. Bakker, B.J. Ens, A. Dokter, H.J. van der Kolk, K. Rappoldt, M. van de Pol, K. Troost, H. W. van der Veer, A. I. Bijleveld, J. van der Meer, K. Oosterbeek, E. Jongejans, A. M. Allen (2021). Connecting foraging and roosting areas reveals how food stocks explain shorebird numbers *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 259
- [13].- Mu T, Wilcove DS. (2020) Upper tidal flats are disproportionately important for the conservation of migratory shorebirds. *Proc. R. Soc. B* 287
- [14].- van der Zee, E.M., van der Heide, T., Donadi, S., Eklöf J. S., Klemens Eriksson, B., Olf 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.
- [15].- van de Kam, J., B.J. Ens, T. Piersma & L. Zwarts (1999). *Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels*. Schuyt & Co, Haarlem.
- [16].- Zwarts L, Blomert AM (1992). Why knot *Calidris canutus* take medium-sized *Macoma balthica* when six prey species are available. *Mar Ecol Progr Ser* 83: 113-128
- [17].- De Ronde, J.G., Mulder, J.P.M., Van Duren, L.A., Ysebaert, T.J.W., 2013. Eindadvies ANT Oosterschelde, Deltares rapport 1207722-000-ZKS-0010.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl