



T0-monitoring Natuurimpuls Oosterschelde

Auteur(s): Chiu H. Cheng*, Jim van Belzen**, Jaco de Smit**, Wouter Suykerbuyk*, Tim Grandjean**,
Marte Stoorvogel**, Jeroen van Dalen**, Lodewijk de Vet***, Tjeerd Bouma**, Tom
Ysebaert*

* WMR
** NIOZ
*** Deltares

Wageningen University &
Research rapport C047/22

T0-monitoring Natuurimpuls Oosterschelde

Auteur(s): Chiu H. Cheng*, Jim van Belzen**, Jaco de Smit**, Wouter Suykerbuyk*, Tim Grandjean**,
Marte Stoorvogel**, Jeroen van Dalen**, Lodewijk de Vet***, Tjeerd Bouma**, Tom
Ysebaert*

* WMR

** NIOZ

*** Deltares

Wageningen Marine Research
Yerseke, september 2022

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C047/22

Keywords: monitoring, natuurherstel, Oosterschelde, sediment, slib, benthos, suppletie, morfologie, hydrodynamiek, zandhonger, intergetijdengebieden, Rattekaai, nul-situatie

Opdrachtgever: Provincie Zeeland
T.a.v.: de heer J.P.M. de Moree & mevrouw S.H.J. Tuinder
Postbus 6001
4330 LA Middelburg

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/576025>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Drs. ir. M.T. van Manen, directeur
bedrijfsvoering

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

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

A_4_3_1 V32 (2021)

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doelstelling en kennisvraag	8
1.3 Verantwoording	8
2 Methode	10
2.1 Het studiegebied	10
2.2 Sedimentsamenstelling	11
2.2.1 Korrelgrootte	12
2.2.2 Organisch-stofgehalte	12
2.2.3 Bulkdichtheid van het sediment	13
2.3 Troebelheid	13
2.4 Benthos (soortenrijkdom, dichtheid en biomassa)	13
2.5 Golven en sedimentdynamiek	14
2.6 Kritische bodemschuifspanning en bodemeigenschappen	15
2.7 Morfologische verandering aan de hand van remote sensing op lage hoogte	15
2.8 Hydrodynamiek - stroming	15
3 Resultaten	17
3.1 Sedimentsamenstelling	17
3.1.1 Korrelgrootte en slibgehalte	17
3.1.2 Bulkdichtheid	20
3.1.3 Organisch-stofgehalte	20
3.2 Troebelheid (zwevend stofconcentratie)	21
3.3 Benthos	23
3.3.1 Soortenrijkdom	23
3.3.2 Dichtheid	25
3.3.3 Biomassa	27
3.4 Tijdseries golven en bodemhoogte	30
3.5 Golfdemping door dieptelimitatie	31
3.6 Correlatie tussen bodemhoogteverandering (SED) en golven	32
3.7 Waargenomen sedimentdynamiek (SED)	33
3.8 Erodeerbaarheid van het sediment	38
3.9 Temporele variatie bodemeigenschappen	39
3.10 Stroomsnelheden	40
4 Discussie en aanbevelingen	41
5 Kwaliteitsborging	43
Literatuur	44
Verantwoording	45
Bijlage 1 Verspreidingskaarten korrelgrootteverdeling	46
Bijlage 2 Foto's: wadslakje	52

Bijlage 3	Resultaten sediment analyses en coördinaten bemonsteringslocaties	53
Bijlage 4	Tabellen: voorkomen, soortenrijkdom, dichtheid en biomassa	57

Samenvatting

De Oosterschelde is één van de 21 nationale parken van Nederland en is omwille van zijn biologische rijkdom aangewezen als Natura 2000-gebied. Tevens is het een belangrijk leefgebied voor veel soorten kustbroedvogels, moerasbroedvogels en doortrekkende en overwinterende watervogels. Daarom vormt het ook onderdeel van het Europese netwerk van beschermde natuurgebieden. Hiermee heeft de Nederlandse overheid onder andere de verantwoordelijkheid om de natuurgebieden binnen de Oosterschelde te behouden, te herstellen en eventueel te vergroten. Bovendien gelden voor elk Natura-2000-gebied een aantal specifieke instandhoudingsdoelen die bijvoorbeeld aangeven welke leefgebieden en welke soorten (plant en dier) behouden of hersteld moeten worden. Het Beheerplan Deltawateren beschrijft vervolgens welke maatregelen nodig zijn om de overeenkomstige instandhoudingsdoelen te realiseren. De aanleg van de stormvloedkering in de Oosterschelde heeft onder andere in een kleiner getijverschil daarachter geresulteerd. Dit heeft tot de zogenaamde 'zandhonger' geleid, wat een afname van het oppervlakte van rust- en foerageergebied voor vogels en/of een verlaging van het voorland heeft veroorzaakt. Hiervoor zijn suppleties een van de mogelijke oplossingen.

Door TenneT wordt een 380 kV-verbinding aangelegd tussen Borssele en Rilland. Omdat er een deel buitendijks wordt aangelegd in het Natura 2000-gebied in de Oosterschelde moet er worden gecompenseerd voor het verlies aan intergetijdenatuur. TenneT heeft middelen beschikbaar gesteld aan Natuurmonumenten om een natuurimpuls te geven aan de Oosterschelde voor de schade die deze kabel mogelijk berokkent aan de buitendijkse natuur. Natuurmonumenten wil, in samenwerking met Rijkswaterstaat, onderzoeken of er natuurwinst is te behalen in de Kom van de Oosterschelde door natuurherstelmaatregelen. Eén van de uitgangspunten hierbij was om te onderzoeken of gebruik kan worden gemaakt van het slibrijk sediment dat in oktober 2021 zou vrijkomen bij onderhoudsbaggerwerkzaamheden die zijn uitgevoerd aan de vaargeul in de Zandkreek. Dit opgebaggerde sediment wordt normaliter in diepe putten in de Oosterschelde gedumpt, maar zou mogelijk ook nuttig benut kunnen worden in het systeem, bijvoorbeeld ten behoeve van natuurbouw ter bestrijding van de negatieve effecten van de zandhonger in de Oosterschelde ('werk met werk'). Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door de Provincie Zeeland, op verzoek van Natuurmonumenten, vanwege de mogelijkheid om dit slib te gebruiken om platen op te hogen omwille van plaatbehoud voor foeragerende en rustende vogels en voor schorren en slikken. Dit is in het belang voor het behoud van Natura 2000-gebieden. Het doel van dit project is om antwoord te kunnen geven op de vraag of, middels een suppletie van slibrijk materiaal op een locatie in de Rattekaai, het intergetijdengebied van het Verdrongen land van Zuid-Beveland verbeterd kan worden. Daarnaast moet de monitoring en het onderzoek ook kennis ontwikkelen over het suppleren met slibrijk materiaal. Hiervoor is het belangrijk om eerst de nul-situatie van het suppletiegebied goed in kaart te brengen.

Vanwege logistieke problemen heeft het suppletieproject echter geen doorgang kunnen vinden. In overleg met Rijkswaterstaat en Provincie Zeeland is daarom afgesproken om de data verzameld voorafgaand aan de geplande suppletie te ontsluiten in een rapport en een advies te geven over het eventuele gebruik van deze data. Hoewel er waarschijnlijk geen vervolgmonitoring zal plaatsvinden op deze specifieke locatie kan de informatie mogelijk worden gebruikt voor toekomstige projecten, bijvoorbeeld in de nabijgelegen gebieden of met dezelfde type ingrepen welke onder vergelijkbare omstandigheden worden uitgevoerd. Ook kan de toepasbaarheid en effectiviteit van dit soort maatregelen worden onderzocht. In dit rapport worden deze T0-resultaten op een rij gezet op basis van twee meetcampagnes (najaar 2020 en 2021).

Deze studie is uitgevoerd door Wageningen Marine Research in samenwerking met NIOZ en Deltares. De rapportage is mede tot stand gekomen dankzij input van verschillende experts van de betrokken kennisinstellingen.

Van de twee T0-metingen (najaar 2020 en 2021) zijn de verschillen tussen de jaren groter dan de verschillen tussen suppletie- en referentiegebieden. Het aantal soorten is vergelijkbaar, maar de soortenrijkdom is iets minder in 2021 terwijl de dichtheid en biomassa zijn toegenomen. Verder zijn er geen duidelijke verschillen tussen de suppletie- en referentiegebieden waarneembaar wat betreft de abiotische bodemeigenschappen. Dat onderschrijft nogmaals dat de twee gekozen gebieden uitstekend dienst zouden doen als vergelijking. Het is moeilijk vast te stellen in hoeverre de verschillen in de

bodemdierengemeenschap en een aantal abiotische bodemeigenschappen te wijten zijn aan natuurlijke (ruimtelijk of tijdelijk) variabiliteit, of het van jaar tot jaar zo zou variëren en met welke parameters dit het meest gecorreleerd is.

De metingen van de dynamiek van golven en vooral de sedimentdynamiek geven aan dat dit gebied laagdynamisch is. Vanwege deze lage dynamiek kan worden verwacht dat een slibsuppletie lang op de gewenste plek zou kunnen blijven liggen. Daardoor zouden de natuurwaarden mogelijk over langere tijd profiteren van een dergelijke ingreep. Maar voorzichtigheid is geboden omdat morfologische veranderingen mogelijk gedreven worden door stormen die niet-frequent voorkomen. In tegenstelling tot eerdere suppleties in de Oosterschelde (Galgenplaat, Schelphoek, Roggenplaat en Oesterdam) was het plan bij Rattekaai om een suppletie uit te voeren met slibrijk materiaal. Uit eerdere (zand)suppleties is gebleken dat het herstel van de bodemdierengemeenschap (benthos) enkele jaren duurt. Een suppletie met slibrijk materiaal kan mogelijk tot andere ontwikkelingen leiden, wat de bodemdierengemeenschap en andere abiotische omstandigheden betreft. De aanpak van de monitoring binnen dit project is vergelijkbaar aan de monitoring bij andere suppleties (Roggenplaat en Oesterdam) waardoor de resultaten goed met elkaar kunnen worden vergeleken en mogelijk van nut zijn bij toekomstige suppleties, zoals de Galgenplaat.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Oosterschelde is een belangrijk leefgebied voor kustbroedvogels, moerasbroedvogels en doortrekkende en overwinterende watervogels. Het is ook één van de 21 nationale parken van Nederland en is omwille van zijn biologische rijkdom aangewezen als Natura 2000-gebied. Het vormt ook onderdeel van het Europese netwerk van beschermde natuurgebieden en de Nederlandse overheid heeft de verantwoordelijkheid om de natuurgebieden binnen de Oosterschelde te behouden, te herstellen en eventueel te vergroten. Als onderdeel van onder andere het Omgevingsplan Zeeland 2018 en Oosterscheldevisie 2018-2024, heeft de Provincie Zeeland als doel de getijdennatuur in de Oosterschelde te herstellen. Bovendien is het steeds belangrijker om een goede balans te kunnen vinden tussen bescherming en behoud van natuur en ruimte voor het gebruik door alle andere sectoren. Als gevolg van de zandhonger neemt het oppervlakte van rust- en foerageergebied voor vogels af en de periode van droogval wordt steeds korter. Voor vogels betekent dit minder tijd waarin de foerageergebieden bereikbaar zijn. Bovendien kan de voedselbeschikbaarheid ook verminderen, wat in de toekomst tot een afname in het voorkomen van vogels zoals steltlopers kan veroorzaken. Verder heeft de zandhonger ook negatieve gevolgen voor de natuurlijke kwaliteit van het hele gebied in het algemeen en meer specifiek de Natura 2000-instandhoudingsdoelen die afhankelijk zijn van het intergetijdengebied.

De zandplaten, slikken en schorren zijn ook van belang voor de morfologie omdat ze zorgen voor een natuurlijke demping van de golven. Een aanzienlijk voorland zal de belasting van de dijken verlagen. Doordat dit voorland door de zandhonger afneemt, neemt ook de golfremmende werking af. Gecombineerd met zeespiegelstijging zal de zandhonger op de langere termijn leiden tot een watersysteem met nauwelijks nog droogvallende platen, slikken en schorren in de Oosterschelde.

Dit project is tot stand gekomen na een aantal werksessies met Natuurmonumenten (NM), Rijkswaterstaat (RWS), NIOZ, Deltares, Hogeschool Zeeland (HZ) en Wageningen Marine Research (WMR), waarbij is nagedacht over het slimme hergebruik van gebaggerd slib. Op basis van deze werksessie is geadviseerd om een suppletie met slibrijk/fijnzandig sediment aan te leggen bij de Rattekaai (een deel van Het Verdrongen Land van Zuid-Beveland). Dit sediment zou beschikbaar kunnen komen uit onderhoudsbaggerwerkzaamheden bij de Zandkreek. Normaal gesproken zou de baggerspecie worden gestort op de hiervoor aangewezen stortlocaties in de Oosterschelde, maar een deel van de baggerspecie zou nu gebruikt kunnen worden voor het beschermen en behouden van de intergetijdennatuur. Provincie Zeeland heeft dit project mogelijk gemaakt in het kader van behoud van Natura 2000 gebieden en de mogelijkheid om slib te gebruiken om platen op te hogen omwille van plaatbehoud voor foeragerende en rustende vogels en voor schorren en slikken.

Het gebruik van slibrijk sediment voor suppleties is innovatief, omdat in de meeste suppleties die in de Oosterschelde zijn uitgevoerd gebruik is gemaakt van relatief grof sediment. Een belangrijk doel van het project was dan ook om kennis en ervaring op te doen rondom het inzetten van slibrijk sediment voor natuurherstel.

Ter voorbereiding van het pilot experiment/project is de nul-situatie (T0-monitoring) in kaart gebracht. Samen met de vervolgmonitoring na aanleg (T1 – T5) zou kunnen worden onderzocht of opgebaggerd, slibrijk, sediment mogelijk zinvol zou kunnen bijdragen aan het beschermen en behouden van de intergetijdennatuur in de Oosterschelde. Het oorspronkelijke plan was om deze slibsuppletie in najaar 2021 uit te voeren met een deel van de baggerspecie dat vrij zou komen van de baggerwerkzaamheden in de Zandkreek. Vanwege operationele en logistieke problemen bleek het niet mogelijk om een deel van de vrijgekomen baggerspecie te suppleren op de slikken van het Verdrongen Land van Zuid Beveland waardoor de slibsuppletie op het laatste moment is afgeblazen en al het vrijgekomen slib uit de Zandkreek is gestort op de stortlocatie O10 in de Oosterschelde.

Omdat de suppletie uiteindelijk niet is aangelegd, zal er ook geen vervolgmonitoring plaatsvinden. Toch kunnen de al verzamelde T0-resultaten inzicht geven in de ecologie, hydrodynamiek en morfologie van het gebied en deze kunnen van waarde zijn voor toekomstige projecten in dit of vergelijkbare gebieden. Vanwege de integrale aanpak van de T0-monitoring biedt dit project

voornamelijk een baseline voor de bodemdiergemeenschap, sedimentsamenstelling, troebelheid concentratie, sediment erosieviteit en golfcondities op een zandige locatie binnen de Oosterschelde.

1.2 Doelstelling en kennisvraag

Omdat de morfodynamiek van slibrijk sediment heel anders is dan zand, is het de verwachting dat de effecten van een suppletie met slibrijk materiaal andere effecten heeft op de morfologie en ecologie dan een suppletie met grof zand. De beschikbaarheid van slib is een heel belangrijke factor vooral voor de ecologie, maar ook voor zowel het functioneren van estuaria als kustgebieden. Dit uit zich op verschillende manieren. Door de stroming en erosie kan slib in suspensie in de waterkolom komen welke de troebelheid van het water beïnvloed. Dit kan een effect hebben op, onder andere, de primaire productie van fytoplankton door verminderde lichtpenetratie in het water. Als gevolg kan dit een indirect effect op de bodemdieren (bijvoorbeeld filterfeeders zoals mosselen, oesters) hebben, omdat fytoplankton hun voedselbron is. Verder kan slib in de waterkolom een rol spelen bij de groei van schorren en ze wellicht helpen om mee te groeien met de zeespiegelstijging.

Daarnaast vormt slib een belangrijk deel van de waterbodem (bijvoorbeeld de sediment matrix). Dit soort sediment is vaak cohesief en daardoor moeilijker te eroderen. Vooral in intergetijdengebieden ontwikkelen diatomeeën (kiezelwieren) zich goed op slibrijke sedimenten en maken het sediment stabiel tegen erosie. Ook vormen deze een belangrijke voedselbron voor bodemdieren (zoals wadpier, nonnetje, slijkgarnaal, wadslakje). Vervolgens kunnen deze bodemdieren een belangrijke voedselbron zijn voor allerlei vis- en vogelsoorten. Kortom slibrijke sedimenten kunnen gekenmerkt worden als belangrijk voor een hoge primaire en secundaire productie alhoewel de fysische omstandigheden op de locatie (getijdenstromingen en golven) ook meegenomen dienen te worden.

De Oosterschelde is in de huidige toestand een relatief helder systeem met gemiddeld een geringe hoeveelheid gesuspendeerd materiaal in de waterkolom en relatief zandige sedimenten op de intergetijdengebieden. Echter komen op rustige (i.e. laagdynamische) gebieden ook slibrijke sedimenten voor (bijvoorbeeld Zandkreek, Rattekaai, Oesterdam). Bovendien is het effect van suppleren van slibrijk/fijnzandig sediment uit onderhouds-baggerwerkzaamheden op intergetijdengebieden nog onzeker. Daarom hebben we inzicht nodig in het gedrag van het gestorte sediment en daarmee gepaard gaande morfologische en ecologische effecten. Hiervoor is een nul-situatie (d.i. de situatie vóór het uitvoeren van de ingreep) nodig om zo'n effect goed in kaart te kunnen brengen. In samenwerking tussen Natuurmonumenten, WMR, NIOZ en Deltares is een monitoringsplan op het intergetijdengebied bij Rattekaai opgesteld en, in opdracht van de Provincie Zeeland, twee T0 (2020 en 2021) meetcampagnes uitgevoerd, zoals beschreven in het monitoringsplan (Ysebaert et al. 2020). In deze rapportage worden de resultaten van de T0-monitoring in 2020 en 2021 gepresenteerd.

1.3 Verantwoording

De monitoring is uitgevoerd door WMR en NIOZ. Aanvullend zijn er door Rijkswaterstaat fysische metingen uitgevoerd. De twee meetcampagnes van het NIOZ en WMR vonden niet op hetzelfde moment plaats: meetperiodes oktober 2020 en september 2021 (WMR), november 2020 en juni 2021 (NIOZ). Deltares heeft de stroomsnelheden geanalyseerd. Tabel 1 toont de oorspronkelijke planning van de meetcampagnes en de werkelijke uitvoering.

Tabel 1. Planning T0-monitoringswerkzaamheden in 2020 en 2021. In groen staat de planning en met rode kruisjes is aangegeven wanneer de werkzaamheden werkelijk hebben plaatsgevonden. *gegevens niet verder verwerkt en hier niet gerapporteerd (zie ook 2.7). **vormt geen onderdeel van dit project.

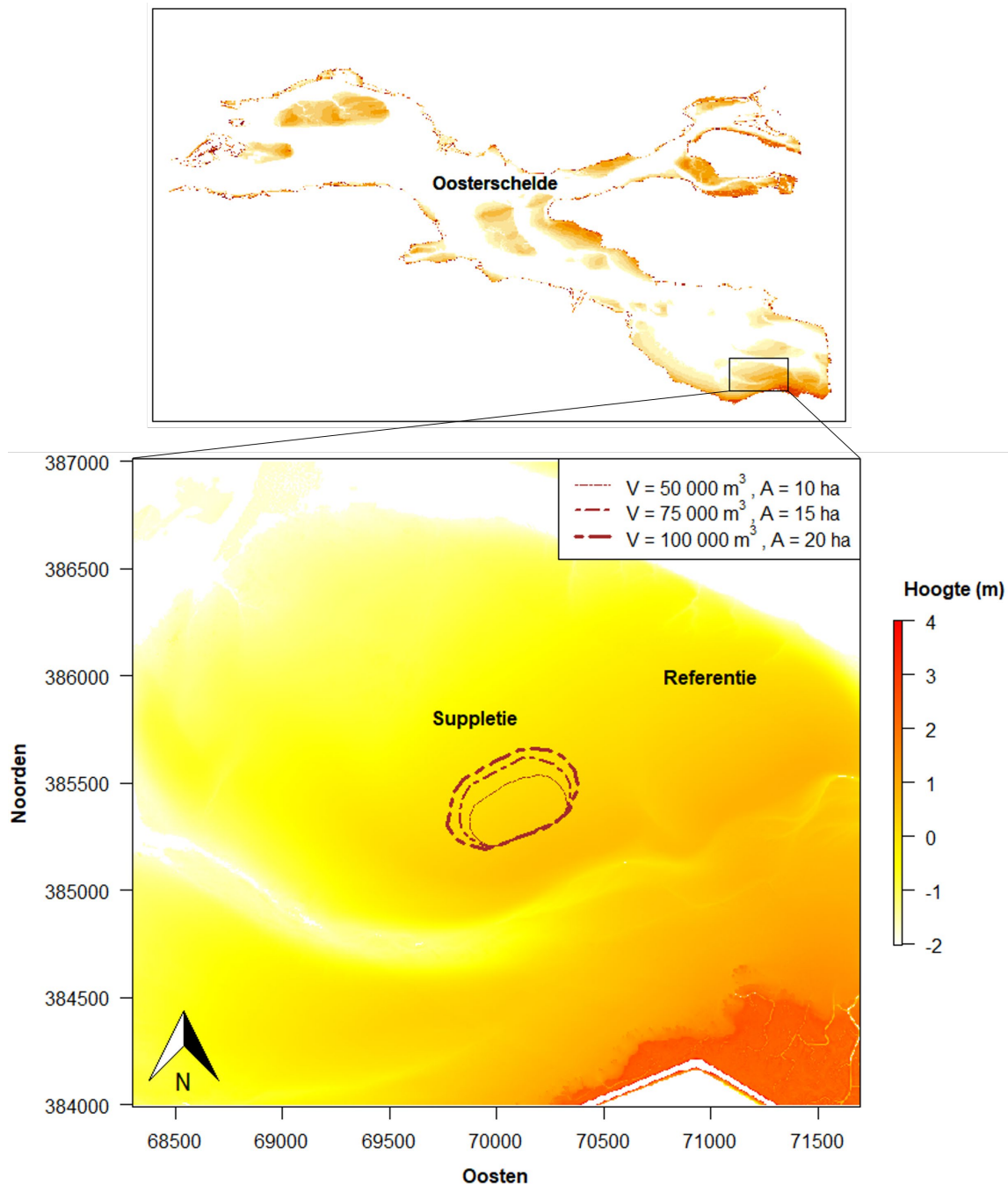
		2020				2021			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
<i>Benthos bemonstering</i>	WMR				X			X	
<i>Sediment bemonstering</i>	NIOZ				X		X		
<i>Drone opnames*</i>	NIOZ				X		X		
<i>Erosieviteit meting</i>	NIOZ				X		X		
<i>RTK regulier**</i>	RWS		X				X		
<i>RTK extra**</i>	RWS			X			X	X	
<i>SED sensoren</i>	NIOZ				X	X	X		
<i>Golfloggers</i>	NIOZ				X	X	X		
<i>OBS sensoren</i>	WMR					X	X	X	
<i>ADCPs**</i>	RWS						X		

2 Methode

2.1 Het studiegebied

Om de nul-situatie (T0) van de morfologie, hydrodynamiek en ecologie, en de mogelijke snelle veranderingen daarin vast te leggen, waren er twee T0-meetcampagnes (in 2020 en 2021) in het monitoringsplan opgenomen. In dit project zijn twee gebieden, ongeveer 1 km van elkaar verwijderd, gekozen: het projectgebied (suppletie) in het westen en het referentiegebied in het oosten (Figuur 1). De twee locaties zijn gekozen op basis van vergelijkbare omgevingsomstandigheden (hoogteligging, stroming en golven), hoewel het referentiegebied enigszins hoger is vanwege de verwachte verhoging van het studiegebied na de suppletie. Het idee was een BACI aanpak (Before-After-Control-Impact) uit te voeren, waarbij bemonsterd wordt vóór (2020 en 2021) en na aanleg van de suppletie (2021, 2022, 2023, 2024 en 2025) op dezelfde punten. De "After" metingen zijn uiteindelijk niet uitgevoerd omdat de suppletie niet is aangelegd.

In de twee gebieden (project = suppletie, en referentie) zijn in totaal op 30 locaties benthos en sedimentmonsters verzameld om het slibgehalte, sedimentkorrelgrootte, bulkdichtheid, organisch-stofgehalte en bodemdiergemeenschap te kwantificeren en de twee gebieden met elkaar te vergelijken. Verder was er ook op elk gebied een optical back scatter sensor (OBS) ingezet om de troebelheid te meten (januari 2021 – maart 2021; april 2021 – juni 2021; juli 2021 – september 2021). Aanvullende metingen zijn ook uitgevoerd om de sediment erosieviteit, bodemhoogte, golven en stroomsnelheid te bepalen en zal in detail worden beschreven in de volgende secties.

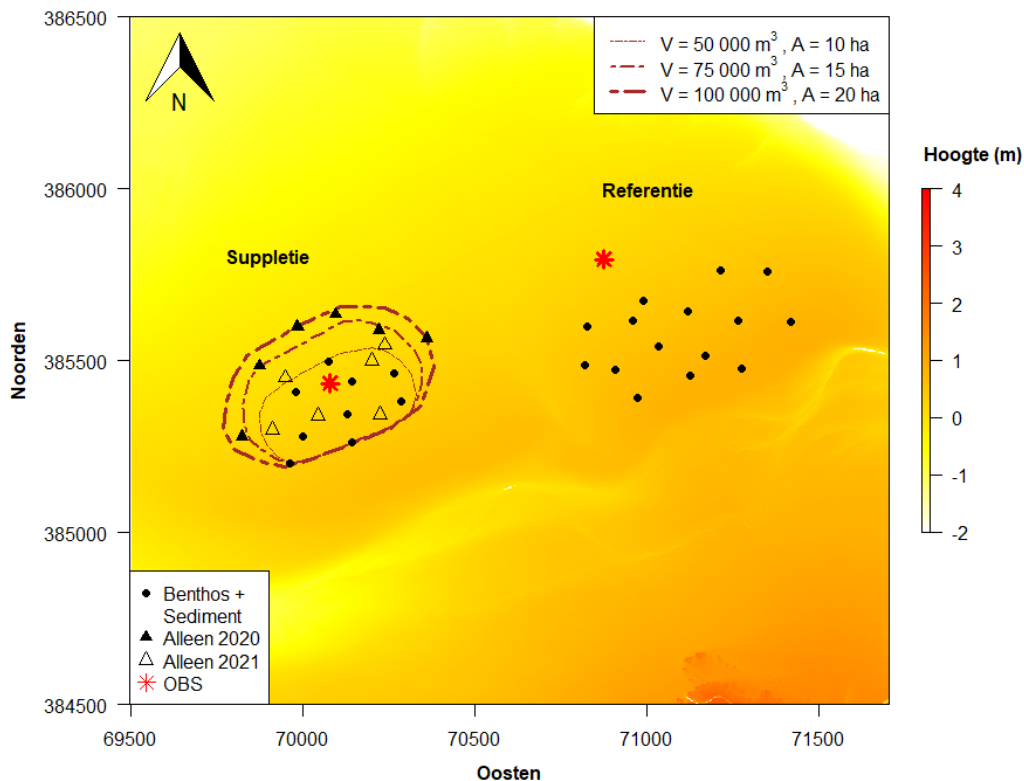


Figuur 1. Kaart van de Oosterschelde met het studiegebied vergroot. Het onderste figuur laat in detail het suppletie- en referentiegebied zien. Ter referentie zijn de drie verschillende suppletieontwerpen aangegeven. Coördinaten zijn in het rijksdriehoek-coördinatenstelsel.

2.2 Sedimentsamenstelling

Verwacht wordt dat toevoer van slibrijk sediment door suspensietransport effect heeft op het slibgehalte en sedimentsamenstelling van de bodem. Grootste veranderingen worden voornamelijk in de bovenste centimeters verwacht. Gezien dat dit project de T0 van een meerjarige monitoring was, zijn sedimentmonsters in zowel de bovenste 1 cm als de bovenste 3 cm genomen om later te kunnen zien (in het gestopt T1 – T5 project) of er een fijne laag slib (top cm) zou ontstaan en of het snel weer zou wegspoelen. WMR heeft op 15 locaties per gebied sedimentmonsters genomen om de sedimentsamenstelling (slibgehalte, mediane korrelgrootte, verdeling sedimentsamenstelling, organisch-stofgehalte en bulkdichtheid) te bepalen (Figuur 2). De monsters zijn verzameld middels een spuit (~3cm Ø). Bij terugkomst op het lab zijn de monsters nat gewogen en daarna direct in een diepvries (-20°C) geplaatst. De 30 bemonsterlocaties van WMR waren gekozen op basis van de

hoeveelheid materiaal uit de drie verschillende suppletieontwerpen (50 000 – 100 000 m³ baggerspecie; Figuur 1). In het najaar van 2021 werd bekend dat de beschikbare hoeveelheid materiaal enigszins minder zou zijn dan gedacht ($\leq 45\ 000\ \text{m}^3$). In afwachting van de (gestopte) verkleining in het suppletieontwerp van 50 000 m³ naar $\leq 45\ 000\ \text{m}^3$, waren zes meetpunten in het suppletiegebied verplaatst in de 2021 campagne om ze binnen het nieuwe suppletie profiel te kunnen houden (Figuur 2; Tabellen B1 en B2).



Figuur 2. Overzicht van de meetlocaties (15 monsters uit het suppletiegebied en 15 uit het referentiegebied) voor sedimentsamenstelling (top 1 en 3 cm), benthos en troebelheid (OBS). Ter referentie zijn de verschillende suppletieontwerpen aangegeven. De zes meetpunten die in 2021 zijn verplaatst zijn aangegeven met de driehoekige markeringen. Coördinaten zijn in het rijksdriehoek-coördinatenstelsel.

2.2.1 Korrelgrootte

Na het invriezen van de sedimentmonsters zijn ze vervolgens gevriesdroogd, droog gewogen en ten slotte geanalyseerd door het analytische laboratorium van NIOZ om de korrelgrootteverdeling te bepalen, door middel van een laserdiffractie apparaat (Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer; McCave et al. 1986). De resultaten van de metingen bevatten onder andere de mediane korrelgrootte (D50 μm), en de vijf verdelingen: grof zand (500 – 1000 μm), medium zand (250 – 500 μm), fijn zand (125 – 250 μm), erg fijn zand (62.5 – 125 μm) en slib (< 63 μm), alle vijf in volumetrisch percentage.

2.2.2 Organisch-stofgehalte

Het organisch-stofgehalte is een maat van voedselbeschikbaarheid voor bodemetende bodemdieren. Uit precies dezelfde sedimentmonsters als voor de korrelgrootte zijn ze ook geanalyseerd op organisch-stofgehalte middels een prep-ashmethode. De gevriesdroogde monsters zijn in de oven geplaatst en daar bewaard bij 60 graden Celsius totdat het verschil in gewichtsafname per 30 minuten minder dan 0.1% wordt. Vervolgens is de oven naar 520 graden Celsius opgewarmd en de monsters onder deze temperatuur bewaard totdat het verschil in gewichtsafname per 30 min minder dan 0.1% was. Het verschil in gewicht vóór en na deze stap is een maat voor het organisch-stofgehalte (in g) per monster (gewijzigd van Leifeld et al. 2011).

2.2.3 Bulkdichtheid van het sediment

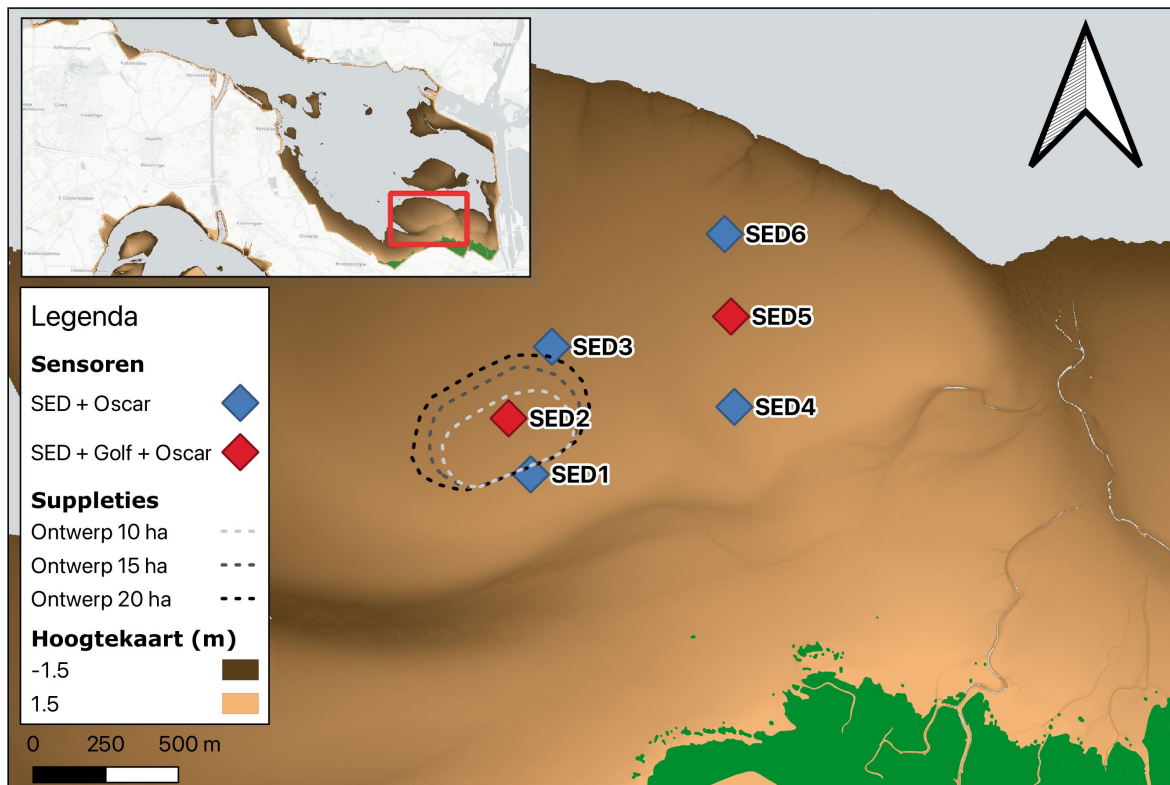
De bulkdichtheid (d.w.z., bodem gewicht per bodem volume) is een indicator van zowel het watergehalte als de sedimentverdichting (Grabowski et al. 2011), en is omgekeerd evenredig aan de porositeit van het sediment die een belangrijke invloed heeft op de chemie en het organisch-stofgehalte (Dowd et al. 2014; Gray & Elliott 2009), en ook van belang is voor de bodemdiergemeenschap. De bulkdichtheid van het sediment is berekend uit de verhouding van droog gewicht en het bemonsterde volume (g cm^{-3}).

2.3 Troebelheid

Na aanleg van de suppletie wordt aanvoer van slib richting het omliggende intergetijdengebied verwacht. Slibconcentratie in de waterkolom is gemeten middels de PME Cyclops-7 logger (OBS = troebelheidsmeters), met één sensor bij elk gebied (Figuur 2). De twee sensoren zijn gedurende meerdere implementaties ingezet om de tijdelijke veranderingen te meten. De metingen zijn met tussenpozen van 1 minuut, en later gemiddeld tot intervallen van 30 minuten om de gegevens glad te strijken en de uitbijters eruit te filteren.

2.4 Benthos (soortenrijkdom, dichtheid en biomassa)

Bemonstering is per locatie uitgevoerd middels drie steekbuizen van 10 cm in diameter (totale oppervlakte 0.0236 m^2), 35 cm diep te steken en (na samenvoegen) te zeven over een zeef (1 mm maaswijdte) in het veld. Per gebied zijn er 15 benthos monsters genomen op dezelfde locaties als de sedimentmonsters (Figuur 2). Het residu is naar het lab gebracht en gefixeerd middels formaline (minimaal 4% concentratie) en gekleurd met bengalaas voor verdere verwerking. In het lab zijn bodemdieren op naam gebracht en dichtheid en biomassa per soort en per locatie bepaald. Alle soorten zijn, zo mogelijk, tot op soortniveau gedetermineerd (anders naar het laagst mogelijke taxonomische niveau). De biomassa is bepaald door het natgewicht te meten, wat later naar drooggewicht omgezet is door de AFDW/natgewicht-conversiefactoren van de literatuur (Craeymeersch & Escaravage 2014). Tevens is in het veld een inschatting gemaakt van de bodemdieren door de aan het oppervlakte zichtbare wadpierhoopjes (*Arenicola marina*) binnen een kwadrant van 0.25 m^2 te tellen. Op iedere locatie is het kwadrant 10 keer willekeurig op het slik gelegd en zijn de wadpierhoopjes binnen het kwadrant geteld en later samen met de andere tellingen toegevoegd.



Figuur 3. Overzicht van de meetlocaties op het referentie en suppletiegebied. Suppletiegebied: SED1-3; Referentiegebied: SED4-6. Schor van Rattekaai: groen.

Om de hydrodynamische condities en de veranderingen en eigenschappen van de bodem die daarmee samenhangen in kaart te brengen vóór aanleg van de slibsuppletie is er door het NIOZ ingestoken op een drietal type metingen: 1) golven; 2) verandering in bodemhoogte; en 3) kritische bodemschuifspanning. Deze zijn gemeten op in totaal 6 meetstations (Figuur 3), waarvan 3 liggen in het suppletiegebied (stations SED1 t/m SED3) en de andere drie in het referentiegebied naast de geplande suppletie (stations SED4 t/m SED6).

2.5 Golven en sedimentdynamiek

Binnen Natuurimpuls zijn 6 SED (Surface Elevation Dynamic) sensoren en 2 golfsensoren (Ocean Sensor Systems Inc., OSSSI) ingezet om gegevens te verzamelen over de sedimentdynamiek en golfhoogte. Beide type sensoren kunnen relatief lang standalone functioneren in verhouding tot andere vergelijkbare sensoren. Hiermee is een doorlopend beeld ingewonnen over de sedimentdynamiek en golfklimaat op de specifieke locaties (Figuur 3). Doordat de werking van OSED-sensoren is gebaseerd op de aanwezigheid van voldoende licht meten deze sensoren alleen veranderingen in de bodemhoogte tijdens de droogvalperiode, dus zonder bovenstaand water onder condities met voldoende daglicht (Hu et al. 2015). SED-sensoren verkrijgen data van de bodemhoogte in hoge verticale (2 mm) en temporele (dagelijks) resolutie (Hu et al. 2015). Voor het meten van golven is gebruik gemaakt van OSSSI-sensoren. De golfsensoren zijn geïnstalleerd op een hoogte van 10 cm boven het sedimentbed, en meten met een frequentie van 5Hz voor 7 minuten met een 15-minuut interval tussen de metingen.

Er hebben twee meetperiodes plaatsgevonden, tussen 10-11-2020 en 25-06-2021. Gedurende de winterperiode hebben 4 SED-sensoren goed gefunctioneerd (SED 1, 3, 5 en 6). In het voorjaar heeft een grote uitval plaatsgevonden en hebben twee sensoren goed gefunctioneerd (SED 1 en 6). De golfsensoren hebben geen problemen gehad tijdens de meetperiode. Verlies van elektronische instrumenten door hydrodynamische condities en algen aangroei is echter niet volledig te vermijden.

2.6 Kritische bodemschuifspanning en bodemeigenschappen

De kritieke bodemschuifspanning in het suppletie- en referentiegebied is gemeten met de OsCaR-flume (Figuur 3; de Smit et al., 2021), waarin golfwerking over een bodem van een slikplaat wordt nagebootst. De erodeerbaarheid van het sediment wordt gemeten door langzaam maar zeker de golfsnelheid te verhogen, terwijl een turbiditeitsensor (troebelheidsmeters) wordt gebruikt om de troebelheid te monitoren. De kritieke snelheid voor sedimentsuspensie is de snelheid op het moment dat resuspensie, en dus erosie, van het sediment begint. Uit de kritieke snelheid is de kritieke bodemschuifspanning berekend, zoals in de Smit et al. (2021).

In november 2020 en juni 2021 zijn verspreid over het gebied zes sedimentmonsters voor bepaling in de OsCaR-flume genomen. Deze zijn om de beurt in de flume geplaatst en de kritieke bodemschuifspanning van deze monsters is bepaald. Uit de OsCaR-monsters zijn sedimentmonsters genomen om sedimenteigenschappen te analyseren. Deze bodemmonsters zijn in verschillende lagen genomen; 0-1 cm, 1-2 cm, 2-3 cm, 3-5 cm, 5-7 cm, 7-10 cm, 10-15 cm en 15-20 cm. Van deze bodemmonsters zijn de bulkdichtheid en het vochtgehalte bepaald door de monsters nat te wegen, te drogen en droog te wegen. De bulkdichtheid is gelijk aan het drooggewicht gedeeld door het volume van het monster. Het vochtgehalte is gelijk aan het verschil tussen nat en droog gewicht (gelijk aan het gewicht van water) gedeeld door het natte gewicht. De D50 van het sediment is geanalyseerd met een Malvern (zie 2.2.1). Organisch koolstof is ook bepaald met een Flash2000 organic elemental analyzer (Nieuwenhuize et al. 1994). Bodemschuifsterkte is daarnaast op de zes locaties waar de OsCaR-monsters zijn genomen gemeten met een pocket vane tester (Eijkelkamp, <https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/pocket-vane-tester.html>) met vijf replica's.

Verder zijn er ook bodemmonsters genomen op 56 locaties verspreid over het gebied in beide campagnes. Deze bodemmonsters zijn genomen van 0 tot 3 cm diep. Van deze bodemmonsters zijn de bulkdichtheid en het vochtgehalte bepaald door de monsters nat te wegen, te drogen en droog te wegen. De bulkdichtheid en vochtgehalte zijn bepaald zoals hierboven beschreven. De D50 van deze sedimentmonsters zijn geanalyseerd met een Malvern deeltjesgrootte bepaler en de organische koolstof met de Flash2000 analyzer.

Ten slotte is de penetratieweerstand van de bodem gemeten met een penetrologger (Eijkelkamp, <https://www.eijkelkamp.com/producten/veldmeetapparatuur/penetrologger-set-a.html>) op zes locaties in het gebied (SED1-6, zelfde locaties als waar de OsCaR-cores zijn genomen) in november 2020 en juni 2021. Er zijn steeds vijf replica's gemeten.

2.7 Morfologische verandering aan de hand van remote sensing op lage hoogte

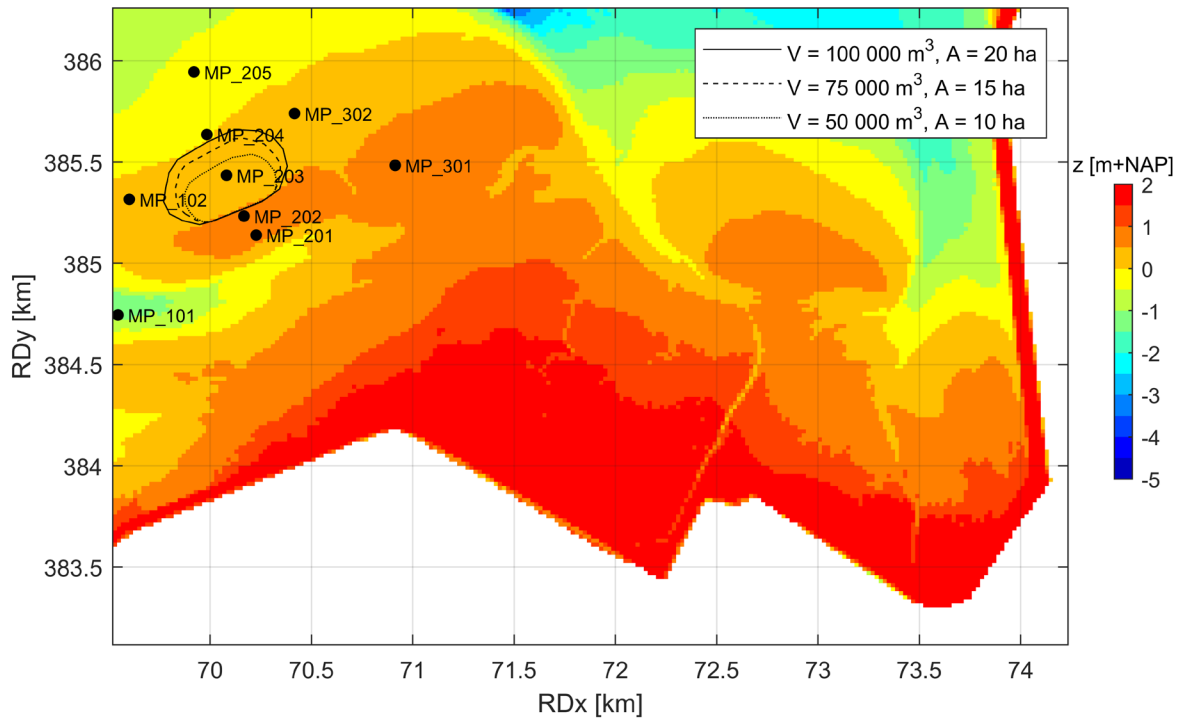
Het monitoren van de morfologische ontwikkeling van de suppletie zou gebeuren met behulp van remote sensing door middel van 'structure-from-motion' op basis van fotogrammetrie. Daarvoor zijn beelden ingewonnen op lage hoogte met een drone (quadkopter) als platform voor een RGB en multispectrale camera. RGB of multispectrale dronebeelden waren gepland zowel vóór aanleg van de suppletie T0 en vervolgens na aanleg (T1 – T5) om de verandering in kaart te kunnen brengen. Omdat de suppletie niet is uitgevoerd is ervoor gekozen de ingewonnen data voor de T0 niet verder te verwerken en meer focus te zetten op het uitwerken van de SED sensor metingen van de sedimentdynamiek.

2.8 Hydrodynamiek - stroming

Omdat de suppletie niet is uitgevoerd, valt een detailanalyse van de ADCP data buiten de focus van deze rapportage. Wel wordt hier kort ingegaan op de inhoud en potentie van deze data voor eventuele toekomstige analyses.

Op 9 locaties zijn in de periode 19 januari – 16 februari 2021 op het slik van Rattekaai 10-minuten gemiddelde ADCP metingen uitgevoerd (Figuur 4). De bodemligging verschilde tussen de

locaties van NAP-1.29 m tot NAP+0.61 m. Deze stromingsdata is waardevol voor een beoordeling van de lokale sterkte van de stroming en de processen (zoals wind en getijvariatie) deze stroming beïnvloeden. Als het suppletieproject doorgang had gevonden, was deze data ook heel geschikt geweest voor de beoordeling van de invloed van de suppletie op de stroming en de validatie van de modellering. Dergelijke modellering draagt bij aan begrip van de morfologische ontwikkelingen en geeft inzicht of waardevolle condities voor de ecologie ontstaan. De voorziene lokale verstoring van de stroming door de suppletie is de reden waarom 9 instrumenten op een relatief lokale schaal zijn ingezet. Zonder de aanwezigheid van de suppletie is de stroming over het slik relatief uniform over de ruimte.



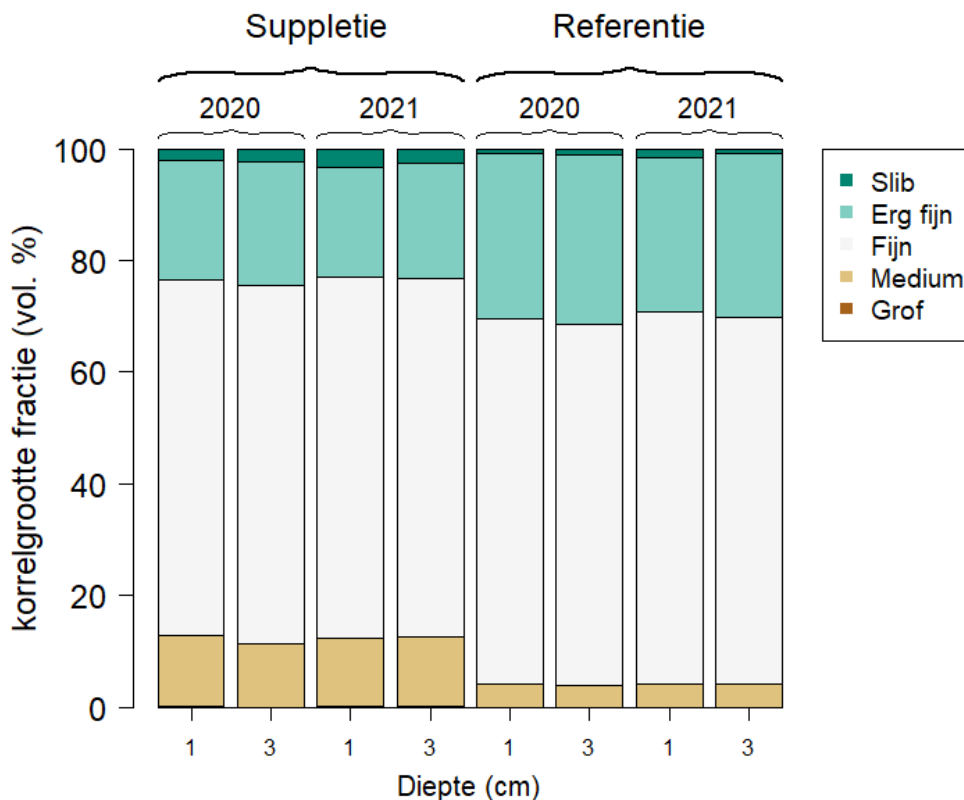
Figuur 4. Meetlocaties ADCP metingen. Op de achtergrond is de hoogteligging (Vaklodingen data) weergegeven en de verschillende suppletieontwerpen zijn getoond ter referentie.

3 Resultaten

3.1 Sedimentsamenstelling

3.1.1 Korrelgrootte en slibgehalte

De bodem van beide gebieden bestaat over het algemeen uit fijnzandig sediment (fijn en erg fijn). Bij zowel het suppletiegebied als het referentiegebied komen relatief lage slib concentraties ($\leq 3\%$) voor en de fractie grof zand (500 – 1000 μm) is bijna niet aanwezig. De grootste sedimentfractie bestaat uit fijn zand (Figuur 5). Het verschil tussen de gebieden is wat groter dan tussen de jaren en dieptes.



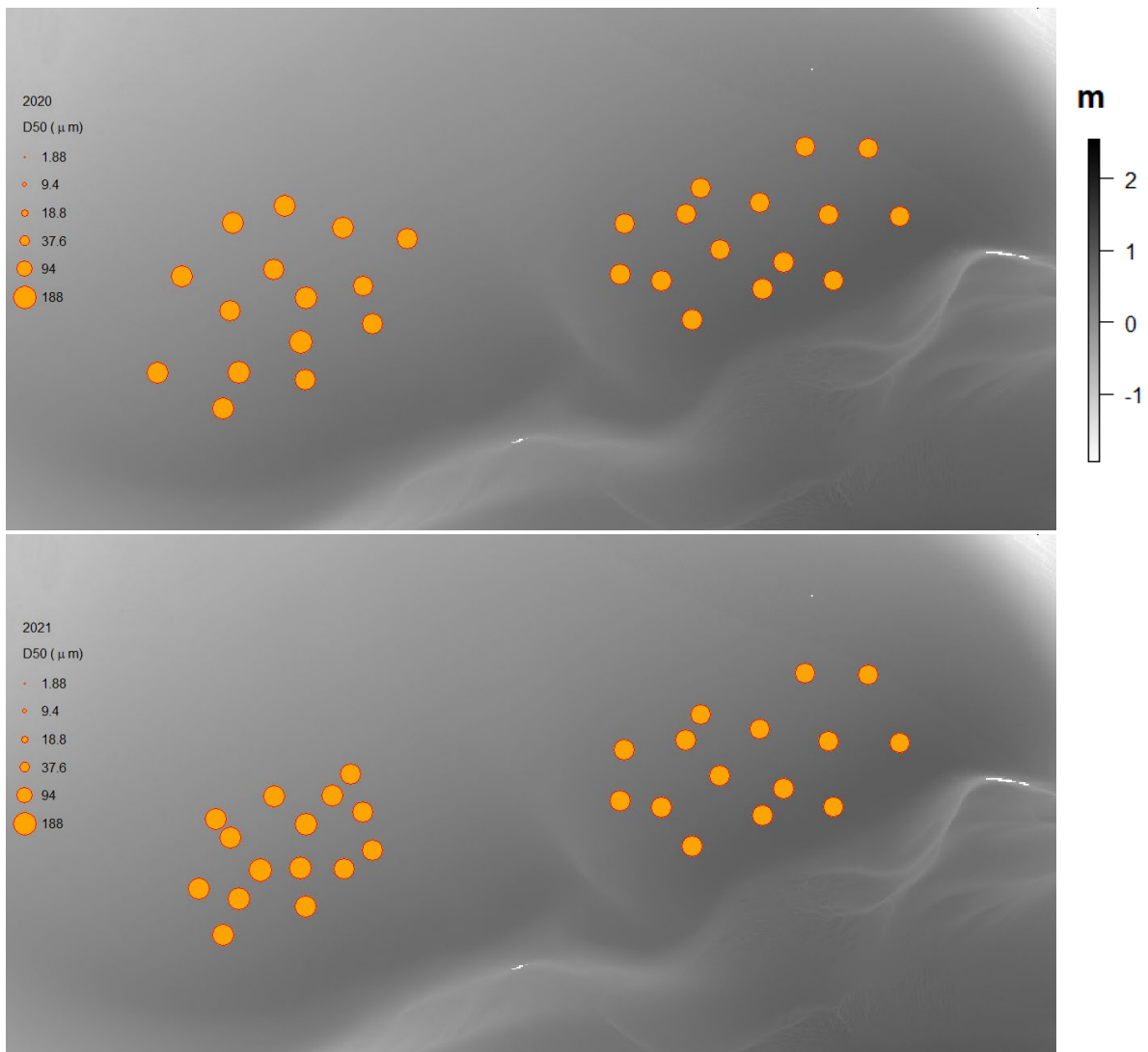
Figuur 5. Verdeling sedimentsamenstelling tussen de gebieden, de jaren en per sedimenttype (1 cm en 3 cm diepte). Waarden zijn gemiddeld (15 monsters) per diepte per gebied.

Er zitten wel kleine verschillen tussen de dieptes voor de fracties slib, erg fijn, medium en grof zand, maar dit zijn allemaal niet statistisch significant ($p > 0.05$). De verschillen zijn groter tussen de gebieden dan tussen de jaren of tussen de dieptes binnen elk gebied, maar dit zijn grotendeels ook niet significante verschillen ($p > 0.05$). De fractie grof zand (vanwege de 3 cm diepte; $p < 0.03$) en de slibfractie in de top 1 cm ($p < 0.007$) zijn wel verschillend tussen de twee gebieden in zowel 2020 als 2021. In alle gevallen zijn er geen significant verschillen tussen de monsters genomen tot 1 cm diepte en deze genomen tot 3 cm diepte (beide jaren en gebieden). Tussen de twee gebieden zijn er wel significante verschillen behalve met de grof en medium fractie in 2020, en de fijn fractie in zowel 2020 als 2021. Een visuele weergave van de korrelgrootteverdelingen van de individuele monsters is te vinden in de bijlage (Figuren B1 en B2).

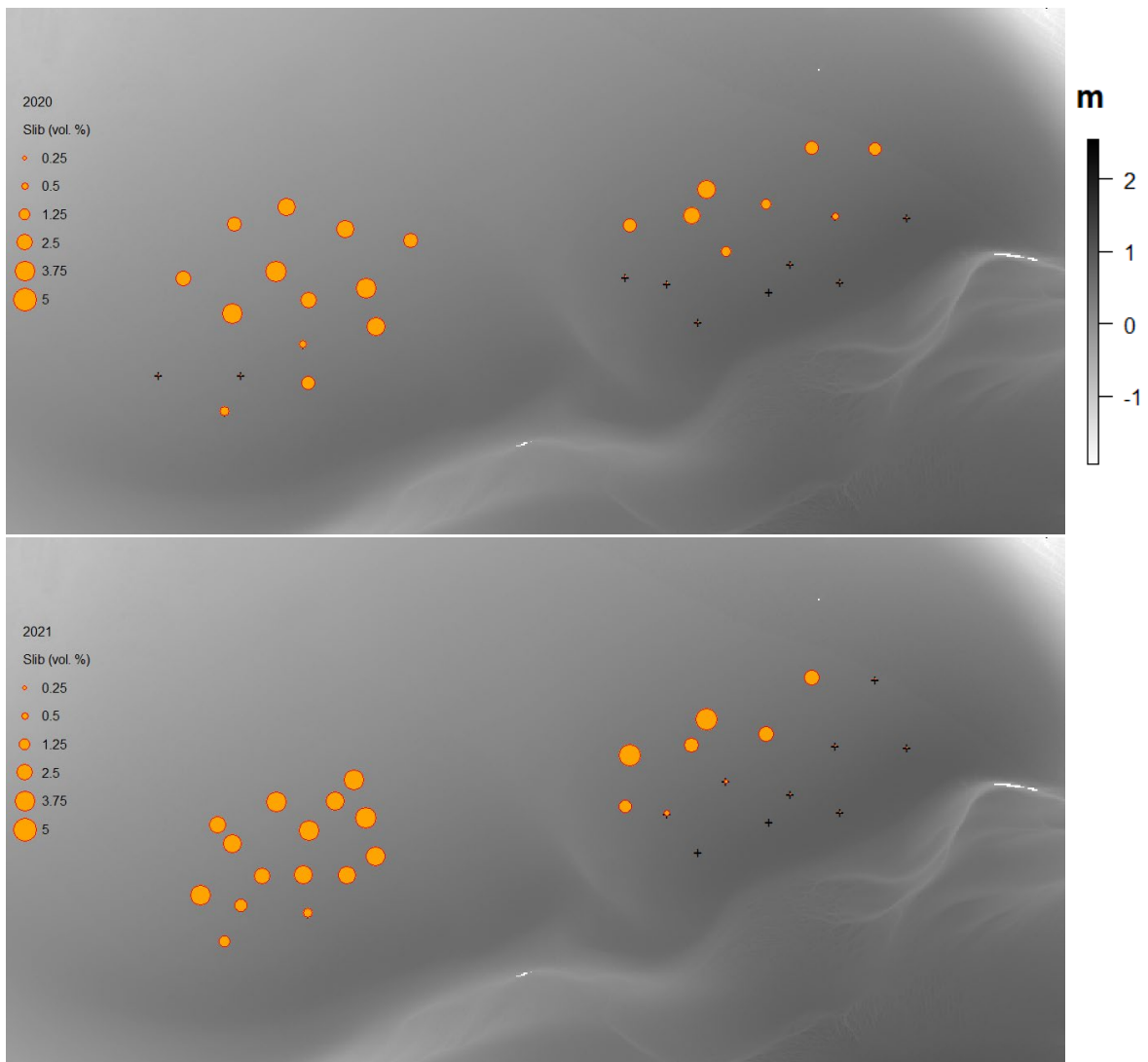
De gemiddelde mediane korrelgrootte (D_{50}) voor het suppletiegebied (beide dieptes gecombineerd) is $163.4 \pm 11.7 \mu\text{m}$ voor het suppletiegebied in 2020 en $165 \pm 9.5 \mu\text{m}$ in 2021. Voor het referentiegebied is dit enigszins lager met $146.9 \pm 5 \mu\text{m}$ in 2020 en $148 \pm 3.9 \mu\text{m}$ in 2021. Het slibgehalte ($< 63 \mu\text{m}$) in het suppletiegebied in 2020 is $2.2 \pm 1.5 \%$ en enigszins hoger met 2.9 ± 1.1

% in 2021. In het referentiegebied is dit weer wat lager met 0.9 ± 1.4 % in 2020 en 1.14 ± 1.8 % in 2021. Tussen de gebieden komt wat verschillen grotendeels overeen met de medium en erg fijn fracties. De ruwe data zijn te vinden in Tabellen B1-B4.

De ruimtelijke verspreiding van de mediane korrelgrootte (D50) en slibfractie in de gebieden is te zien in Figuren 6 en 7. Beide sedimentkarakteristieken variëren weinig binnen de gebieden. De ruimtelijke verdeling van de andere fracties zijn te vinden in de bijlage (Figuren B3 – B6).

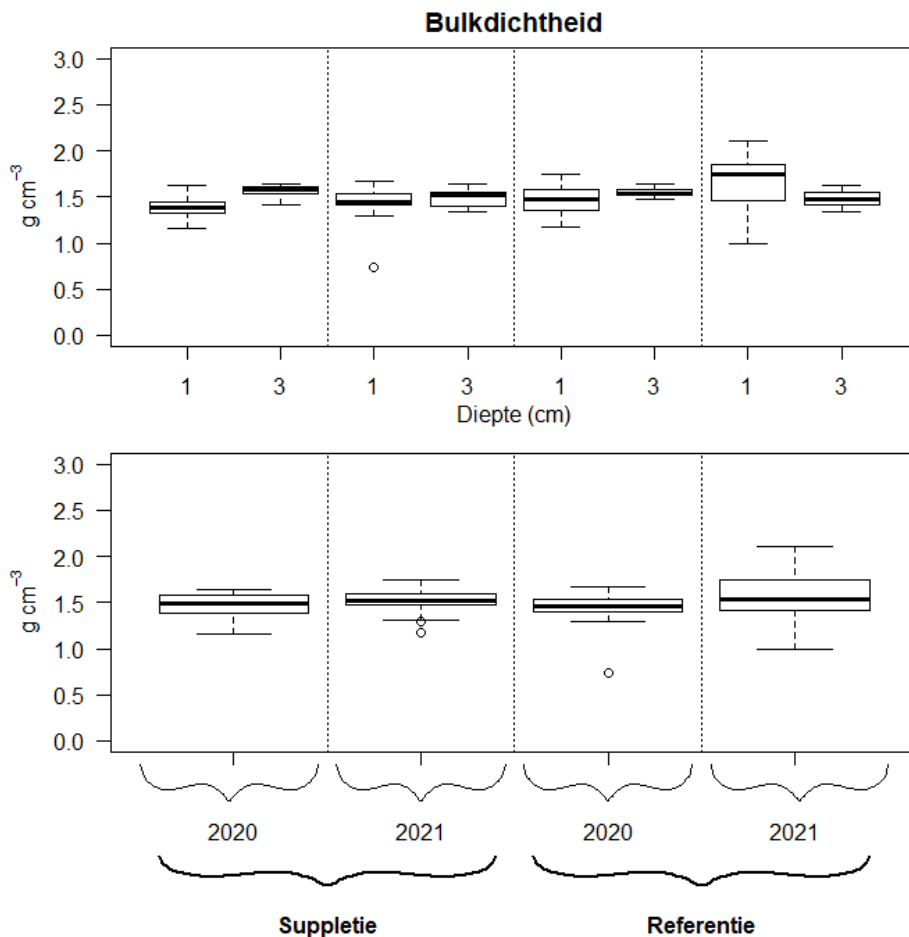


Figuur 6. Mediane korrelgrootte (D50) per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe grover het sediment. Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.



Figuur 7. Slibpercentage per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe slibrijker het sediment. Stations die geen grof sediment bevatten, zijn aangegeven met een kruis. Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.

3.1.2 Bulkdichtheid

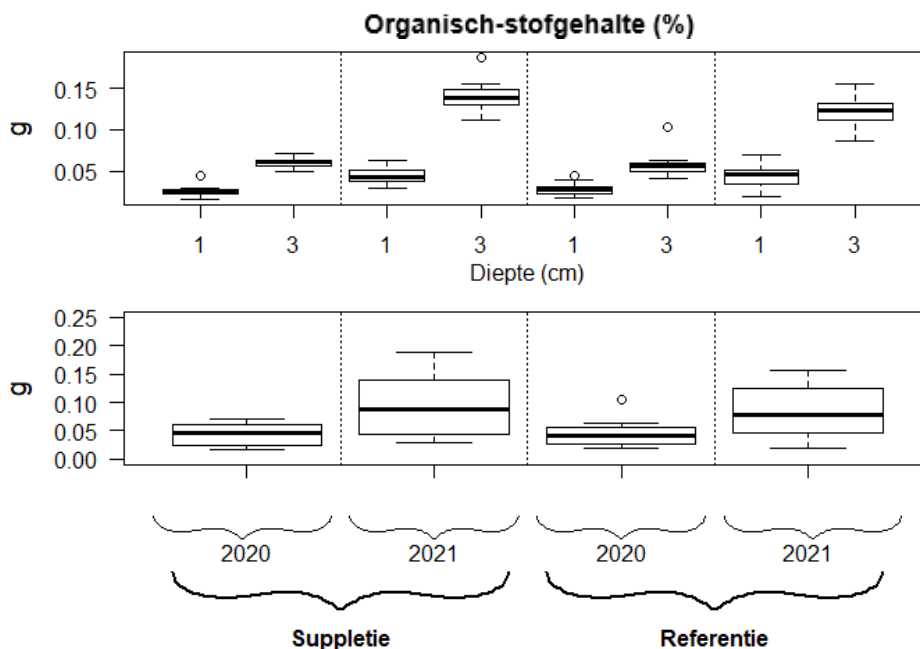


Figuur 8. Gemiddelde (15 monsters) bulkdichtheid in de gebieden (suppletie en referentie) en per jaar (2020 en 2021). Het bovenste paneel toont de monsters genomen tot 1 cm diepte en deze genomen tot 3 cm diepte. In het onderste paneel zijn de monsters van de twee dieptes gecombineerd (30 monsters gemiddeld).

De bulkdichtheid is gemiddeld $1.4 \text{ g/cm}^3 \pm 0.14$ (top 1 cm) en 1.6 ± 0.06 (top 3 cm) in 2020 en 1.5 ± 0.3 (top 1 cm) en 1.5 ± 0.09 (top 3 cm) in 2021. De twee dieptes zijn niet significant verschillend, maar een beetje hoger in de 3 cm. De 1 cm diepte bij het referentiegebied in 2021 was wel iets hoger en heeft eigenlijk de hoogste bulkdichtheid (Figuur 8). Maar bulkdichtheid varieert niet veel tussen de gebieden, dieptes of jaren in het algemeen. Alleen de 3 cm monsters tussen 2020 en 2021 (voor zowel de suppletie- als de referentiegebieden) zijn significant anders ($p = 0.013$ en 0.032). Alle andere vergelijkingen laten geen statistische verschillen zien en er blijkt geen duidelijke trends over de gebieden of jaren heen. De sedimentverdichting op diepte is weinig veranderd tussen 2020 en 2021.

3.1.3 Organisch-stofgehalte

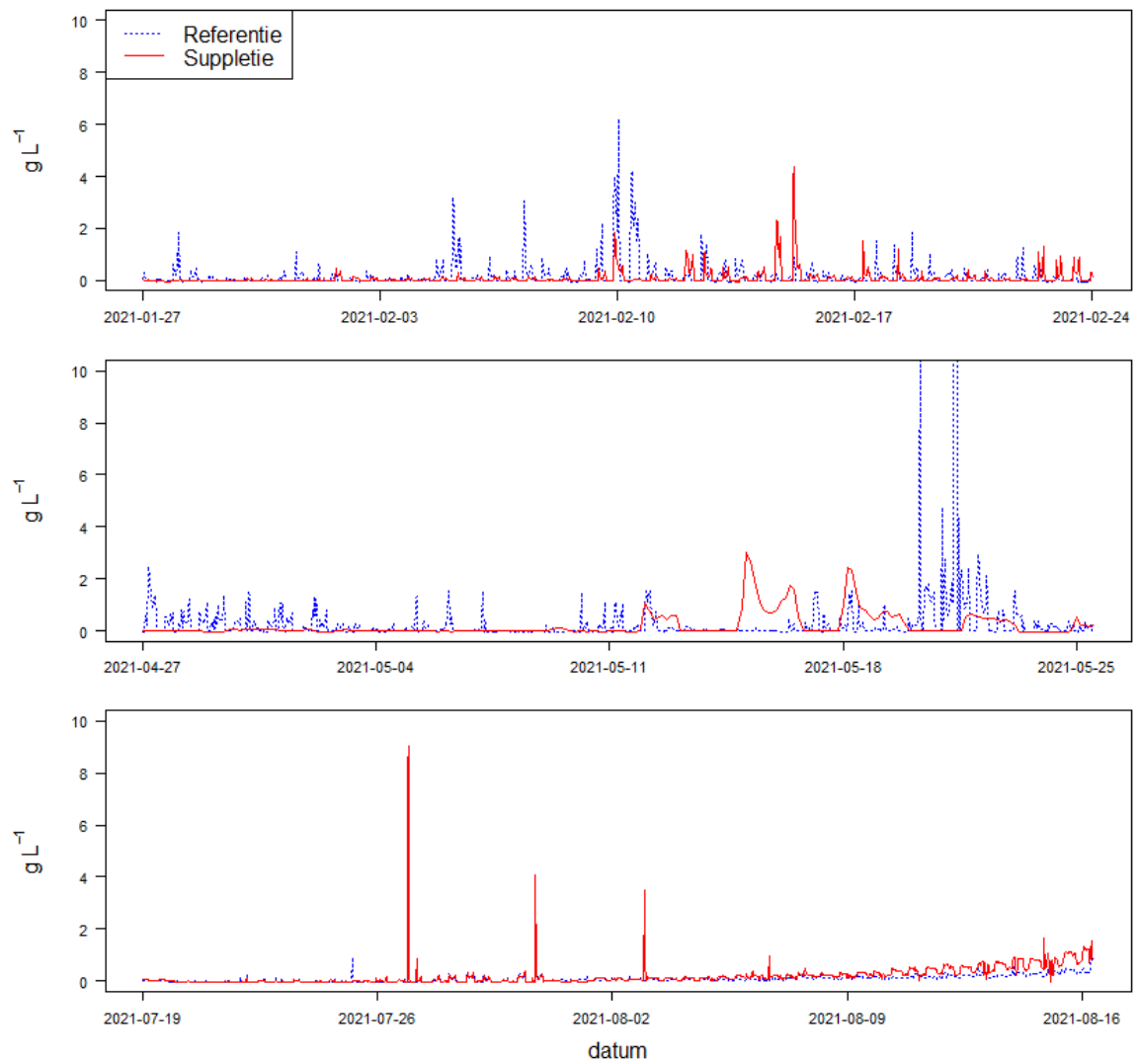
Vergeleken met de andere sedimentkarakteristieken zijn er wel wat meer verschillen in het organisch-stofgehalte, voornamelijk tussen de twee jaren en dieptes maar niet tussen de gebieden (voor zelfde jaar; Figuur 9). Er lijken geen significante verschillen tussen de suppletie- en referentiegebieden. Dit geldt ook voor de vergelijking van de 1 en 3 cm resultaten afzonderlijk tussen de twee gebieden binnen elk jaar. Echter zijn de waardes significant anders met betrekking tot de diepte en het jaar ($p < 0.005$). Verder is het organisch-stofgehalte hoger in 2021 dan in 2020 in alle gevallen.



Figuur 9. Gemiddeld organisch-stofgehalte (prep-ashmethode) tussen de gebieden (suppletie en referentie) en jaren (2020 en 2021). Het bovenpaneel toont de monsters genomen tot 1 cm diepte en deze genomen tot 3 cm diepte. In het onderste paneel zijn de monsters van de twee dieptes gecombineerd (gemiddeld).

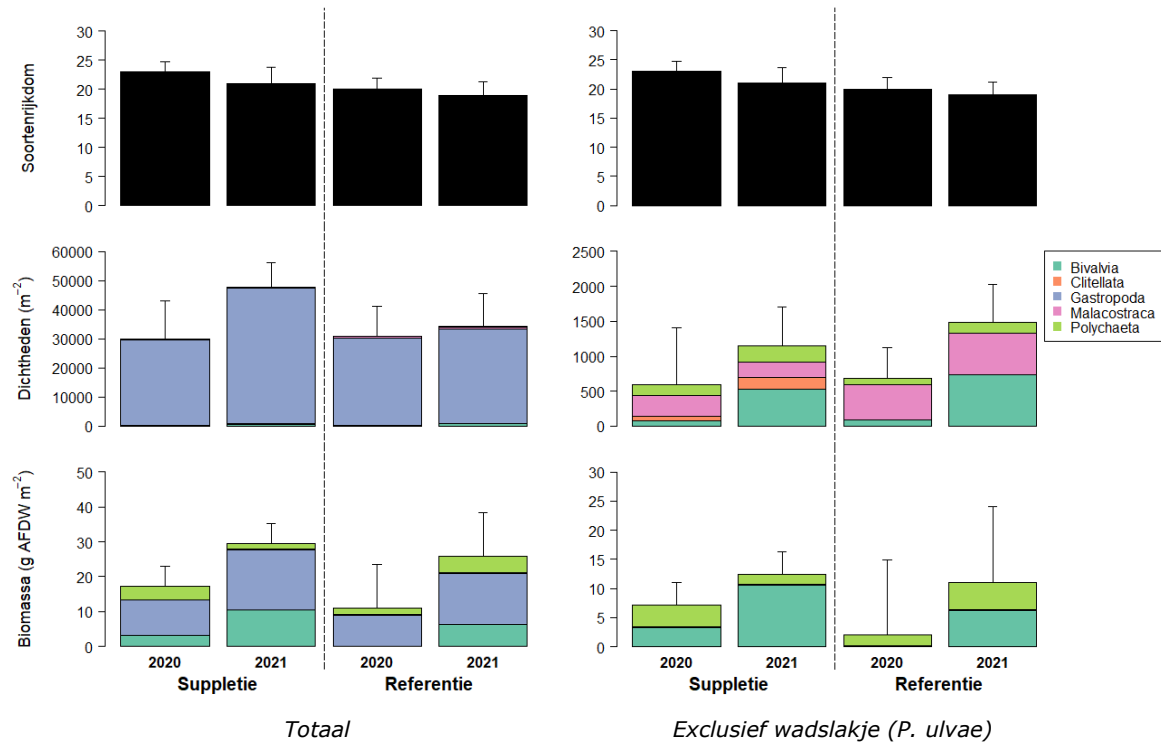
3.2 Troebelheid (zwevend stofconcentratie)

De sensoren zijn sinds 27 januari 2021 ingezet op de referentie- en suppletiegebieden. Er zijn gedurende drie meetperiodes gegevens verzameld. De meettijden tussen de twee sensoren zijn op elkaar afgestemd. Verder zijn de gegevens gemiddeld in intervallen van 30 minuten om de ruis te minimaliseren. In de eerste meetperiode (januari – maart 2021) gaf het referentiegebied in het algemeen een redelijke hoger signaal met de troebelheid (0.15 ± 0.28 g/L versus 0.07 ± 0.46 g/L), vooral in het midden van de onderzoeksperiode vergeleken met het suppletiegebied (Figuur 10, bovenpaneel). In de tweede meetperiode zijn de concentraties ongeveer drie keer hoger, met nog een hogere concentratie in het referentiegebied (0.46 ± 4.5 g/L) dan in het suppletiegebied (0.2 ± 0.48 g/L; Figuur 10, middelste paneel). In de derde meetperiode is de concentratie bij het suppletiegebied (0.2 ± 0.44 g/L) wat hoger dan in het referentiegebied (0.08 ± 0.13 g/L; onderste paneel), met een geleidelijke toename naar het einde van de periode vooral bij het suppletiegebied (Figuur 10, onderste paneel).



Figuur 10. OBS data uit de referentie- en suppletiegebieden (1 sensor op elke plaat). De meettijd tussen de twee sensoren is op elkaar afgestemd.

3.3 Benthos



Figuur 11. Soortenrijkdom, dichtheid en biomassa per jaar binnen het suppletie- en referentiegebied, met (links) en zonder (rechts) het wadslakje (*Peringia ulvae*). Merk op dat schalen verschillen.

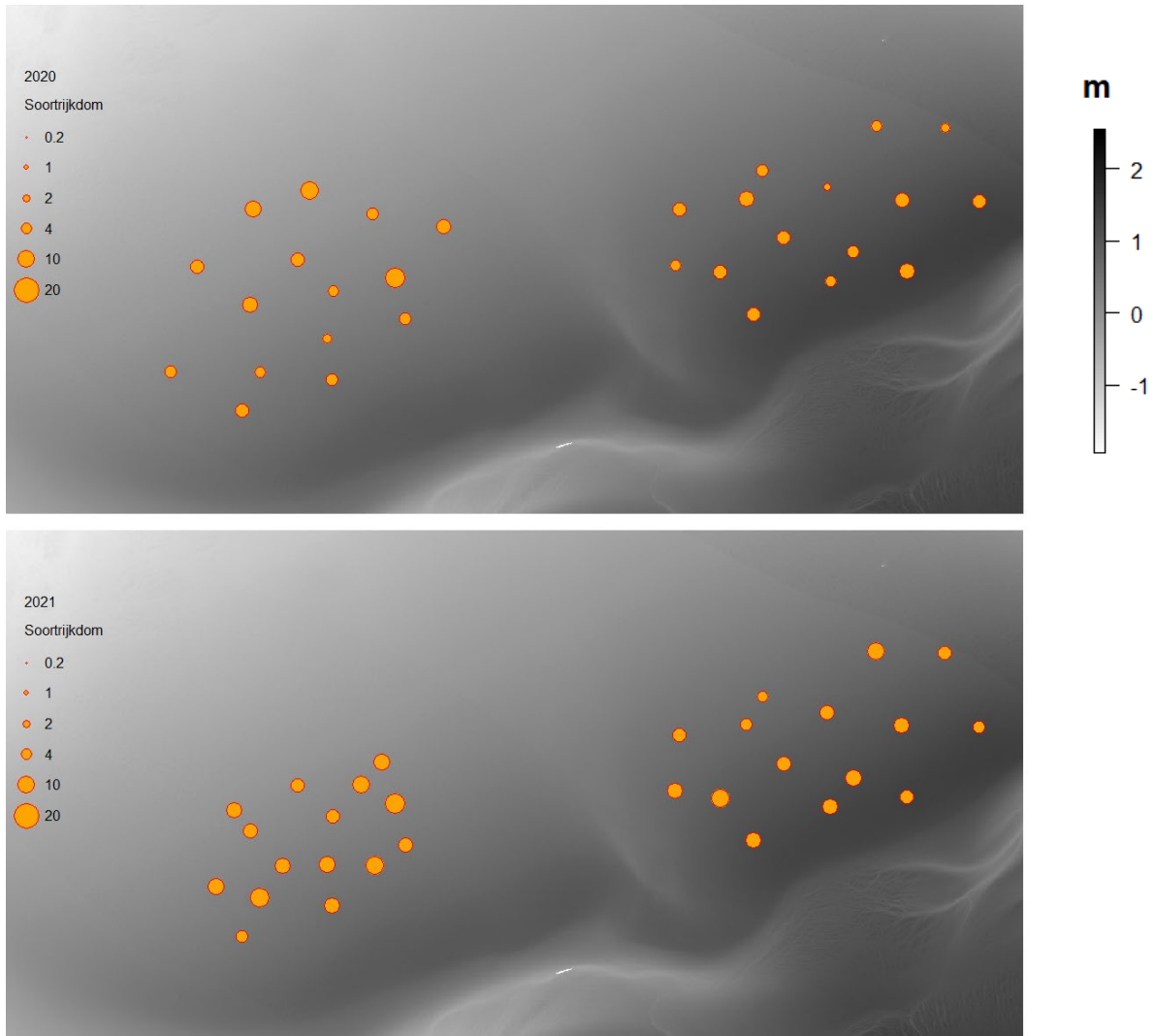
3.3.1 Soortenrijkdom

Op alle 30 bemonsterde locaties is benthos (bodemdieren) aangetroffen in het najaar 2020 en 2021 (Figuur 2). Het aantal soorten in de twee gebieden is vergelijkbaar en iets hoger in 2020 dan in 2021 (23 versus 21 in het suppletiegebied en 20 versus 19 in het referentiegebied; Figuur 11, Tabel B5), maar het gemiddelde aantal taxa per locatie is niet significant verschillend tussen het referentie- en suppletiegebied in zowel 2020 als 2021. Er zijn wel significante verschillen tussen de jaren voor het suppletiegebied ($p = 0.03$) en het referentiegebied ($p = 0.009$). Zie tabel 2 voor een overzicht van de meest voorkomende soorten per jaar en per gebied.

Tabel 2. Overzicht van de 5 meest voorkomende benthos soorten in het suppletie- en referentiegebied in 2020 en 2021 met het percentage van voorkomen van alle bemonsterde locaties per gebied.

	Suppletiegebied		Referentiegebied	
	2020	2021	2020	2021
1	wadslakje (<i>P. ulvae</i> ; 100%)	wadslakje (<i>P. ulvae</i> ; 100%)	wadslakje (<i>P. ulvae</i> ; 100%)	wadslakje (<i>P. ulvae</i> ; 100%),
2	vlokreeftensoort (<i>Corophium arenarium</i> 73%)	kokkel (<i>Cerastoderma edule</i> ; 100%)	vlokreeftensoort (<i>C. arenarium</i> 73%)	kokkel (<i>C. edule</i> ; 100%)
3	borstelworm (<i>Hydroteleone foliosa</i> ; 60%)	vlokreeftensoort (<i>C. arenarium</i> 73%)	bulldozerkreeftje (<i>U. poseidonis</i> ; 73%)	vlokreeftensoort (<i>C. arenarium</i> 87%)
4	slangpier (<i>Capitella</i> ; 47%)	borstelworm (<i>Spio martinensis</i> ; 73%)	kokkel (<i>C. edule</i> ; 67%)	bulldozerkreeftje (<i>U. poseidonis</i> ; 80%)
5	bulldozerkreeftje (<i>Urothoe poseidonis</i> ; 47%)	gewone garnaal (<i>Crangon crangon</i>) en zandpijp (<i>Pygospio elegans</i>); 67%	slangpier (<i>Capitella</i> ; 40%)	slangpier (<i>Capitella</i>) en zandpijp (<i>P. elegans</i>); 53%

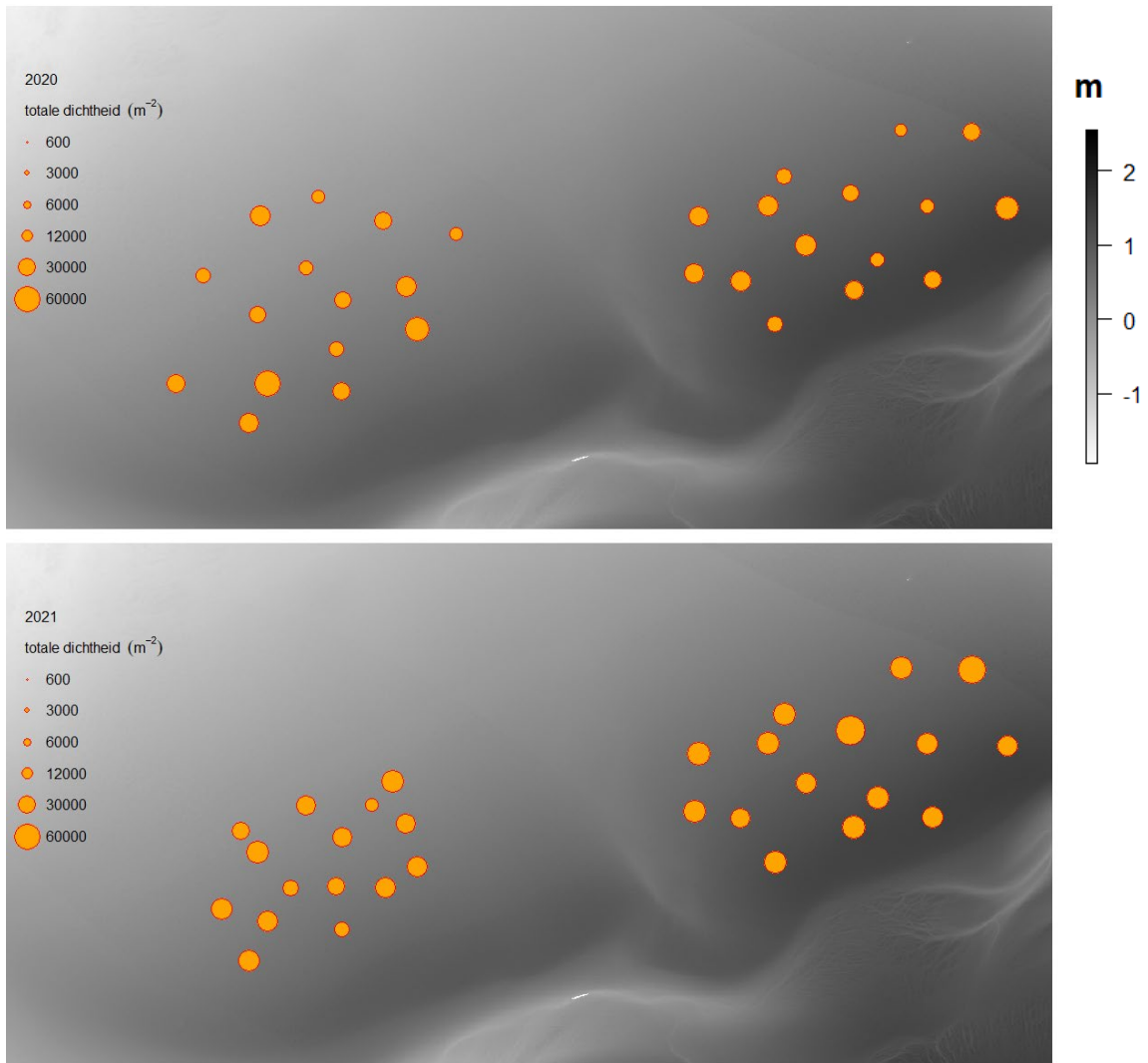
Een aantal soorten zijn wezenlijk afgenomen of toegenomen tussen de twee jaren (Tabel B5), zoals met de sterke afneming van de borstelworm (*H. foliosa*). Daarnaast zijn soorten zoals de kokkel, borstelworm (*S. martinensis*) en nonnetje (*Macoma balthica*) en gewone garnaal sterk toegenomen. Vooral opvallend is het meest voorkomende soort het wadslakje (*P. ulvae*), met 100% voorkomen bij alle locaties in beide gebieden en jaren. Deze soort vormt ook een enorm deel van de totale dichtheid en vervolgens, ook de biomassa. Figuur 12 laat de ruimtelijke verspreiding van de soortenrijkdom zien.



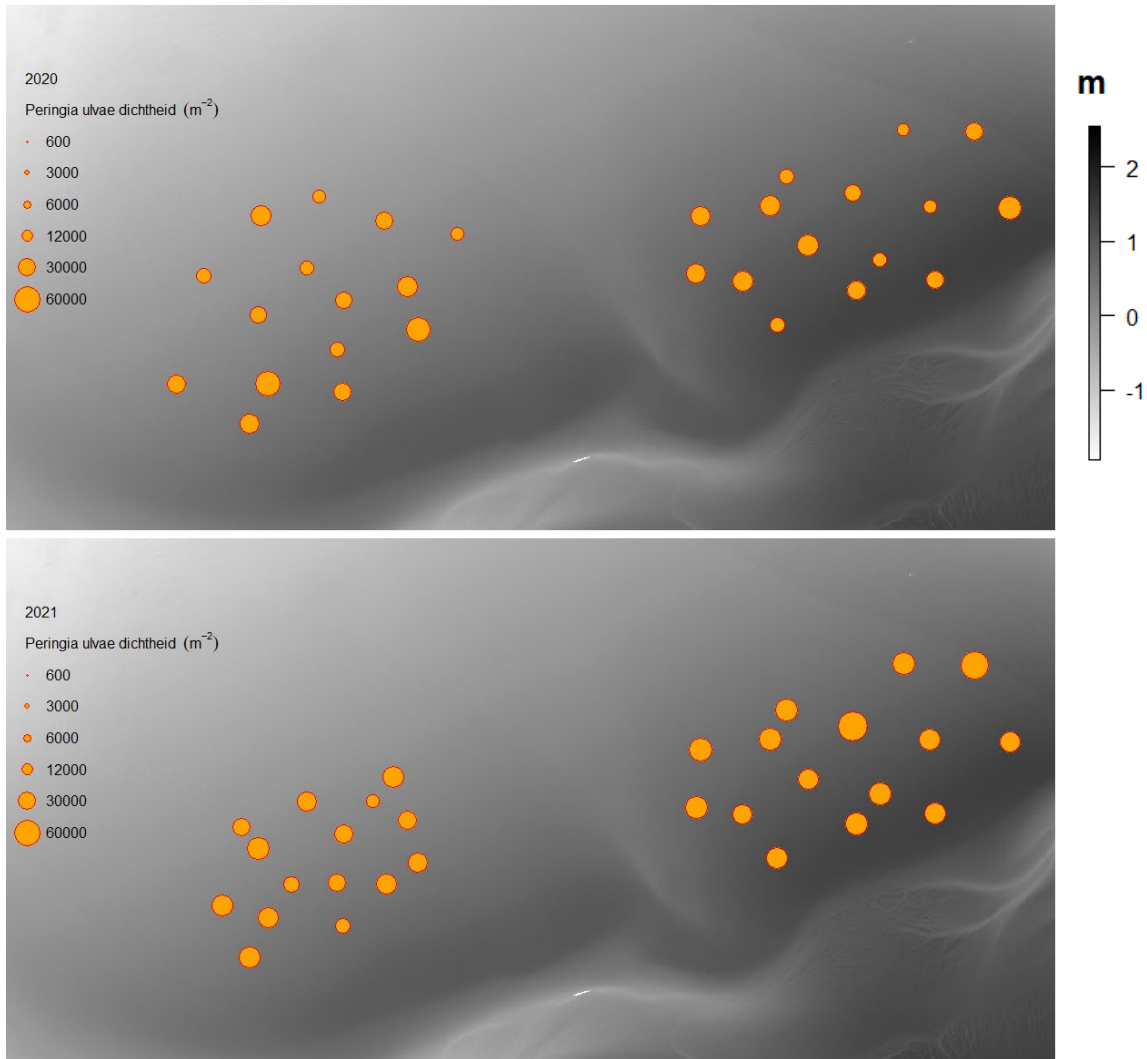
Figuur 12. Soortenrijkdom (aantal soorten) per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe meer soorten. Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.

3.3.2 Dichtheid

Er zijn geen significante verschillen in dichtheid tussen het referentie- en suppletiegebied ($p > 0.05$) in zowel 2020 als 2021. Er zijn wel significante verschillen tussen de jaren voor het suppletiegebied ($p = 0.005$) en het referentiegebied ($p = 0.004$). De totale dichtheden per gebied verschillen wat ruimtelijk en laten een toename van 2020 tot 2021 zien (Figuur 13, Tabel B6). Het wadslakje (Figuur B7) heeft in alle gevallen de allergrootste dichtheid (ruim 95% van het totaal) in beide gebieden in beide jaren (van $29\,449 \pm 10\,247$ ind. m^{-2} tot $46\,594 \pm 11\,253$ ind. m^{-2}). In het suppletiegebied in 2021 is het sterk toegenomen. Figuur 14 laat zien dat de totale dichtheid (alle soorten) en dichtheid van het wadslakje bijna hetzelfde zijn. Ter vergelijking is de tweede grootste dichtheid in 2020 van het bulldozerkreeftje in zowel het suppletiegebied (192 ± 460 ind. m^{-2}) als het referentiegebied (385 ± 756 ind. m^{-2}). In 2021 is de kokkel in zowel het suppletiegebied (453 ± 165 ind. m^{-2}) als het referentiegebied (693 ± 476 ind. m^{-2}) de tweede hoogste dichtheid, wat sterk toegenomen is vergeleken met 2020.



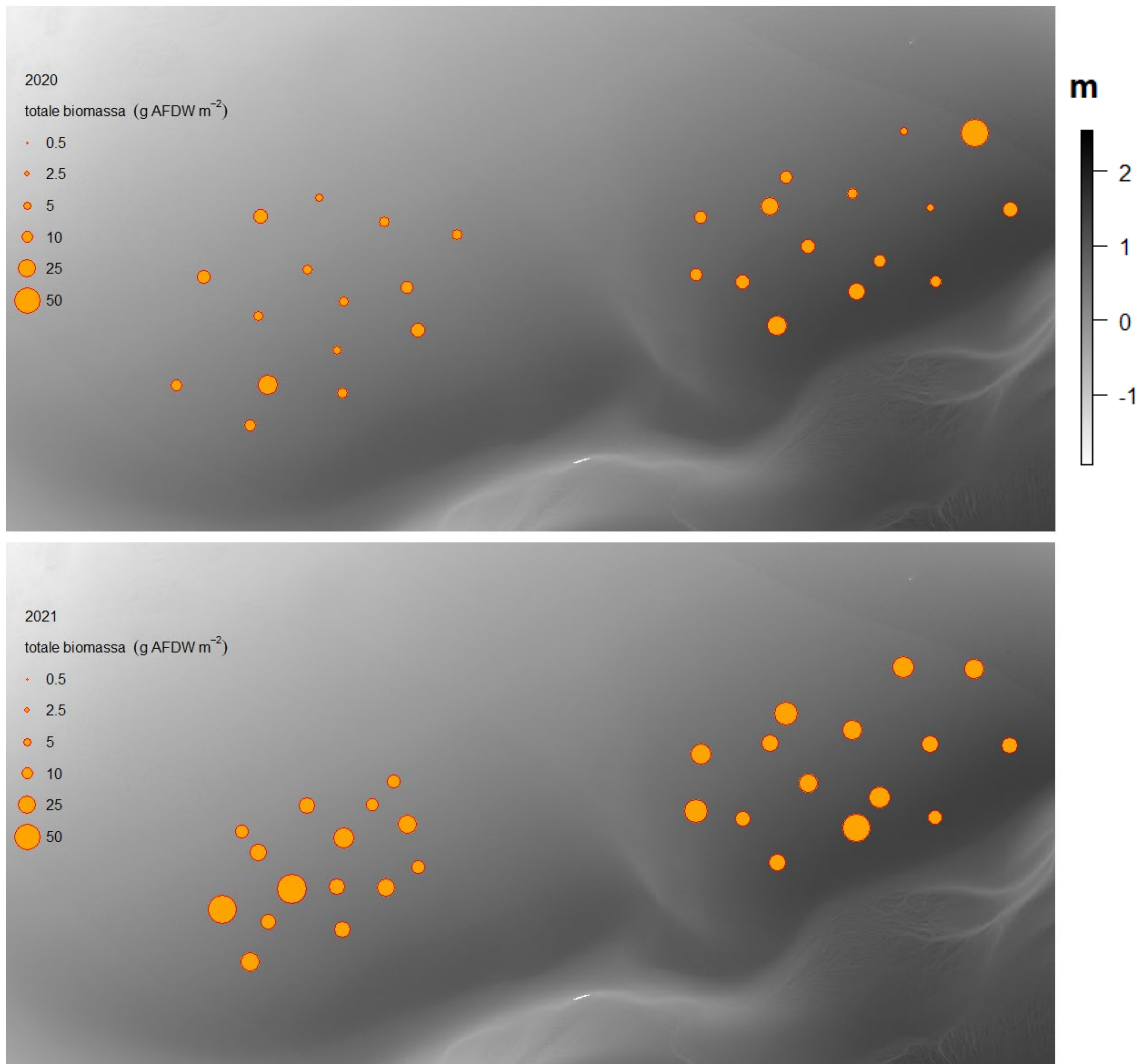
Figuur 13. Totale dichtheid (individuen m⁻²) per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe meer individuen per m². Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.



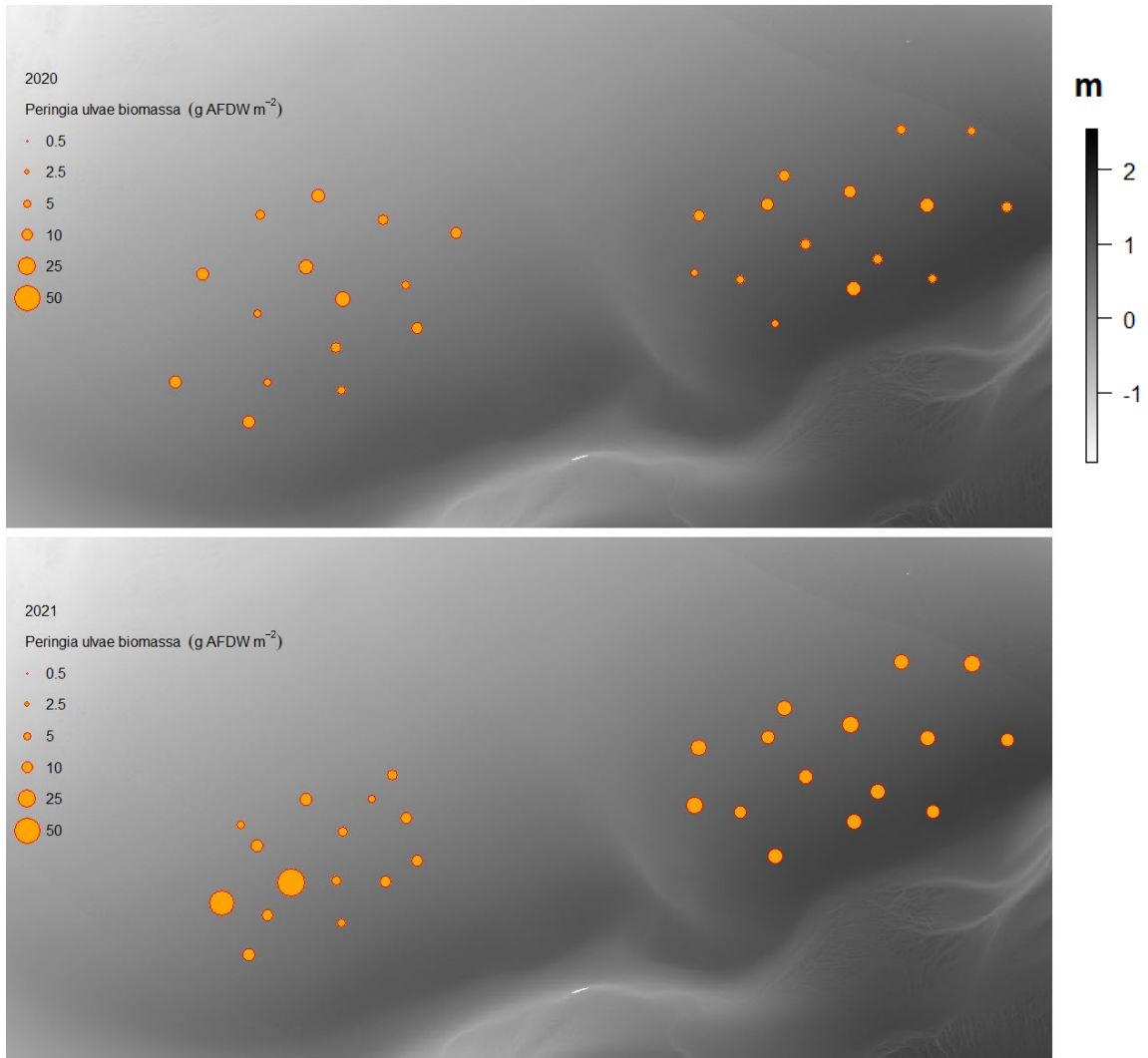
Figuur 14. Verspreidingskaart van de totale dichtheid van *P. ulvae* per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe hoger de dichtheid. Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.

3.3.3 Biomassa

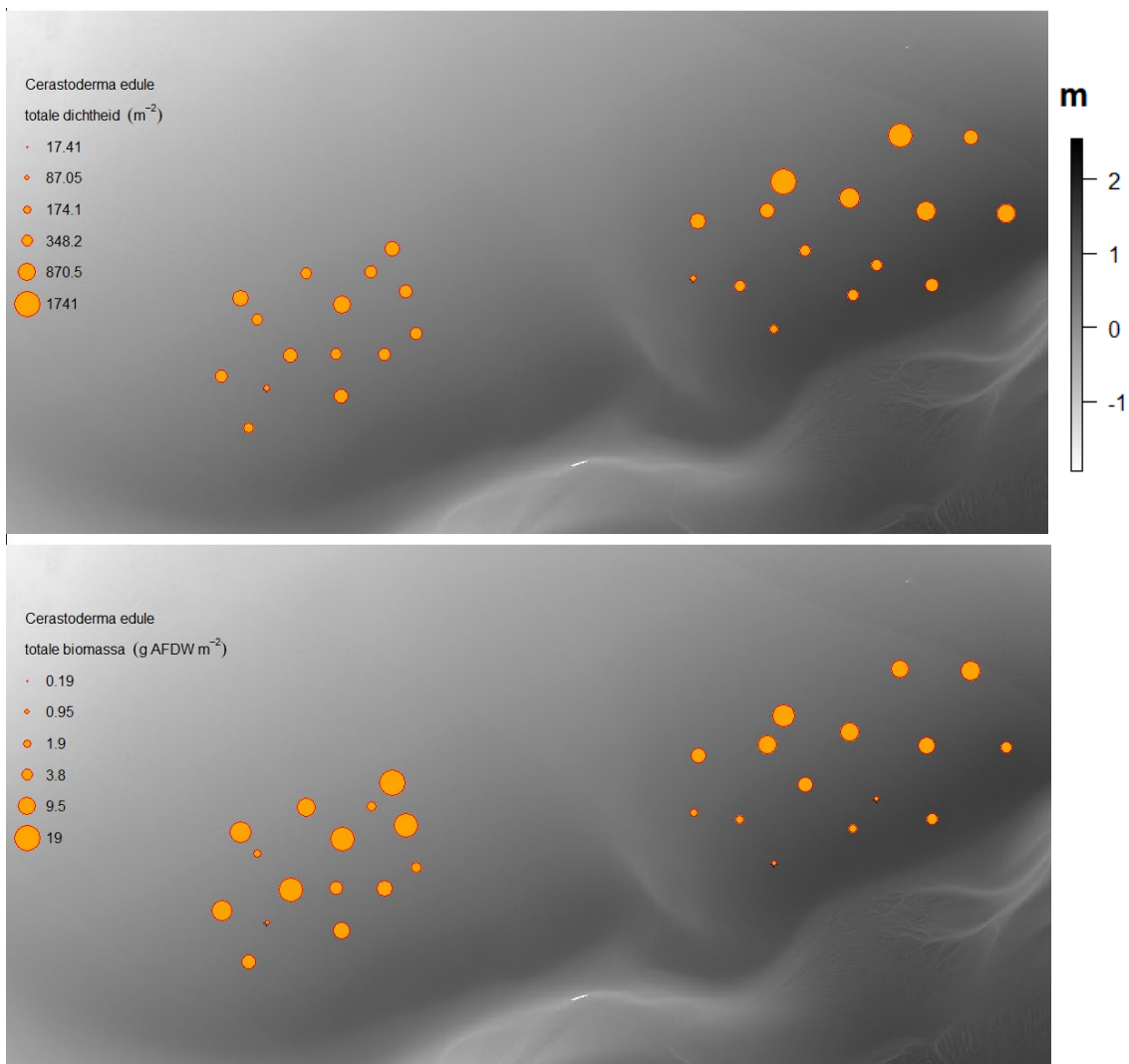
In tegenstelling tot de soortenrijkdom en dichtheid zijn er geen significante verschillen in de biomassa tussen het referentie- en suppletiegebied ($p > 0.05$) in zowel 2020 als 2021, en ook niet tussen de jaren binnen elk gebied ($p > 0.05$). Niettemin is de totale biomassa hoger in 2021 dan in 2020, met 72% bij het referentiegebied en 134% bij het suppletiegebied in 2021 (Figuur 15, Tabel B7). Qua biomassa is het wadslakje de belangrijkste soort. Dat is logisch gezien dat de dichtheid daarvan zo hoog is en het heeft daarom in alle gevallen de allerhoogste biomassa (ruim 57% van het totaal en 81% bij het referentiegebied in 2020; van 9 ± 3.3 g AFDW m^{-2} tot 17.08 ± 3.1 g AFDW m^{-2}). Hoewel niet zo extreem als de dichtheid is het ook te zien dat de biomassa van het wadslakje een significant deel vormt (Figuren 15 en 16). De kokkel, met een enorme groei in biomassa in 2021, is de op een na belangrijkste soort in beide gebieden in 2021 (Figuur 17), terwijl in 2020 is dat de wadpierhoopjes (*A. marina*). De biomassa in het suppletiegebied bestaat in beide jaren ook een groot deel uit de tapijtschelp (*Ruditapes* sp.).



Figuur 15. Totale biomassa (g AFDW m⁻²) per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe hoger de biomassa. Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.



Figuur 16. Verspreidingskaart van de totale biomassa van *P. ulvae* per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe hoger de biomassa. Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.

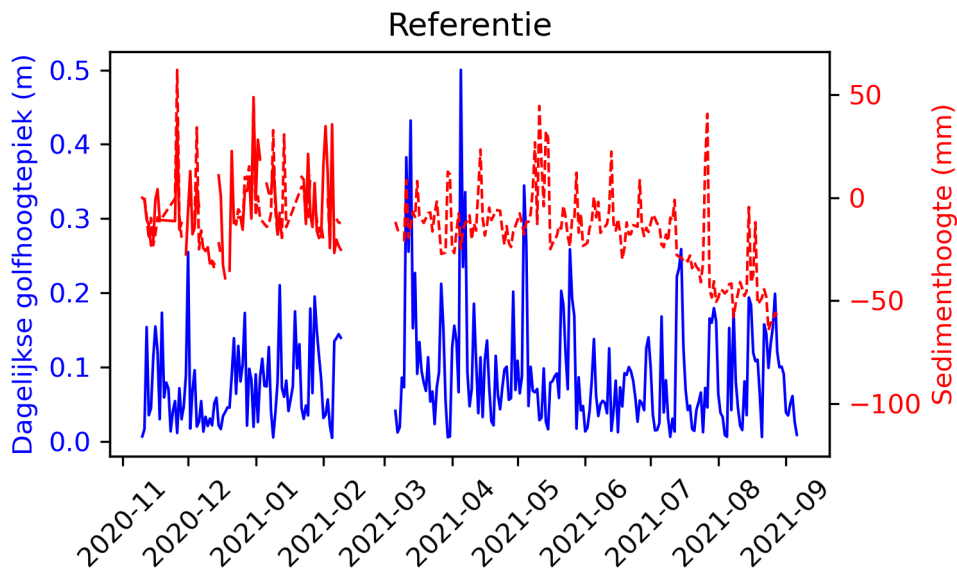


Figuur 17. Verspreidingskaart van de totale dichtheid en biomassa van *C. edule* per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe hoger de dichtheid en biomassa. Achtergrondkaart: Oosterschelde 2019 LIDAR.

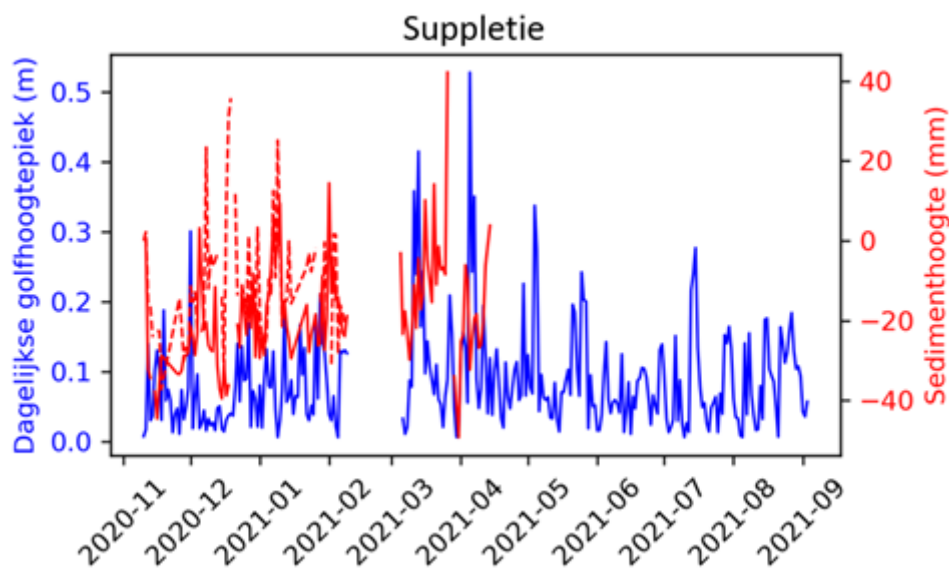
3.4 Tijdsreeksen golven en bodemhoogte

Vergelijking tussen de golfmetingen in het suppletie- en referentiegebied laten geen noemenswaardige verschillen in golfhoogtes zien (Figuren 18 en 19). De meetlocaties waren immers op korte afstand van elkaar gelegen. In de periode van december tot en met januari waren er weinig stormen. Daarentegen waren er juist wel stormcondities, getuige de hogere (>0.2 m) dagelijkse maximale golfhoogte in de periode maart en april. Dat komt waarschijnlijk doordat in de lente vaker wind uit het noorden komt waardoor er een langere strijklengte is waarover de golven kunnen opbouwen voordat ze bij het suppletie- en referentiegebied aankomen (Figuur 3).

De veranderingen in bodemhoogte gemeten met de SED-sensoren laten geen respons van sedimenthoogte zien op de stormen (Figuren 18 en 19). Dit suggereert dat er weinig stormgevoeligheid in dit gebied is tijdens deze periode. De waargenomen variatie in de bodemhoogte op korte tijdschalen zijn mogelijk passerende golfribbels.



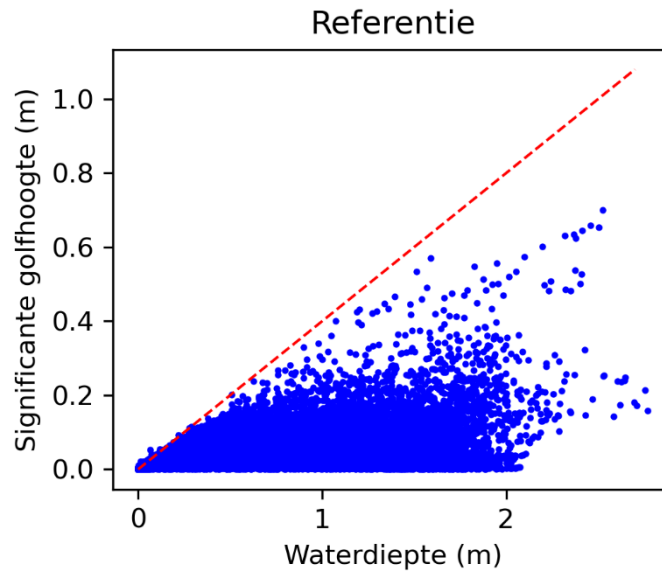
Figuur 18. Dagelijkse maximale golfhoogte en bodemhoogte in het referentiegebied.



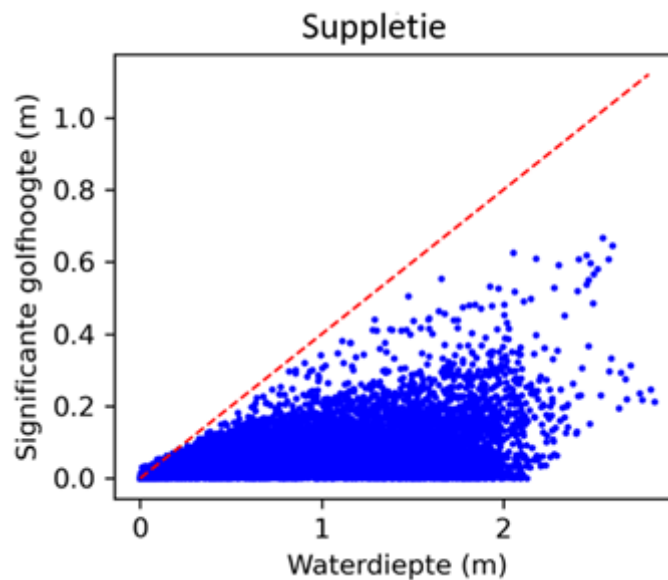
Figuur 19. Dagelijkse maximale golfhoogte en bodemhoogte in het suppletiegebied.

3.5 Golfdemping door dieptelimitatie

De geobserveerde maximale golfhoogtes (H_{max}) zijn afhankelijk van de waterdiepte (h), ofwel de golven zijn diepte gelimiteerd in dit gebied (Figuren 20 en 21). Er zijn geen duidelijke verschillen tussen het suppletie- en referentiegebied. De maximale waargenomen golfhoogtes vallen ongeveer samen op de lijn van $0.4h$ (rode stip in Figuren 20 en 21). Deze verhouding is karakteristiek voor een groot en vlak slik (Zhu et al. 2020).



Figuur 20. Geobserveerde golfhoogte (H) in relatie tot de waterdiepte (h) in het referentiegebied. Blauwe punten zijn de individuele waarnemingen. De rode stippellijn geeft de verwacht maximale golfhoogte aan ($H_{\max} = 0.4h$).

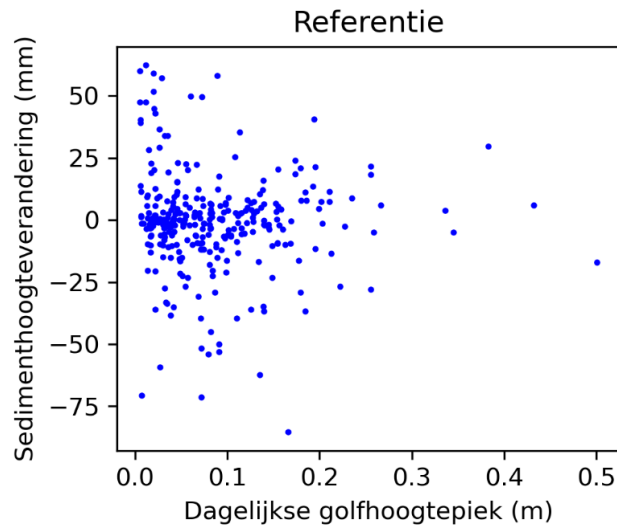


Figuur 21. Geobserveerde golfhoogte (H) in relatie tot de waterdiepte (h) in het suppletiegebied. Blauwe punten zijn de individuele waarnemingen. De rode stippellijn geeft de verwacht maximale golfhoogte aan ($H_{\max} = 0.4h$).

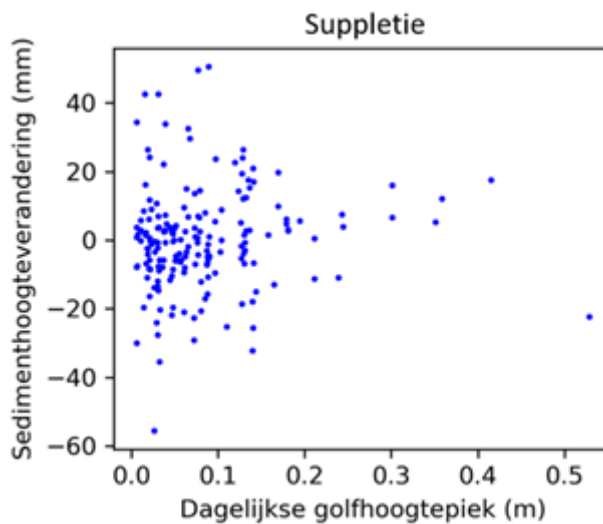
3.6 Correlatie tussen bodemhoogteverandering (SED) en golven

Er is geen correlatie tussen dagelijkse piekgolfhoogte (H_{\max}) en verandering in sedimenthoogte voor zowel het suppletie- als referentiegebied (Figuren 22 en 23). Tijdens stormen lijkt er enige sedimentatie op te treden, maar er is te weinig data voor een resolute conclusie. Juist extreme stormen kunnen de morfologie van dit gebied bepalen gezien de extreem lage hydrodynamische dynamiek van dit gebied (ook wat betreft stroming). Wel valt het op dat er redelijke veel dynamiek tijdens rustige dagen optreedt, wat erop kan duiden dat getij ondanks de lage stroomsnelheden in dit gebied toch een belangrijk effect kan hebben op de bodemhoogte. Door stroming is er vaak sediment transport richting de slikken en schorren. Door golven gaat het juist richting de geulen. Als er veel bodemhoogte variatie door stroming

is, houdt dat in dat het waarschijnlijk richting de dijk gaat en niet in de geul verdwijnt. Maar daar zijn meer metingen voor nodig om dat te kunnen bevestigen.



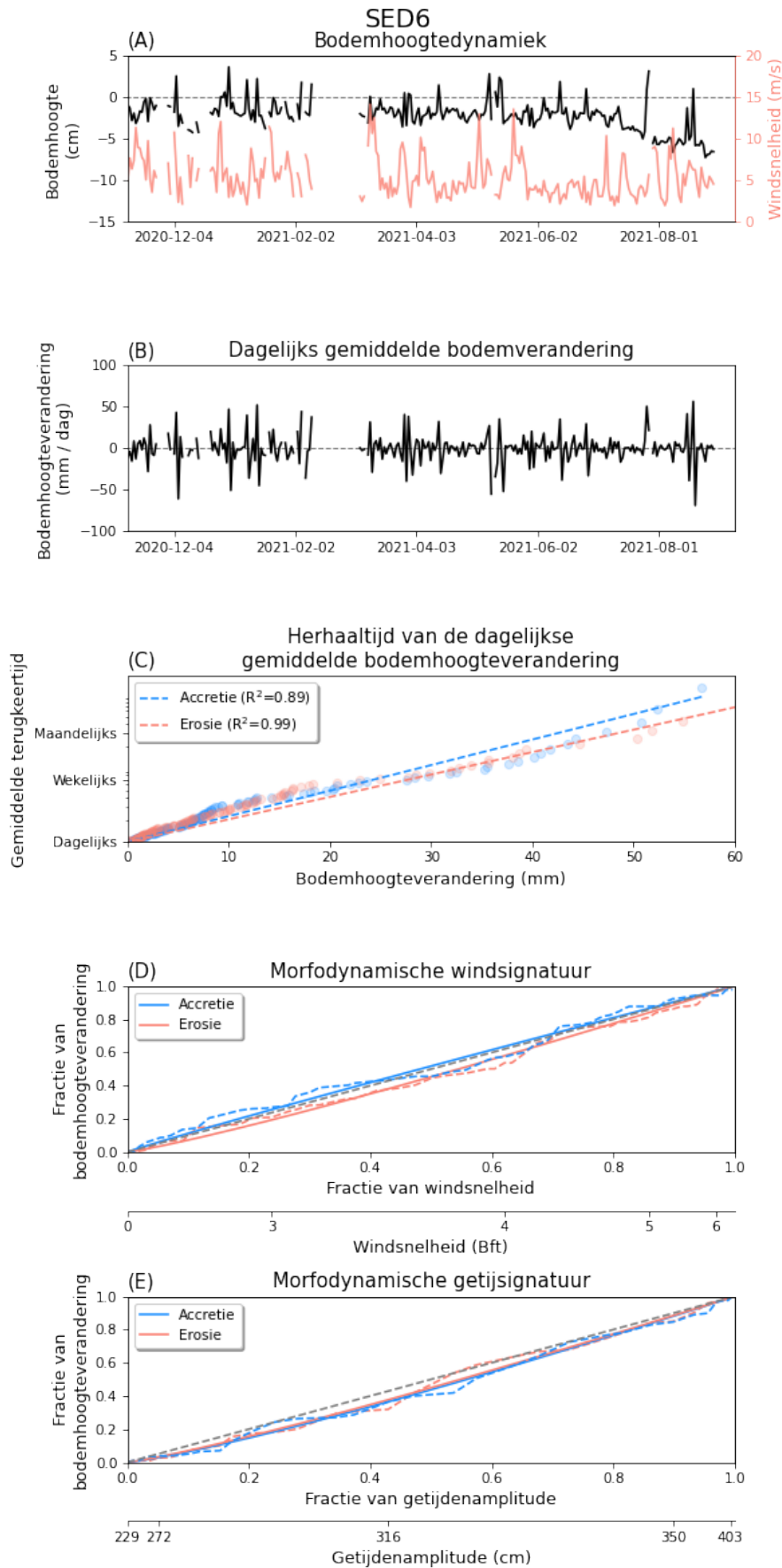
Figuur 22. Sedimenthoogteverandering uitgezet tegen de dagelijks waargenomen maximale golfhoogte in het referentiegebied.



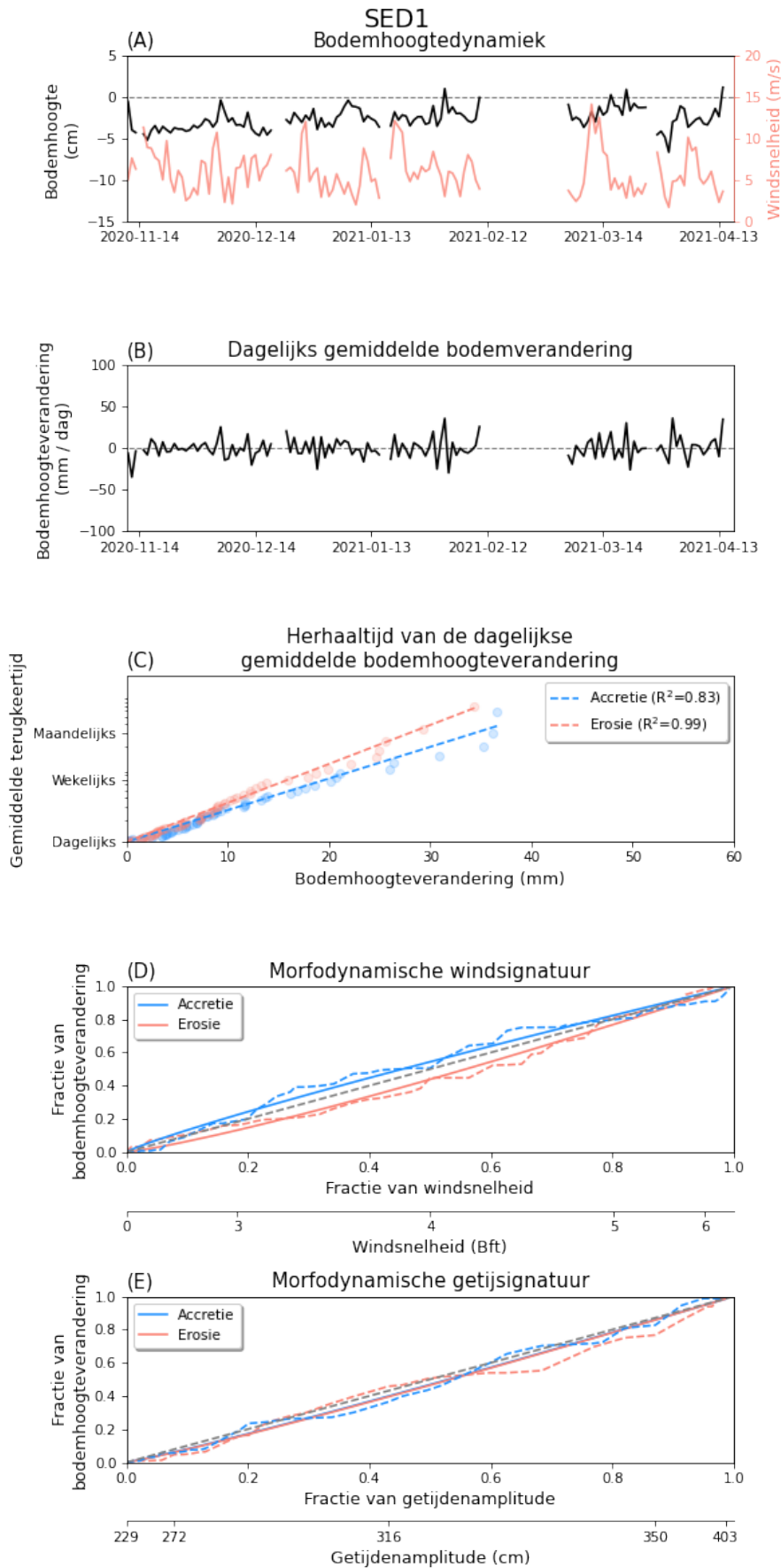
Figuur 23. Sedimenthoogteverandering uitgezet tegen de dagelijks waargenomen maximale golfhoogte in het suppletiegebied.

3.7 Waargenomen sedimentdynamiek (SED)

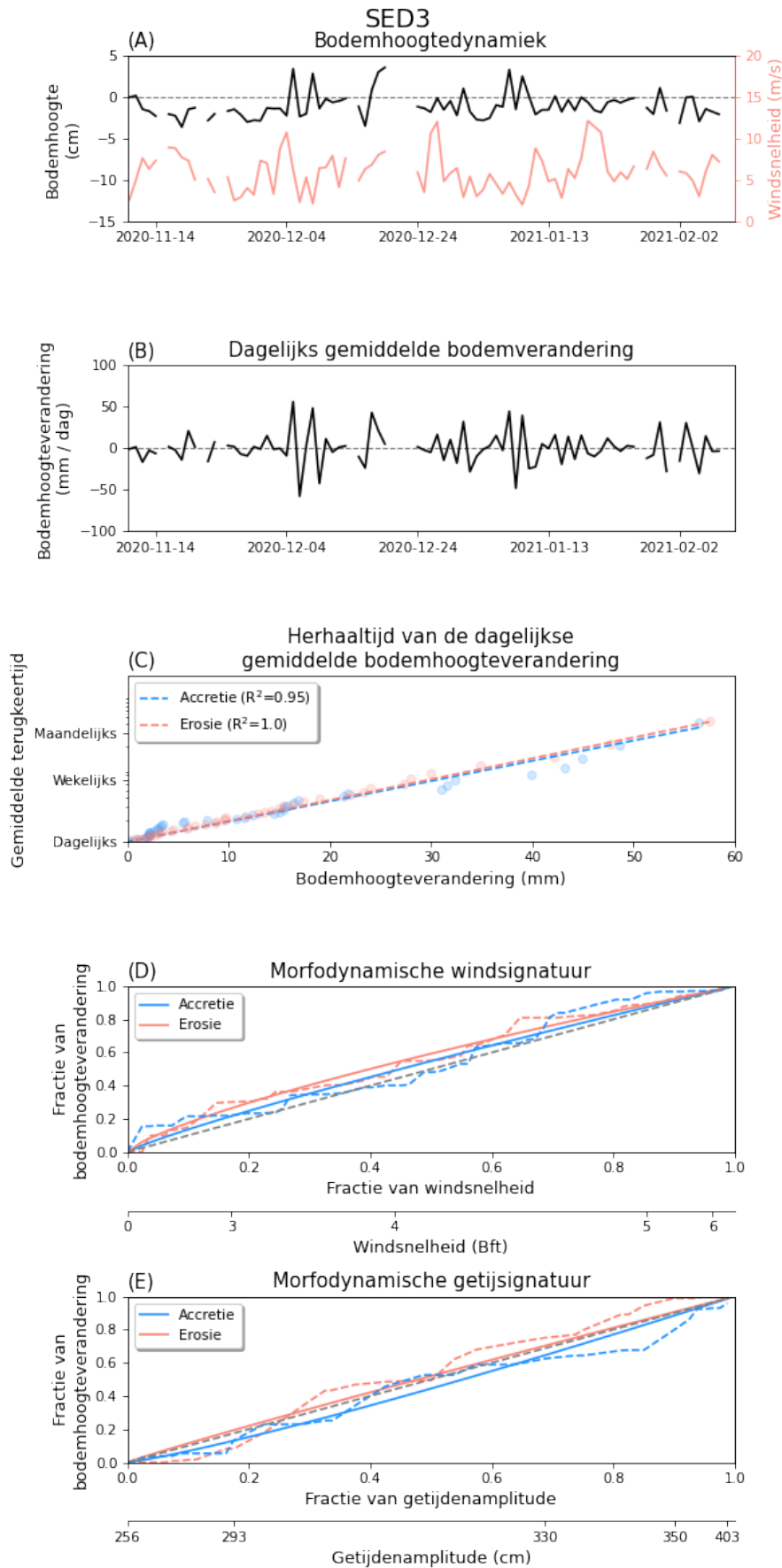
Gedurende de meetperiode hebben vier van de zes SED-sensor naar behoren gefunctioneerd. Er wordt in beide gebieden over de tijd een stabiele bodemhoogte waargenomen voor alle werkende sensoren (Figuren 24 – 27, bovenste paneel). Slechts één van de sensoren (SED6, Figuur 24) in het referentiegebied, laat een geleidelijke erosie in de zomer zien (+/- 1.5 cm per maand). Dit is in lijn met de waarnemingen in de ontwerpfase van de studie, waarin is waargenomen dat het suppletiegebied in recente jaren relatief weinig morfologische veranderingen toont. De terugkeertijd van de magnitude van de dagelijkse sedimentatie of erosie volgt over het algemeen een exponentiële verdeling (Figuur 24 – 27, middelste paneel / paneel 3). Alleen voor SED6 is de terugkeertijd voor sedimentatie en erosie ongeveer groter dan 20 mm korter dan je op basis van de exponentiele verdeling mag verwachten. Dit is mogelijk de reden waarom juist hier een trend in de bodemhoogteverandering is waar te nemen (Figuur 24).



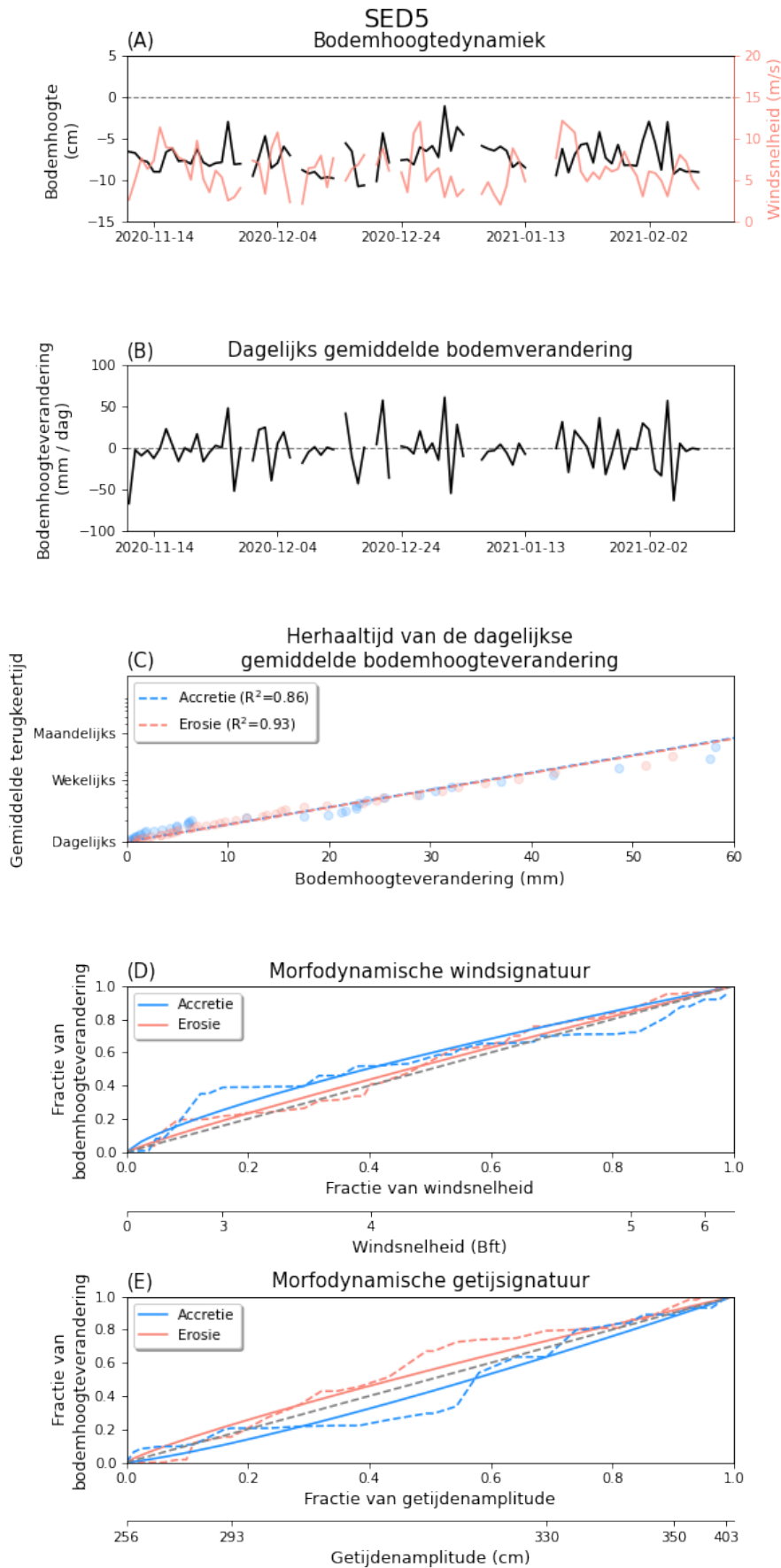
Figuur 24. Analyse van de bodemhoogte dynamiek voor SED6. Van boven naar beneden: Bodemhoogte veranderingen (zwarte lijn) gemeten met de SED op locatie en windsnelheden waargenomen in nabij weerstation; Dagelijkse gemiddelde bodemverandering; Herhaaltijd van de dagelijkse gemiddelde bodemhoogteverandering. De rode en blauwe stippellijn geven respectievelijk de beste exponentiële fit voor erosie en sedimentatie weer; Morfodynamische windsignatuur; Morfodynamische getijsignatuur.



Figuur 25. Analyse van de bodemhoogte dynamiek voor SED1. Van boven naar beneden: Bodemhoogte veranderingen (zwarte lijn) gemeten met de SED op locatie en windsnelheden waargenomen in nabij weerstation; Dagelijkse gemiddelde bodemverandering; Herhaaltijd van de dagelijkse gemiddelde bodemhoogteverandering. De rode en blauwe stippellijn geven respectievelijk de beste exponentiële fit voor erosie en sedimentatie weer; Morfodynamische windsignatuur; Morfodynamische getijsignatuur.



Figuur 26. Analyse van de bodemhoogte dynamiek voor SED3. Van boven naar beneden: Bodemhoogte veranderingen (zwarte lijn) gemeten met de SED op locatie en windsnelheden waargenomen in nabij weerstation; Dagelijkse gemiddelde bodemverandering; Herhaaltijd van de dagelijkse gemiddelde bodemhoogteverandering. De rode en blauwe stippellijn geven respectievelijk de beste exponentiële fit voor erosie en sedimentatie weer; Morfodynamische windsignatuur; Morfodynamische getijsignatuur.

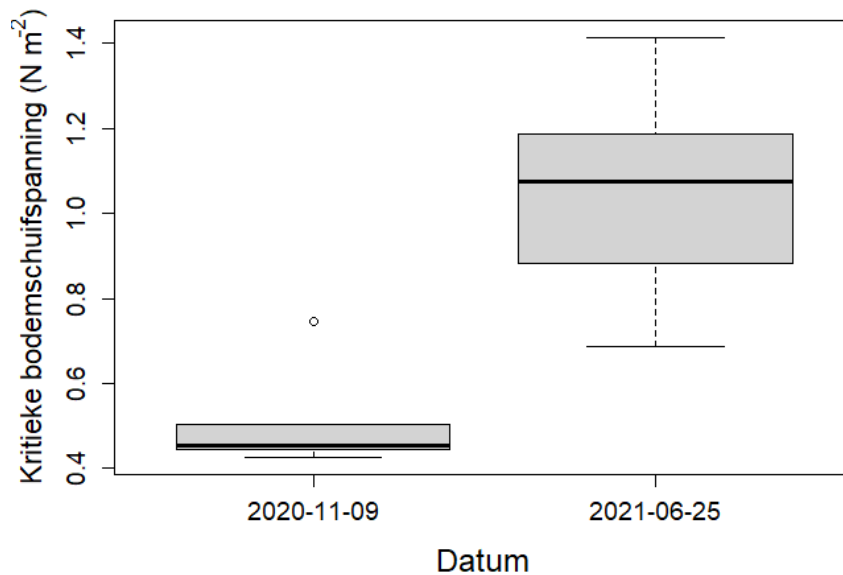


Figuur 27. Analyse van de bodemhoogte dynamiek voor SED5. Van boven naar beneden: Bodemhoogte veranderingen (zwarte lijn) gemeten met de SED op locatie en windsnelheden waargenomen in nabij weerstation; Dagelijks gemiddelde bodemverandering; Herhaaltijd van de dagelijkse gemiddelde bodemhoogteverandering. De rode en blauwe stippellijn geven respectievelijk de beste exponentiële fit voor erosie en sedimentatie weer; Morfodynamische windsignatuur; Morfodynamische getijsignatuur.

Om inzicht te krijgen of windgolven of getijdestroming invloed hebben op de huidige sediment dynamiek is een aanvullende morfodynamische analyse (Figuren 24 – 27; 5^{de} paneel is de morfodynamische analyse voor wind als sturende factor; 6^{de} paneel is deze analyse voor getijgedreven veranderingen) gedaan (Grandjean et al. in revisie). Hieruit wordt duidelijk dat de bodemhoogteveranderingen niet gedreven wordt door evenementen in de wind (kalmte of stormen) of door getijde momenten (dood of springtij). Dit is te zien omdat de data praktisch op de 1:1 lijn ligt. Dit betekent niet dat er geen bodemdynamiek is, maar dat de bodemdynamiek constant is over de tijd en niet gevoelig is voor springtij-doodtij cycli en de windsnelheid.

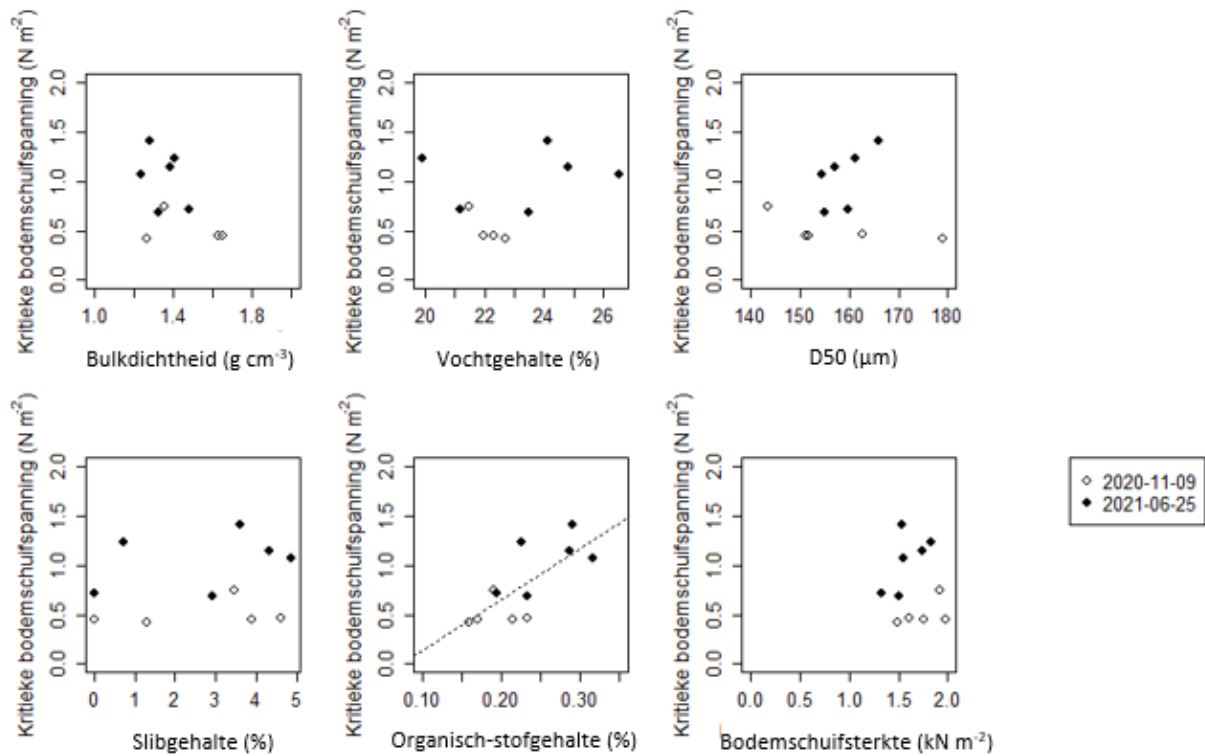
3.8 Erodeerbaarheid van het sediment

Vergelijking van de kritieke bodemschuifspanning in de tijd laat zien dat deze significant hoger in juni 2021 dan in november 2020 (Figuur 28). De gevoeligheid van het sediment voor erosie is dus afgenomen over tijd.



Figuur 28. Overzicht significante verandering kritische bodemschuifspanning in de tijd.

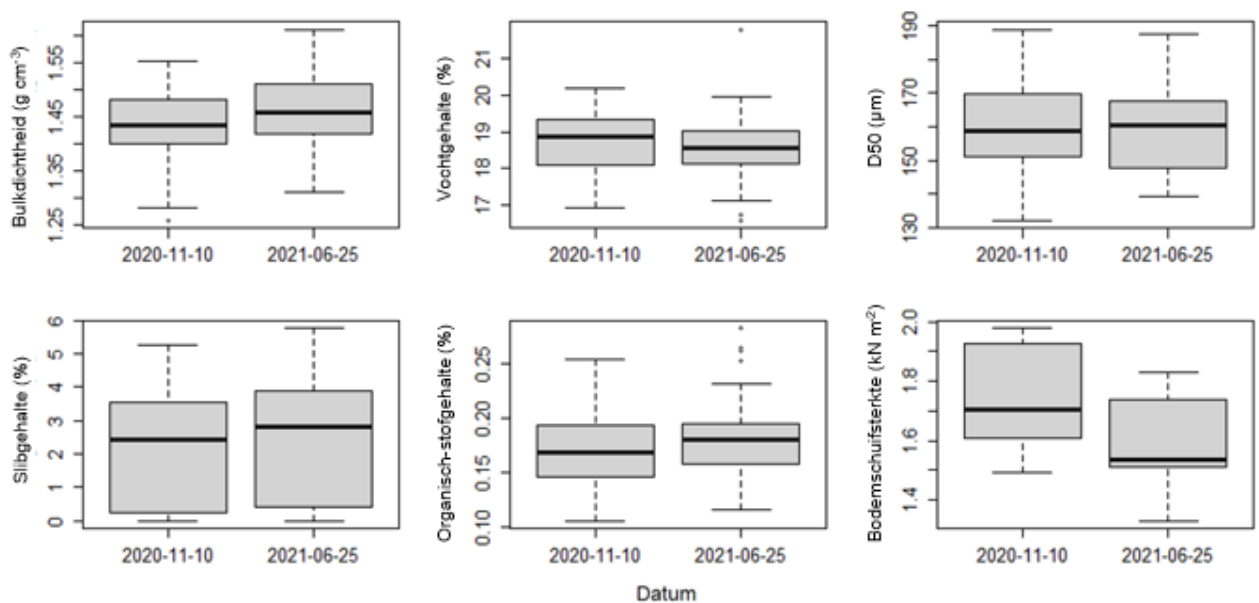
Wanneer we kijken welke eigenschappen van het sediment de waargenomen verschillen in kritische bodemschuifspanning kan verklaren dan komt alleen het organisch-koolstofgehalte er uit (Figuur 29). Er is een significante en positieve relatie ($p < 0.05$, $R^2 = 0.49$) tussen organisch-koolstofgehalte (in de laag van 0 tot 1 cm) en kritische bodemschuifspanning. De overige bodemparameters hebben geen meetbaar effect op de kritieke bodemschuifspanning. Het wat hoger organisch koolstofgehalte in juni 2021 zou een mogelijke verklaring kunnen zijn voor de toename in kritieke bodemschuifspanning.



Figuur 29. Relaties tussen bodemeigenschappen (0-1 cm diepte) en kritische bodemschuifspanning. Significante correlaties zijn weergegeven met regressielijn.

3.9 Temporele variatie bodemeigenschappen

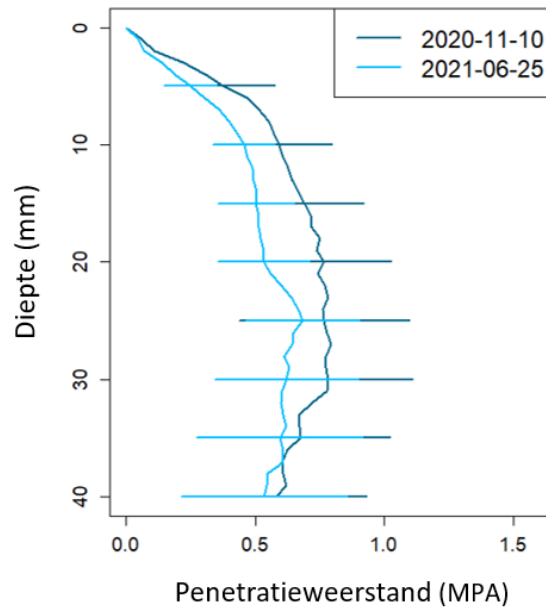
Wanneer we kijken naar de veranderingen in de bodemeigenschappen (Figuur 30) dan vinden we dat de bulkdichtheid tussen november 2020 en juni 2021 significant ($p < 0.05$) is toegenomen. De overige gemeten bodemeigenschappen zijn niet significant verschillend tussen locaties of in de tijd.



Figuur 30. Bodemeigenschappen van de bemonsterde locaties.

Ook voor de gemiddelde penetratieweerstand tot een diepte van 40 cm zien we geen duidelijke verschillen tussen de locaties. De penetratieweerstand in juni 2021 neigt iets lager dan in november

2020, maar het patroon van het diepteprofiel van de penetratieweerstand blijft gelijk over tijd (Figuur 31).



Figuur 31. Verschillen in penetratieweerstand in de tijd.

3.10 Stroomsnelheden

Een eerste beschouwing van de data toont dat de diepte-gemiddelde stroomsnelheden relatief beperkt zijn (typisch rond de 0.2-0.4 m/s). Dit is in lijn met eerdere modelberekeningen (bijvoorbeeld De Vet et al., 2017). Deze relatief lage stroomsnelheden zijn te verklaren doordat het slik aan het uiteinde de Oosterschelde ligt en relatief weinig water het slik passeert. Juist door deze relatief lage getijsnelheden heeft de wind relatief veel grip op de stroming en zijn er getijden waarin de stroming tijdens nagenoeg een geheel getij in de richting van de wind stroomt (in lijn met een theoretische beschouwing van de invloed van de wind door Colosimo et al., 2020).

4 Discussie en aanbevelingen

Van de twee T0-metingen (najaar 2020 en 2021) zien we verschillen in de bodemdiergemeenschap tussen de suppletie- en referentiegebieden, alhoewel niet allemaal statistisch significant. De soortenrijkdom en de dichtheid in 2020 en 2021, binnen zowel het suppletie- als het referentiegebieden, zijn significant verschillend. De andere parameters van de bodemdiergemeenschap zijn dat niet. Het aantal soorten is vergelijkbaar en de dichtheid en biomassa zijn iets toegenomen in 2021. Dit zien we ook terug in het organisch-stofgehalte, dat significant hoger is in 2021. Tussen het referentie- en suppletiegebieden zijn een aantal sedimentfracties ook significant anders, hoewel minder sterk dan met het organisch-stofgehalte, en ook niet verschillend tussen de jaren of dieptes. Daarentegen is de bulkdichtheid heel vergelijkbaar tussen de jaren, gebieden en dieptes, wat betekent dat er geen of weinig sedimentverdichting heeft plaatsgevonden. Er zijn verder geen duidelijke verschillen tussen de suppletie- en referentiegebieden waarneembaar wat betreft de bodemeigenschappen. Dat onderschrijft in ieder geval dat de twee gekozen gebieden uitstekend dienst zouden doen als vergelijking. Tijdens deze T0-monitoring zijn ze niet van elkaar te onderscheiden op basis van de gemeten sedimenteigenschappen. Bovendien zien we ook geen duidelijke trends met de troebelheidsgegevens. In elke meetperiode was er variabiliteit tussen de gebieden, maar geen locatie was constant hoger dan de andere. Het was daarom interessant geweest om te zien of en hoe deze eigenschappen na aanleg van de suppletie zouden zijn ontwikkeld. Gezien de onduidelijkheid in de verschillende trends tussen de jaren voor de benthos en tussen de gebieden voor een aantal sediment/bodemeigenschappen is het moeilijk vast te stellen in hoeverre de verschillen in de bodemdierengemeenschap te wijten zijn aan natuurlijke (ruimtelijk of tijdelijk) variabiliteit, of het jaar tot jaar zo zou variëren en met welke parameters het meest gecorreleerd is. Langere meetreeksen zijn hiervoor nodig.

Vanuit de metingen aan de dynamiek van golven en vooral de sedimentdynamiek, blijkt het dat dit gebied laagdynamisch is. Op basis van de korte termijn waarover metingen hebben plaatsgevonden, kunnen we veronderstellen dat, doordat er weinig dynamiek verwacht wordt, een slibsuppletie lang op de gewenste plek zou kunnen blijven liggen. Op basis van dit onderzoek is het te voorzien dat toekomstige suppleties met slib mogelijk zouden kunnen bijdragen aan het beschermen en behouden van de intergetijdennatuur tegen de negatieve effecten van de zandhonger in de Oosterschelde en tevens de foerageerfunctie van dit habitat eventueel ook kunnen vervullen. Om dit te kunnen toetsen, zou er monitoring moeten worden uitgevoerd (i.e. vogeltelling en monitoring na aanleg van de suppletie). Maar voorzichtigheid is geboden omdat morfologische veranderingen mogelijk vooral gedreven worden door stormen die niet frequent voorkomen. De impact van stroming hangt af van wat voor ingrijpen uitgevoerd zullen worden. De plaatsing van de ADCP-sensoren rondom gecentreerd op het suppletiegebied was in dit project voldoende om een basisoverzicht van de stroming daar te kunnen krijgen. Maar een goede plaatsing is erg project- en locatie-afhankelijk en het is altijd aanbeloven om de goede meetlocaties van tevoren voorzichtig te kiezen op basis van de huidige situatie en omstandigheden van een bepaald gebied.

In tegenstelling tot eerdere suppleties in de Oosterschelde (Galgenplaat, Schelphoek, Roggenplaat en Oesterdam) was het plan bij Rattekaai een suppletie uit te voeren met slibrijk materiaal. Wat we al uit eerdere (zand)suppleties zien, is dat het herstel van de bodemdiergemeenschap (benthos) enkele jaren duurt. Als gevolg van de eerder genoemde technische en logistieke problemen kon de slibsuppletie bij de Rattekaai niet doorgaan. Daarom zijn de mogelijke effecten van een slibsuppletie op de lange termijn nog niet onderzocht. Indien er in de nabije toekomst een dergelijke slibsuppletie wordt uitgevoerd in de Rattekaai of elders in de Oosterschelde is het belangrijk om de monitoring uit te voeren met soortgelijke metingen zoals in dit project zodat gebruik kan worden gemaakt van de resultaten in deze studie. Hoe de bodemdiergemeenschap en sedimentsamenstelling zullen ontwikkelen hangt grotendeels af van de veranderde morfodynamische omstandigheden als gevolg van de slibsuppletie(s). Een suppletie met slibrijker materiaal kan mogelijk tot andere ontwikkeling leiden, wat de bodemdiergemeenschap en andere abiotische omstandigheden betreft, omdat slib waarschijnlijk minder snel erodeert dan zand. Binnen dit T0-project is een vergelijkbare aanpak gebruikt als in andere suppleties (Roggenplaat en Oesterdam). Daarom zijn deze resultaten mogelijk van nut bij toekomstige suppleties zoals de Galgenplaat of monitoringsstudies in het kader van suppleties in het algemeen.

Indien het huidige project in de toekomst kan worden hervat, zal deze studie natuurlijk direct van toepassing zijn, zolang dat de metingen in dezelfde gebieden zijn genomen en dezelfde methoden zijn gebruikt.

De T0-monitoring van dit project was onderdeel van een BACI aanpak om veranderingen in bodemdiergemeenschap te kunnen relateren aan de ingreep. Door het uitvoeren van abiotische metingen (slibgehalte, sedimentsamenstelling, organisch-stofgehalte, sediment erosieviteit, enz.) kan onderzocht worden welke factoren mogelijk ten grondslag liggen aan de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap en de bodemmorfolgie en hydrodynamiek. Daarom kunnen de resultaten uit dit project aan het begrip van deze suppletie en/of aan een verdere optimalisatie van toekomstige suppletieprojecten bijdragen. Omdat het geplande T1 – T5 Natuurimpuls project gestopt is, gaat de vervolgmonitoring bij deze twee gebieden voorlopig niet door. Toch krijgen we uit de twee T0-bemonstering een overzicht over de 'baseline' situatie op een zandige locatie binnen de Oosterschelde en ook de natuurlijke veranderingen na één jaar. Hierdoor worden gegevens ontsloten en kunnen ze van nut zijn in toekomstige (suppletie) projecten. Tenslotte zien we nog een aantal mogelijkheden om de toepasbaarheid van de resultaten uit dit T0-project verder te kunnen vergroten:

1. Op zichzelf staand als gewoon een baseline te dienen voor een toekomstige suppletie op deze locatie.
2. De T0-resultaten met vergelijkbare projecten (zandig) binnen de Oosterschelde vergelijken, zoals Roggenplaat, Oesterdam of Galgenplaat. Dit voor een verder fysisch begrip van intergetijdengebieden.
3. De T0 te vergelijken met MWTL data (mogelijk in aanvulling op punt 1) uit vergelijkbare ecotoopzones binnen de Oosterschelde.
4. De biotische (benthos) en abiotische (sediment, troebelheid, erosieviteit, etc.) parameters te koppelen en te vergelijken met de samenhang biotiek-abiotiek uit andere projecten.
5. Vergelijken met projecten waarin de omstandigheden compleet anders zijn (modderig/strekdammen zoals Perkpolder, Buitendijks of Bath) en/of schor- of wadomgevingen, maar waar dezelfde parameters worden gemeten met dezelfde methoden.
6. De erosieviteit te koppelen aan schorbehoud en gerelateerde processen bij de nearshore-gebieden, zoals door, onder andere, dezelfde veldmetingen (i.e. stroomgoten) van de sedimenterosieviteit in verband met de fysische en hydrodynamische omstandigheden.

5 Kwaliteitsborging

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

Literatuur

1. Colosimo, I., P. L. M. de Vet, D. S. van Maren, A. J. H. M. Reiniers, J. C. Winterwerp and B. C. van Prooijen (2020). The impact of wind on flow and sediment transport over intertidal flats. *Journal of Marine Science and Engineering*. 8 (11), 910. <https://doi.org/10.3390/jmse8110910>
2. Craeymeersch, J.A., M.A. Faasse, H. Gheerardyn, K. Troost, R. Nijland, A. Engelberts, K.J. Perdon, D. van den Ende and J. van Zwol (2019). First records of the dwarf surf clam *Mulinia lateralis* (Say, 1822) in Europe. *Marine Biodiversity Records*
3. Craeymeersch, J., and V. Escaravage (2014). Perceel Benthos. PMR Monitoring natuurcompensatie Voordelta. Eindrapport 1e fase 2009-2013 deel B. . In: T. Prins and G. van der Kolff. Delft D (ed) Deltares rapport 1200672-ZKS-0043.
4. de Ronde, J.G., Mulder, J.P.M., Van Duren, L.A. and Ysebaert, T.J.W., 2013. Eindadvies ANT Oosterschelde, Deltares rapport 1207722-000-ZKS-0010
5. de Smit, J. C., Kleinhans, M. G., Gerkema, T. and T.J. Bouma (2021). Quantifying natural sediment erodibility using a mobile oscillatory flow channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 262, 107574.
6. de Vet, P.L.M., B. C. van Prooijen and Z. B. Wang (2017). The differences in morphological development between the intertidal flats of the Eastern and Western Scheldt. *Geomorphology*, 281: 31 – 42. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.031>
7. Dowd, M., J. Grant and L. Lu (2014). Predictive modeling of marine benthic macrofauna and its use to inform spatial monitoring design. *Ecological Applications* 24:862–876.
8. Grabowski R.C., I.G. Droppo and G. Wharton (2011). Erodibility of cohesive sediment: The importance of sediment properties. *Earth-Science Reviews* 105:101–120.
9. Gray J.S. and M. Elliott (2009). *Ecology of Marine Sediments: From Science to Management*. OUP Oxford.
10. Hu, Z., W. Lenting, D. van der Wal and T. J. Bouma (2015). Continuous monitoring bed-level dynamics on an intertidal flat: Introducing novel, stand-alone high-resolution SED-sensors. *Geomorphology*, 245:223–230. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.027>
11. Leifeld, J., L. Gubler and A. Grunig. 2011. Organic matter losses from temperature ombrotrophic peatlands: an evaluation of the ash residue method. *Plant Soil*. 341:349-361.
12. McCave, I. N., R. J. Bryant, H. F. Cook and C. A. Coughanowr (1986). Evaluation of a laser-147 | Page diffraction-size analyzer for use with natural sediments. *J. Sediment. Res.* 56: 561–564. doi:10.1306/212F89CC-2B24-11D7-8648000102C1865D
13. Nieuwenhuize, J.; Y.E.M. Maas and J.J. Middelburg (1994). Rapid analysis of organic carbon and nitrogen in particulate materials. *Mar. Chem.* 45, 217–224.
14. Troost, K. and T. Ysebaert (2011). ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds, Report number C063/11, Imares Yerseke.
15. WoRMS: World Register of Marine Species. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=151628#images>
16. Ysebaert, T., B. Walles, J. van der Werf, T. van Kessel, L. de Vet, J. Hansen, L. van Duren, T. Bouma and J. Stronkhorst (2020). Natuur Impuls Oosterschelde. Toepassingsmogelijkheden van slibrijk sediment voor natuurbouw. Wageningen Marine Research rapport C038/20. <https://doi.org/10.18174/519760>

Verantwoording

Rapport C047/22

Projectnummer: 4313100147

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Dr. ir. J.W.M. Wijsman
Collega-onderzoeker

Handtekening:



Datum: 31 augustus 2022

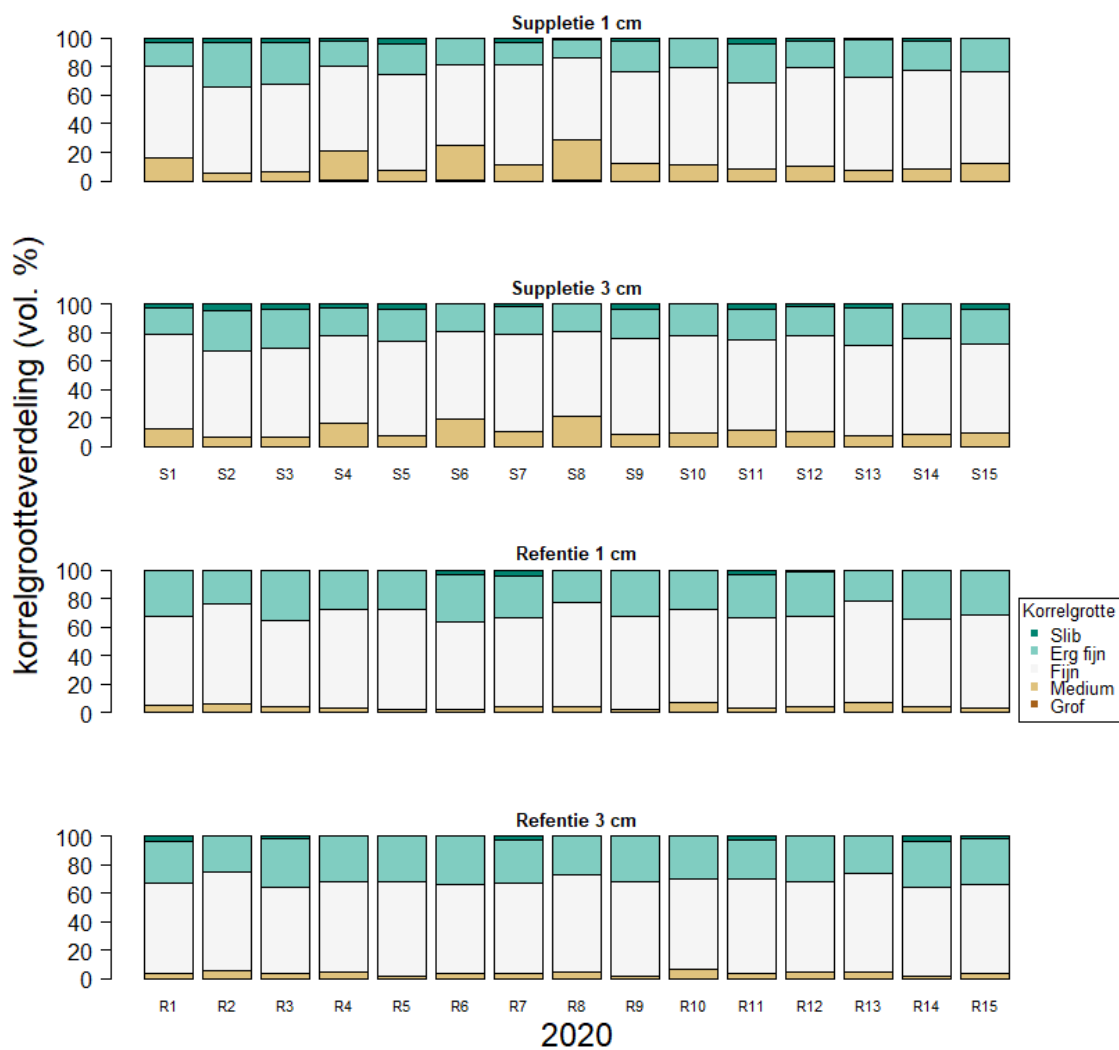
Akkoord: Drs. J. Asjes
Manager Integratie

Handtekening:

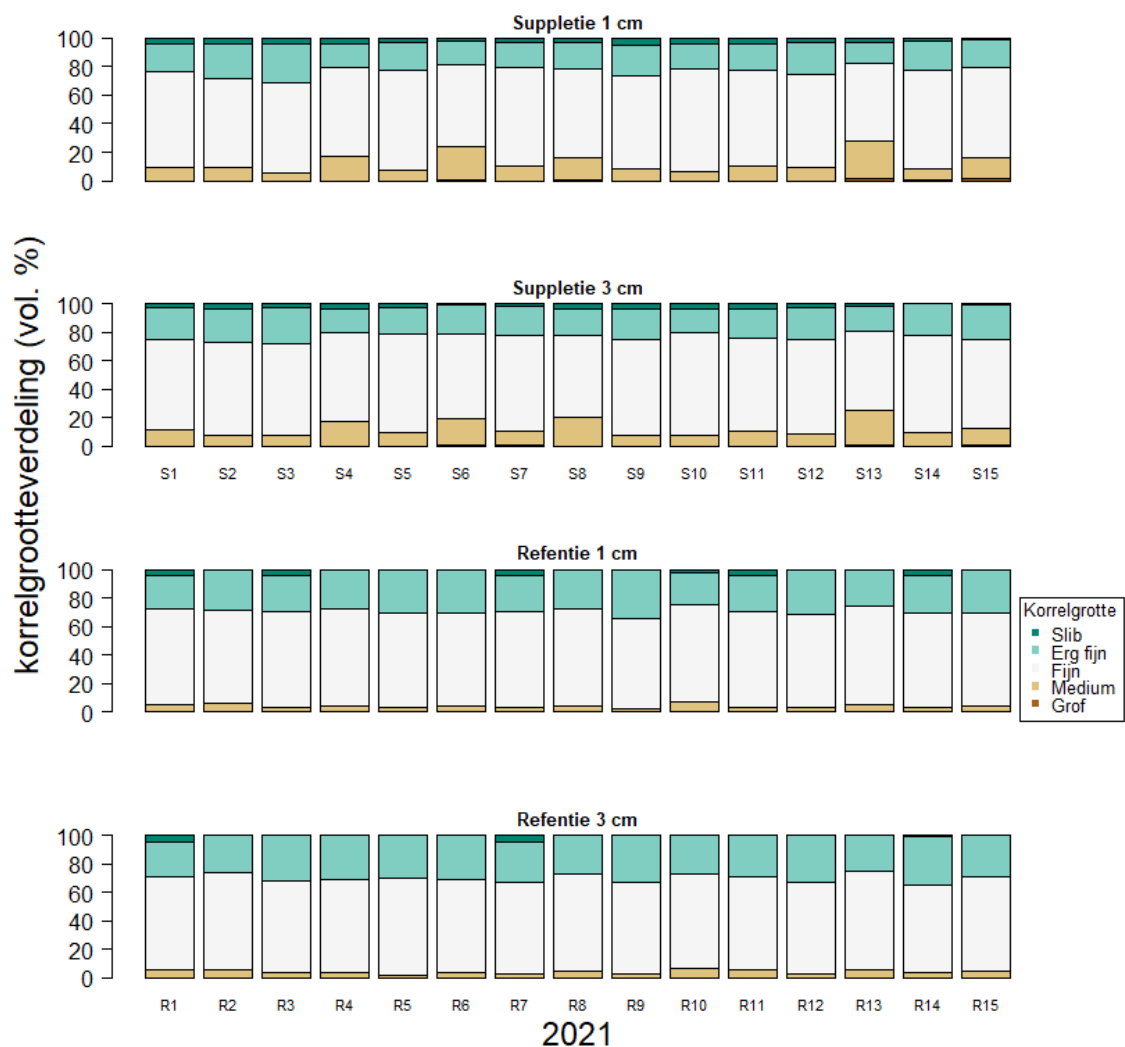


Datum: 31 augustus 2022

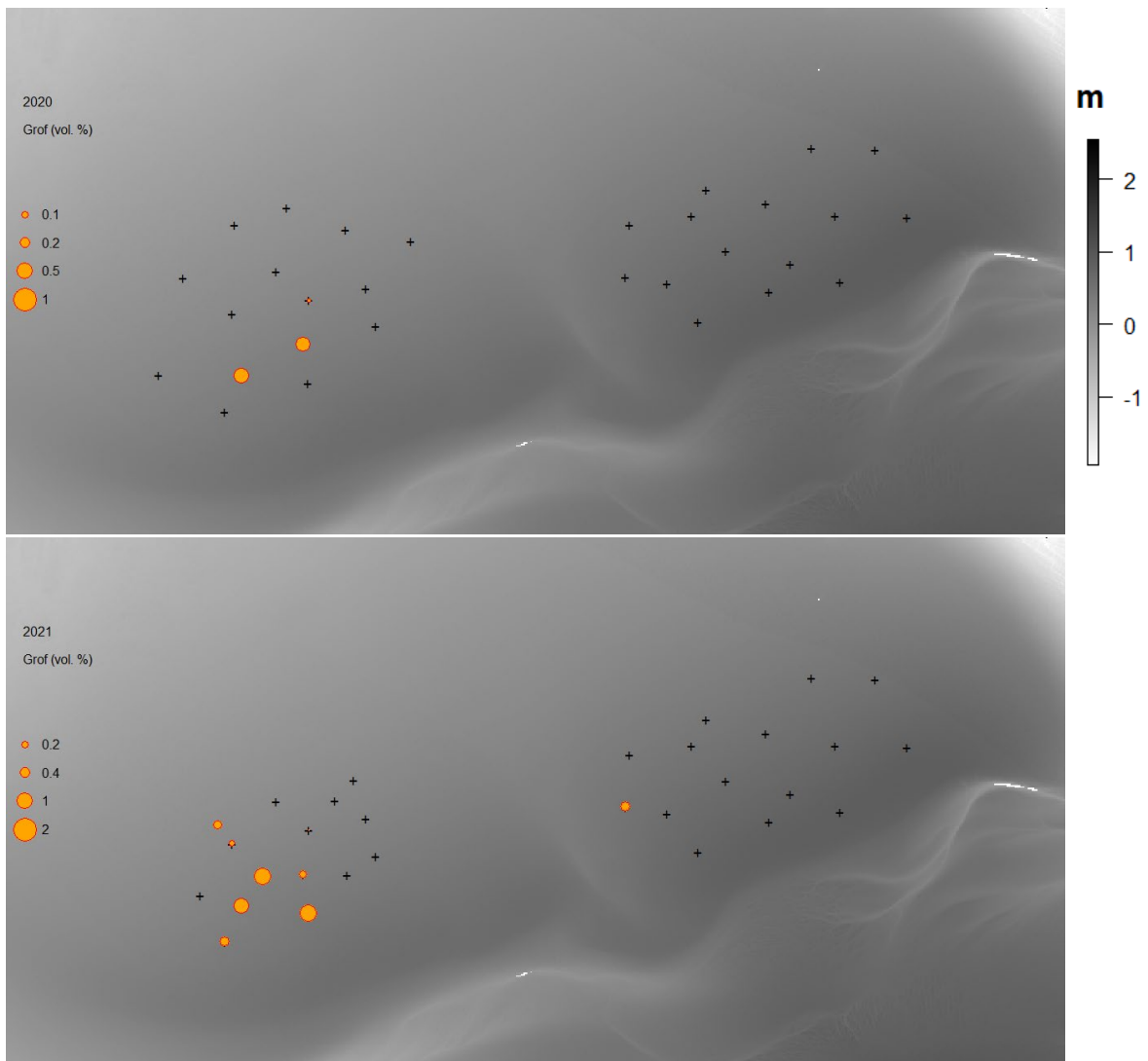
Bijlage 1 Verspreidingskaarten korrelgrootteverdeling



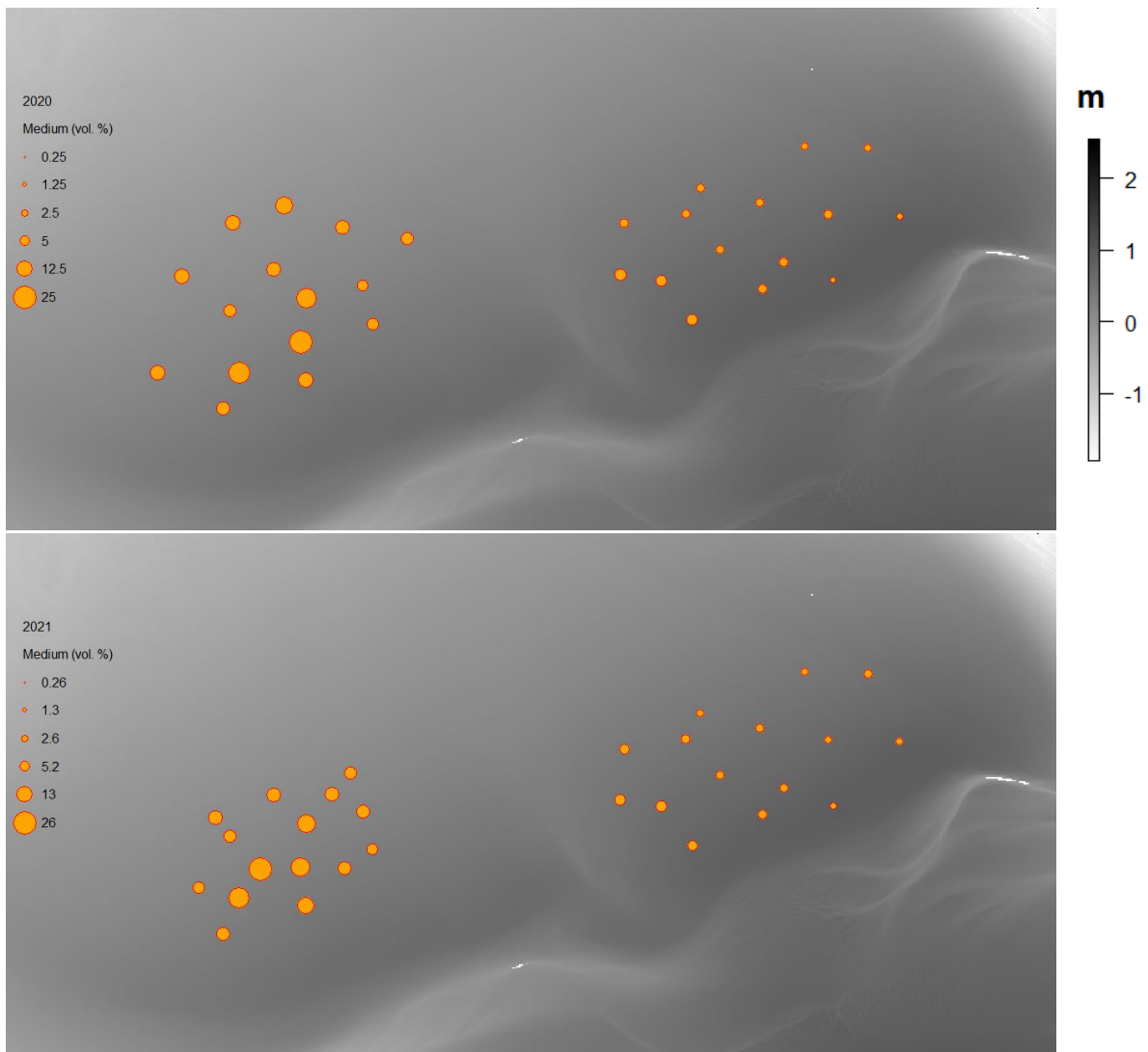
Figuur B1. Verdeling sedimentsamenstelling per gebied (project en referentie) en per sediment diepte (1 cm en 3 cm) in 2020.



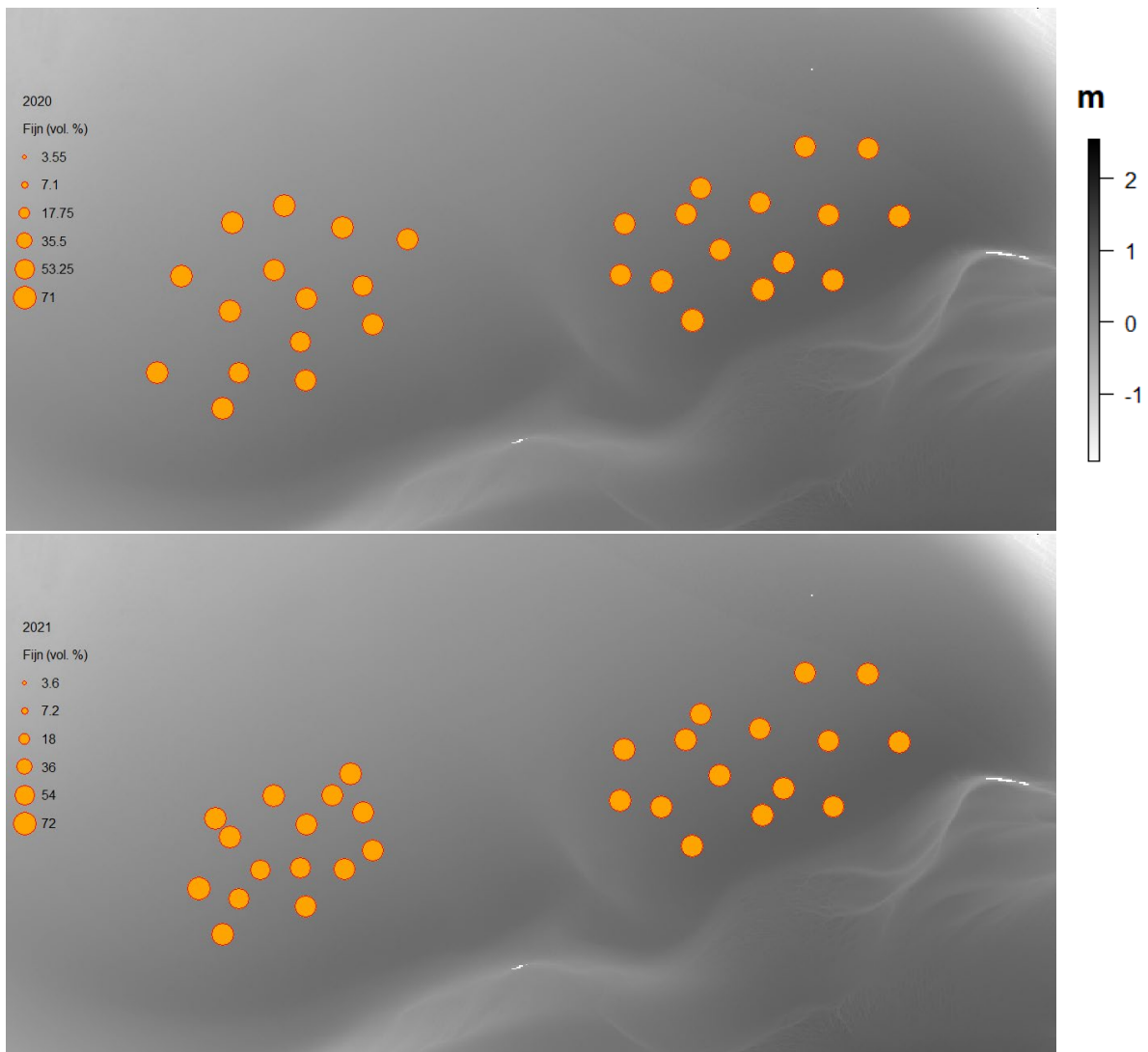
Figuur B2. Verdeling sedimentsamenstelling per gebied (project en referentie) en per sediment diepte (1 cm en 3 cm) in 2021.



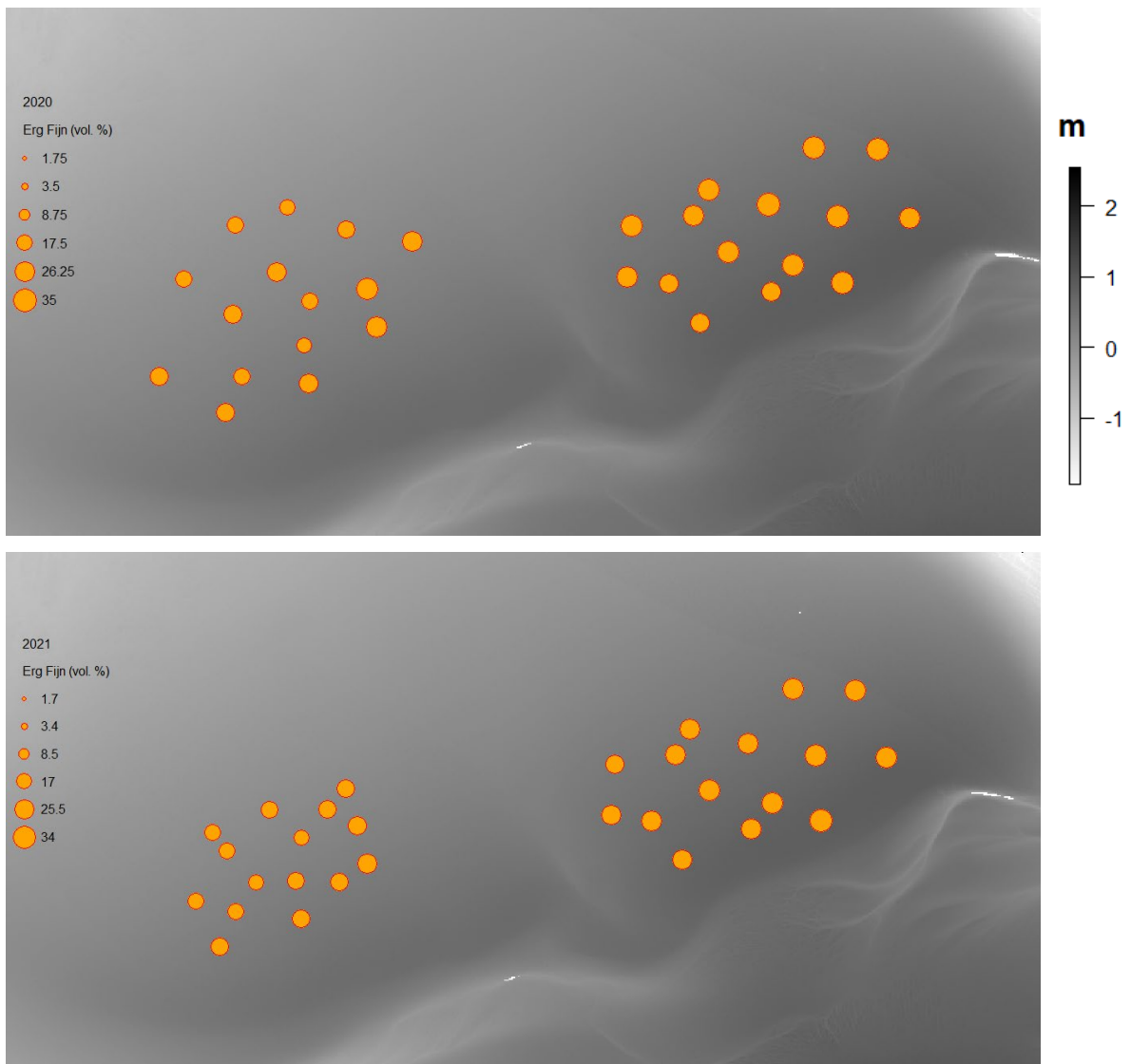
Figuur B3. Percentage grof sediment per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe grover het sediment. Stations die geen grof sediment bevatten, zijn aangegeven met een kruis.



Figuur B4. Percentage medium sediment per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe grover het sediment.



Figuur B5. Percentage fijn sediment per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe grover het sediment.



Figuur B6. Percentage erg fijn sediment per bemonsteringslocatie van alle gebieden in 2020 (boven) en 2021 (onder). Hoe groter het bolletje hoe grover het sediment.

Bijlage 2 Foto's: wadslakje



Figuur B7. Foto's van de meest voorkomende soort, het wadslakje (*P. ulvae*) met gemiddelde lengte (rechts). Bron: WoRMS: World Register of Marine Species (Creative commons).

Bijlage 3 Resultaten sediment analyses en coördinaten bemonsteringslocaties

Tabel B1. Overzicht van de sedimentsamenstelling (ruwe data) en coördinaten (rijksdriehoek-coördinatenstelsel) per monster per station bij het suppletiegebied in 2020. *Vooruitlopend op het verkleinen van de suppletie zijn de zes genoteerde stations in de 2021 campagne verzet.

Station	Diepte (cm)	D50	Grof	Medium	Fijn	Erg fijn	Slib	Y	X
1*	1	172.9	0.0	15.7	64.6	16.5	3.2	385635	70097
2	1	144.4	0.0	5.3	60.1	31.7	2.9	385463	70265
3	1	148.4	0.0	6.3	61.9	28.9	2.9	385383	70286
4	1	179.1	0.1	21.3	59.0	17.6	2.1	385438	70144
5	1	157.5	0.0	7.7	67.2	21.3	3.8	385409	69981
6	1	184.1	0.8	24.4	56.1	18.7	0.0	385279	70000
7*	1	169.5	0.0	11.6	69.7	15.8	2.8	385485	69877
8	1	195.9	0.6	28.0	57.1	13.1	1.1	385345	70131
9*	1	163.9	0.0	11.8	65.0	20.8	2.4	385588	70221
10*	1	165.6	0.0	11.3	68.1	20.6	0.0	385278	69824
11	1	150.7	0.0	8.2	60.3	27.1	4.5	385499	70075
12*	1	164.8	0.0	9.9	69.5	18.2	2.4	385598	69986
13*	1	153.4	0.0	7.4	64.7	27.1	0.8	385564	70360
14	1	161.3	0.0	8.8	68.8	20.7	1.7	385201	69966
15	1	162.7	0.0	12.1	64.3	23.6	0.0	385262	70143
1*	3	166.7	0.0	12.6	65.8	18.9	2.8	385635	70097
2	3	148.0	0.0	7.3	59.5	28.4	4.8	385463	70265
3	3	149.2	0.0	6.4	62.5	27.5	3.7	385383	70286
4	3	170.5	0.0	16.6	61.4	19.2	2.8	385438	70144
5	3	156.4	0.0	7.4	66.8	22.1	3.6	385409	69981
6	3	176.1	0.1	19.6	60.9	19.4	0.0	385279	70000
7*	3	164.9	0.0	11.0	67.5	19.9	1.6	385485	69877
8	3	179.5	0.1	21.4	59.7	18.8	0.0	385345	70131
9*	3	159.9	0.0	8.8	67.0	20.6	3.6	385588	70221
10*	3	162.1	0.0	9.9	67.6	22.5	0.0	385278	69824
11	3	160.9	0.0	11.4	63.1	22.0	3.5	385499	70075
12*	3	164.6	0.0	11.0	67.3	20.2	1.6	385598	69986
13*	3	153.1	0.0	7.3	64.2	25.4	3.1	385564	70360
14	3	159.5	0.0	9.1	67.0	23.9	0.0	385201	69966
15	3	155.3	0.0	9.4	62.3	24.7	3.6	385262	70143

Tabel B2. Overzicht van de sedimentsamenstelling (ruwe data) en coördinaten (rijksdriehoek-coördinatenstelsel) per monster per station bij het suppletiegebied in 2021. *Vooruitlopend op het verkleinen van de suppletie zijn de zes genoteerde stations in de 2021 campagne verzet.

Station	Diepte (cm)	D50	Grof	Medium	Fijn	Erg fijn	Slib	Y	X
1*	1	161.1	0.0	9.4	67.0	19.9	3.8	385500	70200
2	1	155.8	0.0	9.5	62.1	24.1	4.3	385463	70265
3	1	148.4	0.0	5.4	63.6	27.3	3.8	385383	70286
4	1	172.5	0.0	16.6	62.6	17.2	3.6	385438	70144
5	1	159.4	0.0	7.0	70.5	19.1	3.3	385409	69981
6	1	183.4	0.6	23.6	57.0	16.4	2.4	385279	70000
7*	1	165.3	0.0	10.2	69.0	17.3	3.4	385450	69950
8	1	170.0	0.3	15.9	61.9	19.1	2.8	385345	70131
9*	1	157.0	0.0	8.1	65.8	21.5	4.6	385545	70240
10*	1	159.7	0.0	6.6	71.5	18.0	4.0	385300	69913
11	1	163.3	0.0	9.9	67.8	18.3	3.9	385499	70075
12*	1	158.7	0.0	9.6	64.9	22.8	2.8	385343	70225
13*	1	190.0	1.1	26.5	54.6	14.8	3.0	385340	70045
14	1	160.8	0.7	7.9	68.9	20.0	2.5	385201	69966
15	1	171.6	1.1	15.4	63.3	19.0	1.3	385262	70143
1*	3	161.8	0.0	11.6	63.6	22.1	2.7	385500	70200
2	3	155.1	0.0	7.6	65.3	23.2	3.9	385463	70265
3	3	154.3	0.0	7.5	64.8	24.7	3.0	385383	70286
4	3	174.9	0.0	17.8	62.1	16.3	3.7	385438	70144
5	3	164.0	0.3	9.6	69.0	18.3	2.9	385409	69981
6	3	174.1	1.1	18.7	59.2	20.3	0.7	385279	70000
7*	3	163.9	0.6	10.3	67.0	20.3	1.8	385450	69950
8	3	174.2	0.2	20.1	57.4	19.0	3.4	385345	70131
9*	3	157.6	0.0	8.2	66.5	22.0	3.2	385545	70240
10*	3	163.3	0.0	8.2	71.4	16.9	3.5	385300	69913
11	3	162.0	0.0	10.6	65.5	20.1	3.8	385499	70075
12*	3	158.4	0.0	9.0	65.8	22.3	3.0	385343	70225
13*	3	184.4	1.1	24.4	55.3	17.4	1.8	385340	70045
14	3	162.9	0.0	10.2	67.8	22.1	0.0	385201	69966
15	3	161.7	1.1	11.4	62.9	24.1	0.5	385262	70143

Tabel B3. Overzicht van de sedimentsamenstelling (ruwe data) en coördinaten (rijksdriehoek-coördinatenstelsel) per monster per station bij het referentiegebied in 2020.

Station	Diepte (cm)	D50	Grof	Medium	Fijn	Erg fijn	Slib	Y	X
1	1	146.9	0.0	5.4	62.4	32.1	0.1	385598	70826
2	1	156.7	0.0	6.1	70.3	23.6	0.0	385473	70905
3	1	142.0	0.0	4.1	60.2	35.5	0.2	385643	71114
4	1	149.3	0.0	3.8	68.3	28.0	0.0	385514	71166
5	1	148.5	0.0	2.7	70.0	27.3	0.0	385613	71415
6	1	139.5	0.0	2.3	61.0	33.7	3.1	385758	71347
7	1	144.1	0.0	3.9	62.3	30.1	3.8	385673	70987
8	1	154.5	0.0	4.0	73.0	23.0	0.0	385456	71122
9	1	142.7	0.0	2.2	65.2	32.7	0.0	385476	71273
10	1	153.2	0.0	7.0	65.1	27.9	0.0	385488	70816
11	1	143.2	0.0	3.1	63.0	30.9	3.0	385617	70957
12	1	145.1	0.0	4.0	63.6	31.5	0.9	385616	71263
13	1	159.1	0.0	6.7	71.3	21.9	0.0	385391	70970
14	1	143.1	0.0	4.3	61.0	34.7	0.1	385762	71212
15	1	146.0	0.0	3.6	65.1	31.2	0.0	385542	71030
1	3	144.6	0.0	4.0	62.6	30.1	3.4	385598	70826
2	3	153.8	0.0	5.4	69.1	25.5	0.0	385473	70905
3	3	141.4	0.0	3.4	60.9	33.9	1.8	385643	71114
4	3	146.4	0.0	4.4	63.8	31.7	0.0	385514	71166
5	3	143.4	0.0	1.9	66.5	31.7	0.0	385613	71415
6	3	144.0	0.0	3.9	62.5	33.5	0.0	385758	71347
7	3	144.5	0.0	3.7	63.1	30.6	2.6	385673	70987
8	3	150.6	0.0	4.5	67.9	27.6	0.0	385456	71122
9	3	142.8	0.0	1.8	66.1	32.1	0.0	385476	71273
10	3	150.3	0.0	6.3	64.0	29.7	0.0	385488	70816
11	3	147.5	0.0	4.1	65.4	28.1	2.4	385617	70957
12	3	146.2	0.0	4.8	62.8	32.3	0.0	385616	71263
13	3	153.1	0.0	5.1	69.0	25.9	0.0	385391	70970
14	3	140.2	0.0	2.1	62.0	32.4	3.5	385762	71212
15	3	143.4	0.0	3.4	62.8	31.7	2.2	385542	71030

Tabel B4. Overzicht van de sedimentsamenstelling (ruwe data) en coördinaten (rijksdriehoek-coördinatenstelsel) per monster per station bij het referentiegebied in 2021.

Station	Diepte (cm)	D50	Grof	Medium	Fijn	Erg fijn	Slib	Y	X
1	1	152.0	0.0	5.5	66.6	23.8	4.1	385598	70826
2	1	151.9	0.0	6.2	65.6	27.5	0.7	385473	70905
3	1	147.4	0.0	3.4	66.8	25.9	4.0	385643	71114
4	1	150.7	0.0	4.6	67.8	27.6	0.0	385514	71166
5	1	146.6	0.0	3.5	65.9	30.5	0.0	385613	71415
6	1	147.2	0.0	3.9	66.0	30.1	0.0	385758	71347
7	1	147.7	0.0	3.5	66.8	25.6	4.1	385673	70987
8	1	151.4	0.0	4.7	68.2	27.1	0.0	385456	71122
9	1	141.0	0.0	2.2	63.2	34.6	0.0	385476	71273
10	1	156.3	0.6	6.1	68.6	21.9	2.7	385488	70816
11	1	148.4	0.0	3.6	67.2	25.1	4.1	385617	70957
12	1	146.0	0.0	3.6	65.4	31.0	0.0	385616	71263
13	1	153.6	0.0	5.5	68.8	25.7	0.0	385391	70970
14	1	146.5	0.0	3.1	66.5	26.7	3.7	385762	71212
15	1	146.4	0.0	3.8	65.4	30.8	0.0	385542	71030
1	3	150.6	0.0	5.6	64.9	25.0	4.5	385598	70826
2	3	153.6	0.0	6.0	67.6	26.4	0.0	385473	70905
3	3	146.1	0.0	4.2	64.2	31.3	0.3	385643	71114
4	3	146.4	0.0	3.6	65.6	30.8	0.0	385514	71166
5	3	144.9	0.0	2.2	67.4	30.4	0.0	385613	71415
6	3	146.1	0.0	3.6	65.5	31.0	0.0	385758	71347
7	3	143.7	0.0	2.8	64.3	28.3	4.6	385673	70987
8	3	151.7	0.0	4.8	68.3	26.9	0.0	385456	71122
9	3	142.5	0.0	2.4	64.3	33.3	0.0	385476	71273
10	3	153.0	0.0	6.6	65.8	27.3	0.3	385488	70816
11	3	150.1	0.0	5.7	65.1	29.3	0.0	385617	70957
12	3	144.0	0.0	3.1	64.3	32.7	0.0	385616	71263
13	3	154.1	0.0	5.5	69.1	25.4	0.0	385391	70970
14	3	141.9	0.0	3.3	61.8	34.2	0.7	385762	71212
15	3	148.5	0.0	4.3	66.3	29.1	0.3	385542	71030

Bijlage 4 Tabellen: voorkomen, soortenrijkdom, dichtheid en biomassa

Tabel B5. Het percentage voorkomen van verschillende macrofauna soorten voor het najaar 2020 en 2021, bij de suppletie- en referentiegebieden. Totale soorten is ook berekend.

Voorkomen (%)				
Soort/Taxa	Suppletie		Referentie	
	2020	2021	2020	2021
<i>Peringia ulvae</i>	100	100	100	100
<i>Corophium arenarium</i>	73	73	73	87
<i>Hypereteone foliosa</i>	60	7	20	
Capitella	47	40	40	53
<i>Urothoe poseidonis</i>	47	27	73	80
<i>Cerastoderma edule</i>	40	100	67	100
<i>Ruditapes</i> sp.	33	40		
Oligochaeta	27	27		7
<i>Spio martinensis</i>	27	73	13	27
<i>Alitta succinea</i>	20		7	
Aphelochaeta	20	47	13	20
<i>Arenicola marina</i>	20	7	33	13
<i>Macoma balthica</i>	20	53	13	40
Nereidinae	20	7	13	
<i>Streblospio benedicti</i>	20			
<i>Crangon crangon</i>	13	67	7	47
<i>Nephtys hombergii</i>	13	33		7
<i>Scrobicularia plana</i>	13	13		
Bivalvia	7			
<i>Crepidula fornicata</i>	7			
Gammarus	7			
<i>Glycera tridactyla</i>	7		7	13
<i>Heteromastus filiformis</i>	7			
Abra		7		
<i>Bathyporeia sarsi</i>				13
<i>Carcinus maenas</i>			13	
Decapoda				
<i>Eteone</i> sp.			7	
<i>Eteone longa</i>		27	7	7
<i>Kurtiella bidentata</i>				13
<i>Nephtys</i> sp.				
<i>Phyllodoce mucosa</i>		13		7
<i>Polydora cornuta</i>			7	
<i>Pygospio elegans</i>		67	13	53
<i>Scoloplos armiger</i>		27	7	33
Aantal soorten	23	21	20	19

Tabel B6. Benthos dichtheid (ind. m⁻², gemiddelde ± sd) van verschillende soorten bij de suppletie- en referentiegebieden van Natuurimpuls. Taxa staan geordend naar hun voorkomen in het suppletiegebied uit 2020.

Dichtheid (ind. m⁻²)				
Soort/Taxa	Suppletie		Referentie	
	2020	2021	2020	2021
<i>Peringia ulvae</i>	29 449 ± 10 247	46 594 ± 11 253	30 094 ± 12 383	32 718 ± 8 445
<i>Urothoe poseidonis</i>	192 ± 460	82 ± 251	385 ± 753	348 ± 482
<i>Corophium arenarium</i>	96 ± 96	91 ± 125	108 ± 107	187 ± 201
Oligochaeta	57 ± 174	161 ± 444		3 ± 11
<i>Hypereteone foliosa</i>	45 ± 52	3 ± 11	11 ± 25	
Capitella	31 ± 41	28 ± 44	20 ± 27	37 ± 55
<i>Cerastoderma edule</i>	31 ± 52	453 ± 165	82 ± 76	693 ± 476
<i>Ruditapes</i> sp.	31 ± 61	20 ± 27		
<i>Streblospio benedicti</i>	14 ± 35			
<i>Alitta succinea</i>	11 ± 25		3 ± 11	
Aphelochaeta	11 ± 25	42 ± 86	6 ± 15	8 ± 18
Nereidie	11 ± 25	3 ± 11	8 ± 24	
<i>Spio martinensis</i>	11 ± 19	59 ± 55	6 ± 15	23 ± 45
<i>Arenicola marina</i>	8 ± 18	3 ± 11	14 ± 21	8 ± 24
<i>Macoma balthica</i>	8 ± 18	54 ± 74	8 ± 24	40 ± 71
<i>Nephtys hombergii</i>	8 ± 24	14 ± 21		3 ± 11
<i>Crangon crangon</i>	6 ± 15	54 ± 67	3 ± 11	37 ± 58
<i>Scrobicularia plana</i>	6 ± 15	6 ± 15		
Bivalvia	3 ± 11			
<i>Crepidula fornicata</i>	3 ± 11			
Gammarus	3 ± 11			
<i>Glycera tridactyla</i>	3 ± 11		3 ± 11	8 ± 24
<i>Heteromastus filiformis</i>	3 ± 11			
Abra		3 ± 11		
<i>Bathyporeia sarsi</i>				11 ± 34
<i>Carcinus maenas</i>			6 ± 15	
Decapoda				
<i>Eteone</i> sp.			3 ± 11	
<i>Eteone longa</i>		11 ± 19	3 ± 11	3 ± 11
<i>Kurtiella bidentata</i>				6 ± 15
<i>Nephtys</i> sp.				
<i>Phyllodoce mucosa</i>		6 ± 15		3 ± 11
<i>Polydora cornuta</i>			3 ± 11	
<i>Pygospio elegans</i>		51 ± 46	6 ± 15	34 ± 40
<i>Scoloplos armiger</i>		11 ± 19	3 ± 11	31 ± 59
Totale dichtheid	30 043 ± 6 006	47 748 ± 10 155	30 773 ± 6 722	34 200 ± 7 489

Tabel B7. Benthos biomassa (g afdw m⁻², gemiddelde ± sd) van verschillende soorten in de suppletie- en referentiegebieden van Natuurimpuls. Taxa staan geordend naar hun voorkomen in het suppletiegebied uit 2020.

Biomassa (g AFDW m⁻²)				
Soort/Taxa	Suppletie		Referentie	
	2020	2021	2020	2021
<i>Peringia ulvae</i>	9.95 ± 3.76	17.08 ± 3.07	9 ± 3.33	14.78 ± 15.78
<i>Arenicola marina</i>	3.69 ± 6.41	1.51 ± 5.28	1.8 ± 3.63	4.52 ± 5.43
<i>Ruditapes</i> sp.	3.19 ± 12.33	1.17 ± 1.93		
<i>Urothoe poseidonis</i>	0.061 ± 0.16	0.03 ± 0.098	0.119 ± 0.238	0.108 ± 0.188
<i>Cerastoderma edule</i>	0.044 ± 0.142	9.17 ± 5.99	0.023 ± 0.052	6.2 ± 4.21
<i>Glycera tridactyla</i>	0.044 ± 0.131		0.008 ± 0.03	0.014 ± 0.051
<i>Nephtys hombergii</i>	0.041 ± 0.116	0.122 ± 0.181	0.019 ± 0.072	0.035 ± 0.122
<i>Scrobicularia plana</i>	0.035 ± 0.093	0.124 ± 0.39		
<i>Macoma balthica</i>	0.02 ± 0.079	0.108 ± 0.405	0.001 ± 0.005	0.002 ± 0.003
<i>Crangon crangon</i>	0.018 ± 0.05	0.089 ± 0.106	0.009 ± 0.034	0.116 ± 0.181
Capitella	0.016 ± 0.023	0.004 ± 0.009	0.004 ± 0.007	0.013 ± 0.023
<i>Heteromastus filiformis</i>	0.016 ± 0.062	0.01 ± 0.04		
<i>Alitta succinea</i>	0.011 ± 0.036		0.001 ± 0.003	
<i>Corophium arenarium</i>	0.007 ± 0.011	0.005 ± 0.008	0.01 ± 0.009	0.011 ± 0.017
<i>Crepidula fornicata</i>	0.004 ± 0.015			
Oligochaeta	0.003 ± 0.011	0.008 ± 0.023		
<i>Spio martinensis</i>	0.002 ± 0.003	0.004 ± 0.004	0.001 ± 0.002	0.004 ± 0.011
Aphelochaeta	0.001 ± 0.003	0.004 ± 0.012	0.001 ± 0.004	0.001 ± 0.003
<i>Hypereteone foliosa</i>	0.001 ± 0.002	0.0002 ± 0.001	0.001 ± 0.002	
<i>Nephtys</i> sp.	0.001 ± 0.004			
<i>Streblospio benedicti</i>	0.001 ± 0.002			
Nereidie	0.0004 ± 0.001		0.002 ± 0.006	
Bivalvia	0.00004 ± 0.0001			
Gammarus	0.00003 ± 0.0001			
Abra		0.0001 ± 0.0004		
<i>Bathyporeia sarsi</i>				0.003 ± 0.011
<i>Carcinus maenas</i>			0.048 ± 0.127	
Decapoda		0.001 ± 0.005		
<i>Eteone</i> sp.				
<i>Eteone longa</i>		0.001 ± 0.002	0 ± 0.001	0.001 ± 0.004
<i>Kurtiella bidentata</i>				0.002 ± 0.007
<i>Phyllodoce mucosa</i>		0.004 ± 0.012		0.002 ± 0.009
<i>Polydora cornuta</i>			0.001 ± 0.002	
<i>Pygospio elegans</i>		0.006 ± 0.008	0.0002 ± 0.001	0.005 ± 0.007
<i>Scoloplos armiger</i>		0.029 ± 0.047	0.001 ± 0.004	0.06 ± 0.115
Totale biomassa	17.15 ± 2.19	29.49 ± 4.02	11.04 ± 2.03	25.88 ± 3.76

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Bezoekers adres:

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



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'
