



---

# Baggeren Zandkreekgeul

Monitoring effecten van baggerwerkzaamheden in de Zandkreek en stort  
van de baggerspecie in het Engelsche Vaarwater

Auteur(s): Sarah Smith, Alicia Hamer & Jeroen Wijsman

Wageningen University &  
Research rapport C072/23

---

# Baggeren Zandkreekgeul

Monitoring effecten van baggerwerkzaamheden in de Zandkreek en stort van de baggerspecie in het Engelsche Vaarwater.

Auteur(s): Sarah Smith, Alicia Hamer & Jeroen Wijsman

Wageningen Marine Research  
Yerseke, November 2023

---

VERTROUWELIJK    Nee

Wageningen Marine Research rapport C072/23

---

Keywords: Baggeren, zwevend stof, Oosterschelde, schelpdierkweek, mosselen, oesters.

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving  
T.a.v.: Alice van Goudswaard – de Kooning  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/641604>  
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 Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, noch voor schade rechtspersoon Stichting Wageningen Research, hierbijwelke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen vertegenwoordigd door van Wageningen Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A\_4\_3\_1 V32 (2021)

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1 Achtergrond	8
1.2 Probleemstelling	10
1.3 Doel	10
1.4 Aanpak	10
1.5 Afbakening	11
1.6 Leeswijzer	12
1.7 Dankwoord	12
<b>2 De bagger- en stortwerkzaamheden</b>	<b>13</b>
2.1 Doel	13
2.2 Methode	13
2.3 Resultaten	14
2.3.1 In- en uit- peiling zandkreekgeul en stort locatie	14
<b>3 Monitoring ontwikkeling zwevend stof in Zandkreekgeul</b>	<b>16</b>
3.1 Doel	16
3.2 Metingen zwevend stof	16
3.2.1 Methode	16
3.2.2 Uitvoering metingen	18
3.2.3 Resultaten	19
3.3 Metingen satellietdata	25
3.3.1 Methode	25
3.3.2 Resultaten	26
3.3.3 Turbiditeit tijdens storm	29
<b>4 Schelpdierpercelen rond de Zandkreek: Algemene karakteristieken en kwaliteit</b>	<b>32</b>
4.1 Doel	32
4.2 Veilinggegevens mosselen van de percelen	33
4.2.1 Methode	33
4.2.2 Aanvoer gehele Oosterschelde	34
4.2.3 Aanvoer Zandkreek en omgeving	36
4.2.4 Aantal leveringen	37
4.2.5 Vleespercentages	37
4.3 Ontwikkeling van de mosselen op de percelen	39
4.3.1 Doel	39
4.3.2 Methode	39
4.3.3 Resultaten	40
4.4 Invangsucces en ontwikkeling oesterbroed op invangpercelen	43
4.4.1 Doel	43
4.4.2 Achtergrond	43
4.4.3 Methode	43
4.4.4 Resultaten	45
<b>5 Discussie</b>	<b>48</b>
<b>6 Conclusie</b>	<b>53</b>

---

<b>7</b>	<b>Kwaliteitsborging</b>	<b>54</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>55</b>
	<b>Verantwoording</b>	<b>57</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Vakindeling vaargeul</b>	<b>58</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>WaterInsight Rapport</b>	<b>59</b>

---

# Samenvatting

## Aanleiding

In opdracht van Rijkswaterstaat is in oktober 2021 de Zandkreekgeul weer op de vereiste diepte gebracht, ten behoeve van de scheepvaart. Hiervoor zou in totaal ca. 130 000 m<sup>3</sup> baggerspecie verwijderd worden uit de Zandkreekgeul. De baggerspecie wordt gestort in het aangewezen stortvak O10, gelegen in het Engelsche Vaarwater op ca. 50 m diepte. Het baggeren in de Zandkreekgeul en storten van slib op de stortlocatie zou potentiële effecten kunnen hebben op de omgeving. In het gebied waar de werkzaamheden zijn uitgevoerd, liggen mosselpercelen, vaste vistuigvakken en oesterpercelen. Samen met de kwekers zijn de mogelijke effecten van de werken bepaald. In een monitoringsplan dat is opgesteld in consultatie met vissers en schelpdierkwekers zijn metingen voorgesteld om die effecten inzichtelijk te kunnen maken. In dit rapport worden de resultaten van de monitoringsactiviteiten, zoals die in de periode augustus 2020 t/m december 2022 zijn uitgevoerd, beschreven.

## De bagger- en stortwerkzaamheden

De bagger- en stortwerkzaamheden vonden plaats in de periode van 4 tot en met 13 oktober en van 19 tot en met 22 oktober 2021. Uit peilingen met een multibeam in de Zandkreekgeul vóór en ná de werkzaamheden is het gebaggerd volume berekend op ca. 141 000 m<sup>3</sup>, ca. 11 000 m<sup>3</sup> meer dan gepland. Het extra volumeverschil wordt deels gerelateerd aan de herfststorm die op 21 oktober 2021 heeft plaatsgevonden, waardoor als gevolg van windomstandigheden en sterke stromingen sediment mogelijk uit de Zandkreekgeul is weggespoeld. De multibeam opnames op en rond de stortlocatie op O10 vóór en ná de werkzaamheden laten een volumetoeename zien van ca 7 000 m<sup>3</sup>. Dit houdt in dat 5% van de baggerspecie die in de Zandkreek is weggebaggerd na 6 weken binnen het onderzochte gebied op en rond stortvak O10 is teruggevonden. Mogelijk dat een deel van het fijne materiaal tijdens het storten is 'verwaaid' of naderhand uit het stortvak is weggespoeld als gevolg van de getijstroming.

## Ontwikkeling zwevend stof concentraties

Om variaties in de zwevend stof concentraties in de waterkolom te meten, heeft Rijkswaterstaat in de periode van oktober 2020 tot en met februari 2022, vier boeien met turbiditeitsensoren op relevante locaties geplaatst in de Zandkreekgeul; in de monding van de Zandkreek, in het Engelsche Vaarwater (ten noorden van de stortlocatie) en in het Brabantsche Vaarwater als referentiegebied. De turbiditeitsensoren aan de boeien meten de troebelheid (turbiditeit in eenheid Nephelometric Turbidity Units, NTU) als maat voor de concentratie zwevend stof van het water. De metingen toonden zowel ruimtelijke als temporele verschillen in zwevend stof concentraties, welke deels worden beïnvloed door weersomstandigheden (wind) en getij. Gedurende beide baggerperiodes zijn direct verhoogde waarden in turbiditeit (NTU) gemeten in de Zandkreekgeul, in de monding van de Zandkreek en in het Engelsche Vaarwater in vergelijking met de periode daarvoor (met een relatieve toename van resp. ca. 114%; (+ 8 NTU); 66% (+ 4 NTU) en 275% (+ 22 NTU), op basis van daggemiddelden). De toename in turbiditeit is te wijten aan het vrijkomen van slib en sediment in het water als gevolg van de bagger- en stortwerkzaamheden. Het stopzetten van de werkzaamheden resulteerde vrijwel direct in een daling van de NTU-waarden. Dit is zowel te zien in de data van de meetboeien als op de satellietbeelden uit die periode. Na de tweede periode van baggeren blijven de NTU-waarden in het Engelsche Vaarwater verhoogd ten opzichte van de periode voor de werkzaamheden (relatieve toename van ca. 150%, op basis van daggemiddelde). Deze verhoogde waarden zouden kunnen wijzen op resuspensie van het gestorte sediment vanuit de stortlocatie O10. Deze verhoogde NTU waarden lijken aan te houden tot en met de eerste dagen van november 2021. Vanaf 12 november 2021, ca. 3 weken na het afronden van de werkzaamheden lijkt het er op dat de daggemiddelden (in NTU) op alle vier de meetlocaties gezakt zijn en overeenkomen met de daggemiddelden gemeten voor de werkzaamheden.

## Ontwikkelingen mosselen op de percelen

Om de effecten op de mosselen op de nabijgelegen mosselpercelen te onderzoeken zijn er op 20 momenten in de periode van oktober 2020 tot en met december 2022 met een mosselkor in totaal 519 monsters genomen van de bezaaide percelen rondom de Zandkreek. Het onderzoeksgebied behelsde de

---

mosselpercelen in en ten zuiden van de Zandkreek, alsook de mosselpercelen ten westen en ten zuiden van de Galgeplaat. De monsters zijn direct verwerkt en de resultaten zijn binnen ca. 1 week na bemonstering, per perceel, gerapporteerd aan de betreffende kweker. Hierdoor hadden de kwekers een actueel beeld van de ontwikkeling van de mosselen op hun eigen perceel. De monitoring toont aan dat mosselen op de percelen aan de Zandkreekzijde over het algemeen een hoger bustal (aantal mosselen in een 880 ml blik, n), een lager gemiddeld gewicht (g) en een kortere schelpenlengte (mm) hebben dan de mosselen aan de zijde van de Galgeplaat. Dit komt doordat de mosselpercelen aan de Zandkreekzijde voornamelijk worden gebruikt voor het bewaren van mosselzaad of halfwas mosselen, en vrijwel niet voor consumptiemosselen. De gemiddelde grootte en vleespercentages van de mosselen op de percelen variëren door het seizoen als gevolg van fluctuerende omgevingscondities (voedsel, temperatuur), voortplanting en de activiteiten van de kwekers (opvissen van consumptiemosselen en opnieuw inzaaien met halfwas mosselen). In de maanden mei tot september 2022 is op de bemonsterde percelen in het onderzoeksgebied een hoog percentage peulen (doublet van intacte schelpen) aangetroffen wat een indicatie is voor recente sterfte. Het is niet aannemelijk dat deze sterfte direct is te wijten aan de baggerwerkzaamheden omdat dergelijke sterfte vaker plaatsvindt in de Oosterschelde en in dit geval heeft plaatsgevonden ca. 6 maanden na de baggerwerkzaamheden waarbij de sterfte in diezelfde periode ook elders in de Oosterschelde is waargenomen.

Gegevens van de mosselveiling bevestigen dat, binnen het onderzoeksgebied, de meeste leveringen van consumptiemosselen aan de veiling afkomstig zijn van de percelen langs de Galgeplaat. Van de mosselpercelen in de Zandkreek en nabij de Goessche Sas is sinds het seizoen 2018\_2019 niets meer geleverd aan de veiling. De gemiddelde netto aanvoer van de mosselpercelen in de Oosterschelde over de seizoenen 2000\_2001 tot en met 2022\_2023 was 24.6 miljoen kg per seizoen. De gemiddelde aanvoer over de seizoenen 2000\_2001 tot en met 2022\_2023 van de percelen die rondom de locaties van de bagger- en stortwerkzaamheden liggen is 4.2 miljoen kg per seizoen. Dit is ongeveer 16.8% van de totale aanvoer van mosselen vanuit de Oosterschelde. Het aantal leveringen vanuit de percelen in het onderzoeksgebied was in seizoen 2022\_2023 155 en komt overeen met het voorgaande seizoen (2021\_2022) waar het aantal leveringen 157 was. Het vleespercentage is een maat voor de kwaliteit van de mosselen en is een belangrijke variabele voor de prijs van de mosselen aan de veiling. Het gemiddelde vleespercentage, van de gehele Oosterschelde, over de periode 2000-2023 bedraagt 25.1%. Het gemiddelde vleespercentage in het seizoen 2022\_2023 (24.1%) is lager dan voor het seizoen 2021\_2022 (30.1%). Dit is in lijn met de ontwikkeling van de vleespercentages in de hele Oosterschelde. Het seizoen 2021\_2022 was namelijk een topjaar wat vleesgewichten betreft van de mosselen in de Oosterschelde. De gemiddelde vleespercentage van de percelen langs de Galgeplaat voor het seizoen 2022\_2023 (24.1%) komt overeen met het gemiddelde percentage voor seizoen 2020\_2021 (25.4%).

### **Ontwikkelingen oesters op de oesterinvangpercelen**

Op de oesterpercelen in de Zandkreek die worden gebruikt voor de invang van oesterbroed zijn in het voorjaar 2021, vóór de baggerwerkzaamheden, op alle bemonsterde percelen oesterbroed waargenomen. De oesterpercelen waren ingezaaid met collectorschelpen in de zomer van 2020. De winteroverleving (medio september t/m medio april) van het oesterbroed was na een ca. een half jaar 30%. Een hoge sterfte van oesterbroed is normaal als gevolg van predatie. Na het inzaaien met collectorschelpen in de zomer van 2021, het jaar van het baggeren, waren er ruimtelijke verschillen te zien in de hoeveelheid waargenomen oesterbroed. Waar op het ene perceel net zo veel oesterbroed te vinden was als het jaar ervoor, was op een ander perceel veel minder oesterbroed aangetroffen dan het jaar daarvoor. Bemonstering van de percelen in oktober 2021 vond plaats 2 dagen na het starten van de baggerwerkzaamheden. In 2022, het jaar na het baggeren, is er in het najaar op enkele, niet eerder gemonitorde percelen, bijna geen oesterbroed aangetroffen. Dit terwijl deze percelen al vroeg in de zomer zijn ingezaaid met collectorschelpen. Op een ander perceel, dat al eerder was bemonsterd, is wel veel oesterbroed aangetroffen, overeenkomstig met de hoeveelheden in 2020 en 2021. Doordat de percelen telkens opnieuw werden ingezaaid tijdens de monitoringsperiode was het niet mogelijk om de kwalitatieve analyses (cohort analyse en sterfte/groei bepaling) uit te voeren en tegelijkertijd de anonimiteit van de kweker te behouden. De data zijn daarom in dit rapport globaal besproken. Door de inconsistentie van beschikbare data is het moeilijk te zeggen of de baggeractiviteiten invloed hebben gehad op de oesters op de oesterinvangpercelen. Wel zijn er op sommige percelen door de hele periode normale hoeveelheden sterfte en broedval gezien.

---

### **Eindconclusie**

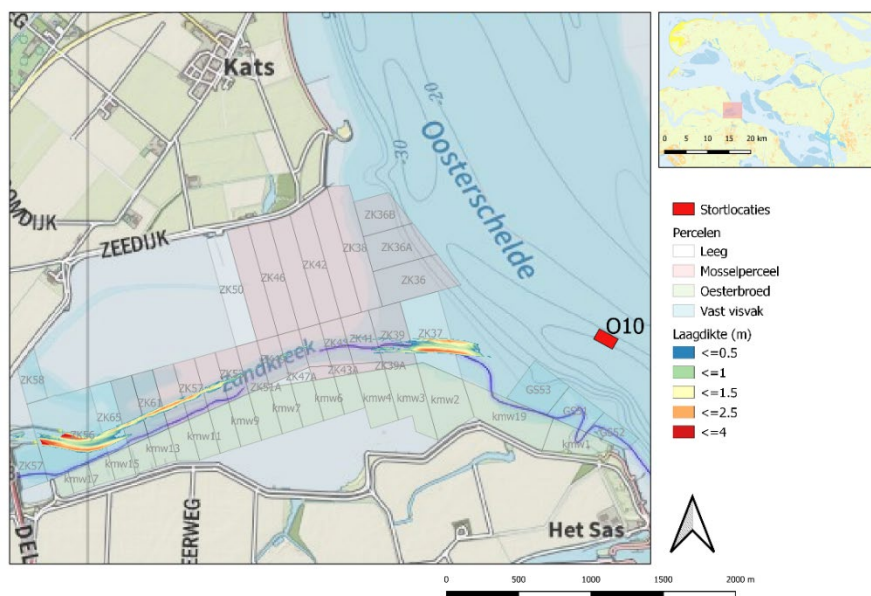
De resultaten van de monitoring die is uitgevoerd en gepresenteerd in deze rapportage laten geen duidelijke aanwijzingen zien die wijzen op schade door de werkzaamheden gerelateerd aan het verdiepen van de Zandkreekgeul op de omliggende mosselpercelen en oesterinvangpercelen.



# 1 Inleiding

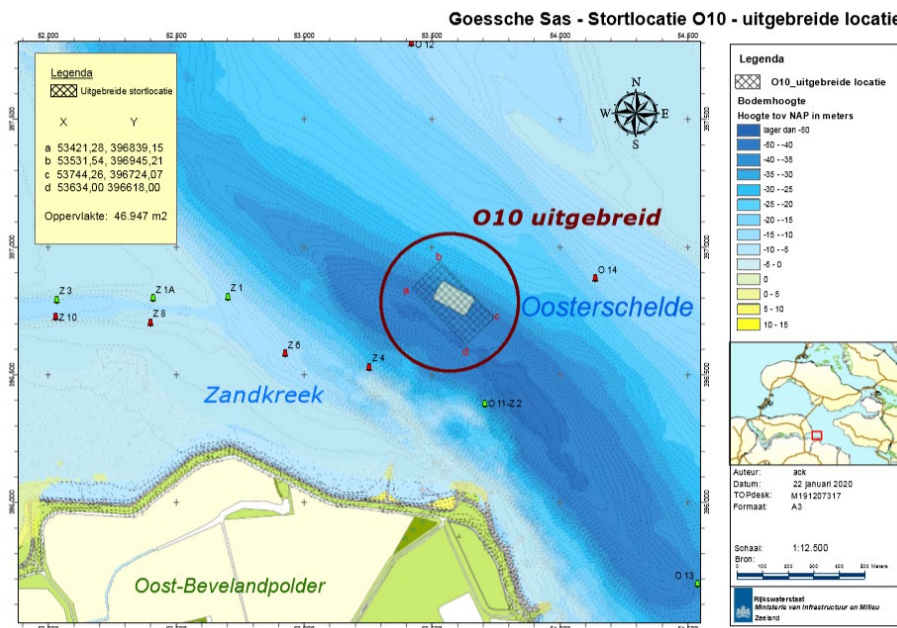
## 1.1 Achtergrond

De vaargeul van de Zandkreek (Figuur 1, verbinding tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer) is in de loop der jaren sterk verzand. Omdat dit tot problemen leidde voor de scheepvaart is de vaargeul in oktober 2021 uitgebaggerd. Hierbij zou in totaal ca. 130 000 m<sup>3</sup> baggerspecie verwijderd worden uit de Zandkreekgeul en gestort in stortvak O10 (Figuur 2) in het Engelse Vaarwater. Deze stortlocatie is door Rijkswaterstaat gekozen op basis van een modelstudie uitgevoerd door Deltares (van Duren et al., 2019), waarbij is gekeken naar verschillende verspreidingsscenario's en de effecten daarvan in de waterkolom en op de bodem in vergelijking tot verschillende natuurfuncties en gebruikersfuncties. Oorspronkelijk was de idee om een deel van de baggerspecie (50 000 tot 60 000 m<sup>3</sup>) te gebruiken voor een suppletie in het Verdrongen Land van Zuid-Beveland (Rattekaai, Figuur 3) in het kader van het project "Natuurimpuls" dat samen met Natuurmonumenten zou worden uitgevoerd (Ysebaert et al., 2020). Echter, wegens technische problemen was dit niet mogelijk en is de suppletie niet uitgevoerd. Besloten is toen om het volledige baggervolume te storten in stortvak O10. Het stortvak O10, dat op ca. 50 m diepte ligt, was in eerste instantie 11 900 m<sup>2</sup>. Rijkswaterstaat heeft het stortvak vergroot naar ca. 46 900 m<sup>2</sup> (Figuur 2).

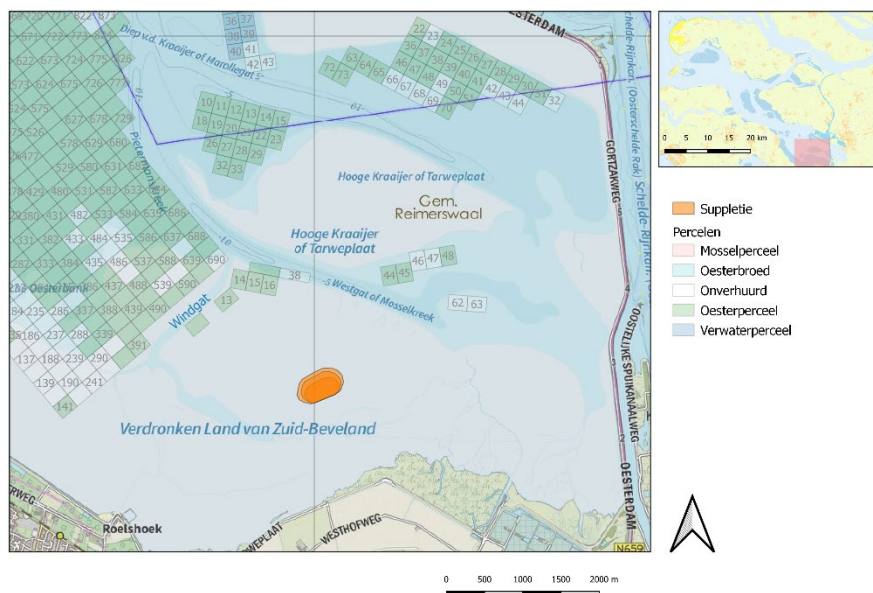


*Figuur 1. Overzicht van de Zandkreek, waarbij de geplande laagdikte (m) van de baggerwerkzaamheden in de vaargeul is weergegeven. Daarnaast zijn schelpdierpercelen, vaste visvakken en de stortlocatie O10 aangegeven.*

Het baggeren in de Zandkreekgeul en storten van sediment op de stortlocatie zou potentiële effecten kunnen hebben op het systeem, zowel op de bodem als in de waterkolom, en daarmee potentiële effecten kunnen hebben op de schelpdierkweek in de omgeving.



*Figuur 2: De locatie en de grootte (raster) van de stortlocatie O10 in het Engelsche Vaarwater.*



*Figuur 3: Overzicht van de geplande suppletie (oranje) in het kader van het project Natuurimpuls in het Verdrongen Land van Zuid-Beveland. De kleurschakering geeft drie mogelijke volumes weer van de suppletie (50 000 m<sup>3</sup>, 75 000 m<sup>3</sup> en 100 000 m<sup>3</sup> baggerspecie). Ook zijn de (verhuurde en onverhuurde) oesterpercelen weergegeven.*

Wageningen Marine Research (WMR) heeft op verzoek van Rijkswaterstaat een monitoringsplan opgesteld om eventuele effecten van de werkzaamheden in kaart te brengen (Wijsman & Smith, 2020). Hierbij is rekening gehouden met de meest relevante zorgpunten die kwekers en vissers tijdens een (online, als gevolg van de COVID-19 pandemie) stakeholderbijeenkomst op 29 mei 2020 hebben geuit en de inschatting van de risico's. Uit de risico inventarisatie bleek dat de grootste risico's zaten in een verminderd rendement van de mosselpercelen in het Engelsche Vaarwater als gevolg van vertroebeling en de verhoogde sedimentatie en het verminderd rendement van het ingevangen oesterbroed op de invangpercelen in de Zandkreek. Tijdens de bijeenkomst van 29 mei 2020 zijn door de stakeholders tevens zorgen geuit over het verlies aan kweekareaal in de Zandkreek en verminderde groei en kwaliteit van oesters nabij de suppletie. Tijdens een tweede online stakeholderbijeenkomst op 26 juni 2020 is de conceptversie van het monitoringsplan besproken met kwekers en vissers.

---

## 1.2 Probleemstelling

In het gebied waar de bagger- en stortwerkzaamheden zijn uitgevoerd en de suppletiewerkzaamheden gepland stonden, liggen mosselpercelen, vaste vistuigvakken en oesterpercelen. Zo liggen in de Zandkreek mosselpercelen die beperkt worden gebruikt (voornamelijk voor het bewaren van mosselzaad en halfwasmosselen), visvakken waar met vaste vistuigen gevist wordt op o.a. paling en kreeft, en percelen die worden gebruikt voor de invang van oesterbroed. De mosselpercelen langs de Galgeplaat in het Engelsche Vaarwater zijn een belangrijk productiegebied voor consumptiemosselen. Ook liggen er in het Engelsche Vaarwater een aantal vaste-vistuigvakken en worden er oesters gekweekt op tafels. De werkzaamheden dienen zo min mogelijk hinder of schade te veroorzaken bij de gebruikers, met name de schelpdierkwekers en vaste vistuig vissers.

## 1.3 Doel

Het doel van deze opdracht is het (deels) uitvoeren en coördineren van de monitoringsactiviteiten in het kader van het in kaart brengen van eventuele effecten van de bagger- en stortwerkzaamheden in resp. de Zandkreek en het Engelsche Vaarwater op de kweekpercelen en visvakken. WMR heeft de monitoringsactiviteiten uitgevoerd zoals voorgesteld in het monitoringsplan (Wijsman & Smith, 2020), aangepast op basis van de nieuwe planning van de baggerwerkzaamheden in de Zandkreek. Bij ingrepen in een natuurlijk systeem zijn er mogelijke oorzaak-effect relaties die in potentie gevolgen kunnen hebben voor medegebruikers van het gebied (e.g. Wijsman en Kraan, 2017). De resultaten van de monitoring stelt Rijkswaterstaat in staat te toetsen of de bagger- en stort-werkzaamheden hebben plaatsgevonden zoals gepland en om al dan niet ongewenste ontwikkelingen op de omliggende mossel- en oesterpercelen en visvakken vast te stellen.

## 1.4 Aanpak

De monitoringsactiviteiten die uitgevoerd worden om de mogelijke effecten van de baggerwerkzaamheden in de Zandkreek en het storten op de stortlocatie O10 in het Engelsche Vaarwater op de schelpdierkweek en visserij activiteiten in kaart te brengen zijn beschreven in Wijsman & Smith (2020).

Hierbij worden de volgende monitoringsactiviteiten onderscheiden:

1. Registratie baggerwerkzaamheden;
2. Metingen zwevend stof;
3. Analyse veilinggegevens mosselkweek;
4. Analyse zakboekjes;
5. Bemonstering mosselpercelen;
6. Invangsucces en ontwikkeling oesterbroed.

Tabel 1. geeft aan hoe de verschillende monitoringsactiviteiten bijdragen in het aanleveren van relevante data voor de verschillende zorgpunten zoals deze geuit zijn door kwekers en vissers. Het laatste zorgpunt wordt niet gedekt door de in de huidige studie uitgevoerde monitoring. Het sediment is onderzocht en hieruit blijkt dat het niet is verontreinigd (MH Poly, 2019). Aanvullend is er vanuit voedselveiligheidsoogpunt een monitoringsprogramma vanuit de NVWA waarbij wordt gemonitord op verontreinigingen in schelpdieren<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/schelpdieren>

Tabel 1. Overzicht van hoe de monitoringsactiviteiten aanhaken op de verschillende zorgpunten zoals geuit door kwekers en vissers. De zwarte vlakken worden gedekt door de monitoring. De grijze vlakken worden beperkt gedekt. Door het niet doorgaan van de suppletie in het Verdrongen Land van Zuid-Beveland zijn de zorgpunten 5 en 9 niet meer van toepassing voor het huidige onderzoek.

	Registratie baggervolumes	Metingen zwevend stof	Veilinggegevens mosselweek	Analyse Zakboekjes	Bemonstering mosselpercelen	Invangsucces en ontwikkeling oesterbroed
1. (Tijdelijk) verlies kweekareaal mosselkwekers Zandkreek						
2. Verminderde kreeftenvangsten in de Zandkreek door verlies kreeftenhabitat						
3. Verminderde groei en kwaliteit van de mosselen op de percelen in de Zandkreek door toename van vertroebeling						
4. Verminderde groei en kwaliteit van de mosselen op de percelen in het Engelsche Vaarwater door toename van vertroebeling						
5. Verminderde groei en kwaliteit van de oesters op de percelen in de Kom door toename van vertroebeling in de Pietermanskreek;						
6. Sterfte van mosselen op de percelen in de Zandkreek door verhoogde sedimentatie;						
7. Sterfte van mosselen op de percelen in het Engelsche Vaarwater door verhoogde sedimentatie						
8. Sterfte van het ingevangen oesterbroed op invangpercelen in de Zandkreek						
9. Sterfte van de oesters op de percelen in de Kom door verhoogde sedimentatie						
10. Verminderde invang van oesterbroed op de invangpercelen in Zandkreek door verhoogde sedimentatie;						
11. Verontreiniging die vrijkomt uit het slib kan worden opgenomen door de schelpdieren en kreeften waardoor deze niet kunnen worden verkocht						

## 1.5 Afbakening

Zoals genoemd zou in eerste instantie een deel van de baggerspecie worden gebruikt voor een suppletie in het Verdrongen Land van Zuid-Beveland. Doordat de ondergrond van het te suppleren gebied niet verantwoord begaanbaar was met de zware machines, is deze suppletie niet uitgevoerd. De gegevens van de meetboeien ZS5, ZS6 en ZS7 die voor de monitoring in de Kom van de Oosterschelde waren geplaatst, zijn daarom ook niet verder geanalyseerd en worden in voorliggend document niet gerapporteerd. Ook zijn gedurende het project geen zakboekjes aangeleverd door kwekers en vissers aan WMR voor verdere analyse. Dit monitoringsonderdeel is daarom, in overleg met kwekers, vissers en Rijkswaterstaat, komen te vervallen en wordt niet meegenomen in de huidige rapportage. Hiermee is geen invulling gegeven aan de zorgpunten 2, 5 en 9 zoals genoemd in Tabel 1.

---

## 1.6 Leeswijzer

Dit rapport is opgedeeld in 6 hoofdstukken die een overzicht geven van de monitoring die is uitgevoerd in het kader van de baggerwerkzaamheden in de Zandkreek. Voor de hoofdstukken waarin resultaten beschreven worden, is voor elk subonderdeel een korte beschrijving gegeven van het doel, de methodiek, direct gevolgd door de resultaten. Hoofdstuk 2 beschrijft de baggeractiviteiten zoals ze zijn uitgevoerd door de aannemer. De resultaten van de analyses van de data van zwevend stof concentraties en van de satellietbeelden worden behandeld in hoofdstuk 3. De resultaten van de analyses van de veilinggegevens van de mosselsector, alsook de ontwikkelingen op de mosselpercelen en de oesterinvangpercelen zijn terug te vinden in hoofdstuk 4. De discussie van de resultaten en de conclusies zijn ten slotte terug te vinden in hoofdstuk 5 en 6.

## 1.7 Dankwoord

Voor de monitoring op de mosselkweekpercelen is gebruik gemaakt van de MS Luctor van de Rijksrederij. Hierbij willen wij de bemanning, in het bijzonder vakdeskundige visserij Gert-Jan van Veen van RVO, danken voor hun inzet en de prettige samenwerking. Ook willen wij de mossel- en oesterkwekers danken voor hun medewerking aan het periodieke onderzoek op hun percelen. De Nederlandse Mosselveiling heeft de veilingdata beschikbaar gesteld voor de analyses. WaterInsight B.V. heeft de satellietdata aangeleverd.

---

## 2 De bagger- en stortwerkzaamheden

In oktober 2021 zijn de baggerwerkzaamheden in de Zandkreekgeul en de stortwerkzaamheden in het Engelsche Vaarwater uitgevoerd door aannemer De Klerk. De werkzaamheden zijn gestart op 4 oktober 2021 en zijn op 22 oktober 2021 beëindigd. Van 14 oktober t/m 18 oktober 2021 hebben er geen werkzaamheden plaatsgevonden. Door het niet doorgaan van de suppletie in de Kom van de Oosterschelde is de totale hoeveelheid gebaggerde specie gestort op de stortlocatie O10 in het Engelsche Vaarwater.

### 2.1 Doel

Door Rijkswaterstaat is vooraf een gedetailleerde berekening gemaakt hoeveel sediment in welke delen van de Zandkreek er zouden moeten worden weggebaggerd. Figuur 1 geeft de geplande laagdikte (m) van de baggerwerkzaamheden in de vaargeul. Registraties van de baggerwerkzaamheden hebben als doel te verifiëren of de geplande hoeveelheden sediment op de geplande locaties zijn verwijderd en om inzicht te krijgen in de hoeveelheid dat er is gestort op de stortlocatie O10.

### 2.2 Methode

De aannemer De Klerk heeft een registratie bijgehouden van zijn werkzaamheden. Alle vaarbewegingen zijn gelogd in de plotter (inclusief datum en tijdstip). Daarnaast is de bodem van het gebaggerd gebied in de Zandkreek en de stortlocatie in detail in kaart gebracht door voorafgaand en na afloop van de werkzaamheden multibeam opnames te maken. Hiermee is onderzocht of de gebaggerde volumes en arealen overeenkomen met de planning.

Gedurende de baggerwerkzaamheden heeft De Klerk dagrapportages bijgehouden waarin per dag het aantal transporten, de tijdstippen waarop welke activiteiten hebben plaatsgevonden en de gemeten hoeveelheden gebaggerd en gestort specie zijn geregistreerd. Deze dagrapportages zijn ter beschikking gesteld aan WMR. De geregistreerde volumes baggerspecie zijn inclusief water, omdat het materiaal slibrijk was, waardoor overflowen niet mogelijk was. Overflowen betekent dat het water dat is meegezogen tijdens het baggeren uit het schip wordt gelaten. De genoemde hoeveelheden in de dagrapportages zijn daardoor niet representatief voor het berekenen van de gestorte hoeveelheid (opm. De Klerk, 2021). Na 22 oktober hebben kraanschepen, met name in het westelijk deel van de Zandkreekgeul nog baggerspecie verplaatst naar diepere locaties in de geul en is een ploegboot van 1 tot en met 10 november 2021 bezig geweest met het onderwater uitvlakken waar dat nodig was. In afwijking van het advies van Wijsman & Smith (2020) zijn door de aannemer géén monsters genomen vanuit de beun om de samenstelling van het baggerslib te bepalen. Voor de samenstelling van het sediment is uitgegaan van het waterbodemonderzoek (MH Poly, 2019).

Op 28 september 2021 (6 dagen vóór de start van het baggeren) heeft De Klerk inpeilingen uitgevoerd door middel van multibeam in de Zandkreekgeul en stortvak O10 om inzicht te krijgen in het bodemprofiel voorafgaand aan de werkzaamheden. Op 13 november 2021 heeft de aannemer eindpeilingen uitgevoerd in dezelfde gebieden. De multibeam opnames maken het mogelijk om te kunnen bepalen of het baggerwerk conform afspraak is uitgevoerd. De in- en eindpeiling zijn ter beschikking gesteld aan WMR om te analyseren.

## 2.3 Resultaten

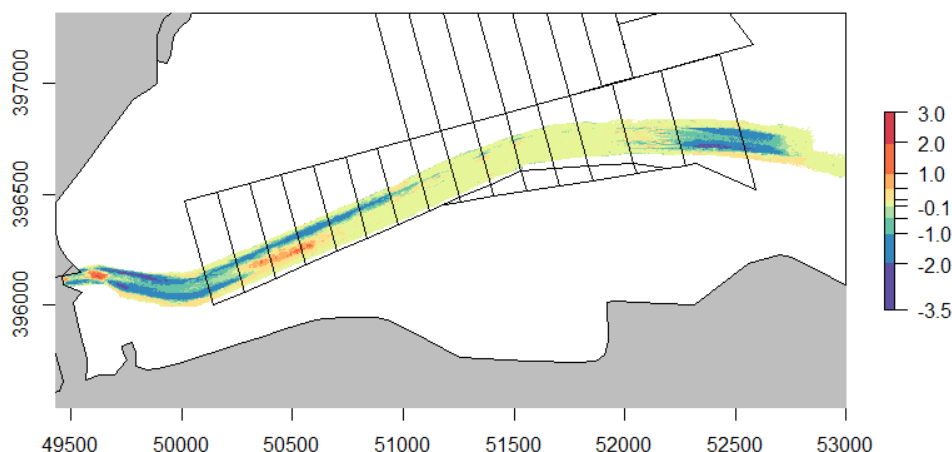
### 2.3.1 In- en uit- peiling zandkreekgeul en stort locatie

Het verschil in bodemprofiel tussen de inpeiling vooraf (28 september 2021) en de uitpeiling na afloop (13 november 2021) van de werkzaamheden in combinatie met de registraties van de aannemer geven een indruk waar en hoeveel materiaal is weggebaggerd. Het baggergebied is in 7 vakken en het stortvak in 6 vakken opgedeeld. Op basis van de in- en uitpeiling in de vaargeul is door De Klerk per vak het verschil in volume tussen deze peilingen berekend (Tabel 2). Het totaal volume verschil *in situ* is hiermee berekend op 141 073 m<sup>3</sup>.

Tabel 2. Overzicht van het gebaggerde volume per vak o.b.v. de eindpeiling (13 november 2021) ten op zichte van de inpeiling voor de werkzaamheden (26 september 2021). De vaknummering loopt op van het westen naar het oosten van de Zandkreek.

Inpeiling vs. uitpeiling Zandkreekgeul (m <sup>3</sup> )								
Vak 0	Vak 1	Vak 2	Vak 3	Vak 4	Vak 5	Vak 6	Vak 7	Totaal
3468	50044	15371	15160	315	593	10060	46425	141436

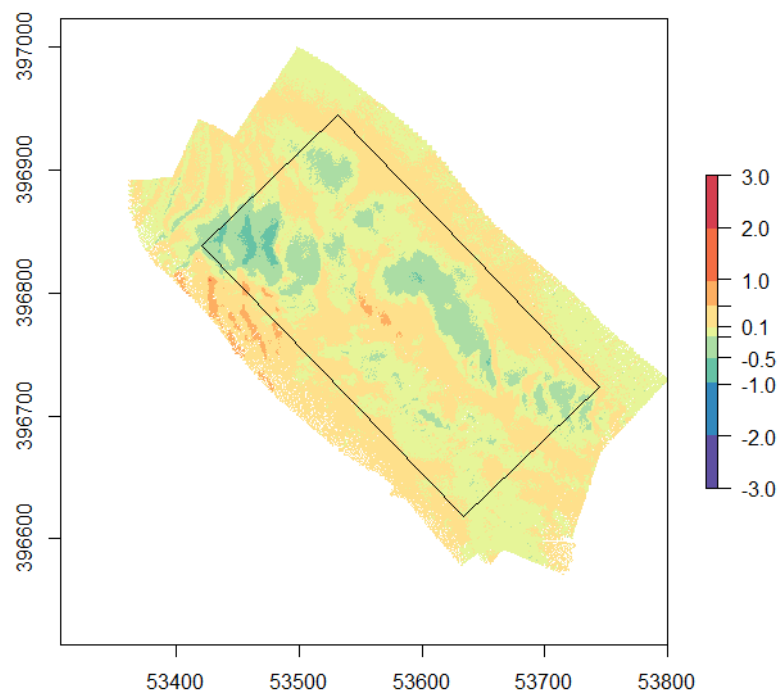
Figuur 4 geeft het verschil in bodemhoogte (m) vóór en ná de werkzaamheden in de vaargeul en Figuur 5 geeft het verschil weer op de stortlocatie. Het verschil in bodemhoogte (m) vóór en ná de werkzaamheden in de vaargeul met de vakindeling aangehouden door de aannemer tijdens het baggeren is te vinden in Bijlage 1.



*Figuur 4. Weergave van het verschil in sediment hoogte op basis van de in- en uitpeiling van de bodem. De kleuren lichtgroen tot donkerblauw geven weer waar het sediment is weggebaggerd. De kleuren in het groen geven aan dat het hetzelfde is gebleven of heeft toegenomen. De inpeiling uitgevoerd op 28 september 2021 en de uitpeiling is uitgevoerd op 13 november 2021.*

In de planning zou het meeste materiaal verwijderd moeten worden uit vakken 1, 2, 3 en 7 (Bijlage 1). Tabel 2 met de hoeveelheid gemeten gebaggerd materiaal per vak en Figuur 4 tonen aan dat het meeste materiaal uit deze vakken zijn verwijderd. De dagrapportages van de aannemer vermelden per trip waar in het stortvak het gebaggerd materiaal is gestort. Op basis van de dagrapportages lijkt al het materiaal gestort te zijn in het stortvak O10. Echter, niet al het gestorte sediment is terug te vinden op de stortlocatie (stortvak inclusief de rand rondom het stortvak) op basis van de eindpeilingen (Figuur 5). Op basis van de multibeam metingen op en rond de stortlocatie lijkt ca. 5% (6 928 m<sup>3</sup>) van de verwijderde 141 073 m<sup>3</sup> hier terug te vinden te zijn, waarvan 1 500 m<sup>3</sup> binnen de contouren van het stortvak. Dit betekent dat ca. 95% van het gebaggerd materiaal gedurende een periode van ca. 6 weken (start werkzaamheden op 4 oktober en uitpeiling uitgevoerd op 13 november) tijdens het storten is 'verwaaid' of naderhand uit het stortvak is weggespoeld met de getijdenstroming. Het was de verwachting dat niet alles in het stortvak terecht zou komen. Door het fijne materiaal en de stroming spoelt een deel van het materiaal makkelijk weg.





*Figuur 5 geeft het verschil (m) weer van de stortlocatie voor de werkzaamheden vergeleken met de situatie na de werkzaamheden. Positieve waarden (oranje-rood) geven een netto sedimentatie en negatieve waarden (groen-blauw) zijn netto erosie. De gele gebieden zijn min of meer gelijk gebleven (minder dan 10 cm toe of afname). De inpeiling uitgevoerd op 28 september 2021 en de uitpeiling is uitgevoerd op 13 november 2021. De in- en uitpeiling betreft het stortvak (grijze omlijning) incl. de rand rondom het stortvak.*



---

## 3 Monitoring ontwikkeling zwevend stof in Zandkreekgeul

### 3.1 Doel

Het doel van de monitoring van het zwevend stof is om eventuele toenames van concentraties en de verspreiding van zwevend stof als gevolg van de werkzaamheden inzichtelijk te maken. Daarnaast om te bekijken of de toename van concentraties en de verspreiding van zwevend stof overeenkomen met de voorspellingen uit de modelberekeningen van Deltares (Van Duren et al., 2019). De beperkte verhoging van het zwevend stof die zijn voorspeld met de modellen, zullen naar verwachting weinig effect hebben op de groei en ontwikkeling van schelpdieren (Van Duren et al., 2019). Als de concentraties gedurende een langere periode veel hoger zijn dan voorspeld, kan dit mogelijk wel consequenties hebben voor de groei en ontwikkeling op de percelen doordat de voedselopname van de mosselen kan worden gehinderd. Een belangrijk doel van de monitoring zwevend stof is ook geweest het in de gaten houden van de concentraties om tijdig in te kunnen grijpen en zo eventuele nadelige effecten op andere functies te voorkomen.

### 3.2 Metingen zwevend stof

#### 3.2.1 Methode

De concentratie zwevend stof in het water is sterk afhankelijk van het getij en de weerscondities. Daarom is het van belang dat er niet op één moment maar gedurende een langere periode wordt gemeten. Sediment in de waterkolom kan worden gemeten met sensoren zoals turbiditeitsmeters (bijv. Optical backscatter point sensor (OBS)). Deze turbiditeitsmeters kunnen aan meetpalen of onder boeien worden bevestigd en geplaatst worden op relevante locaties. Vanwege de verschillen in waterdiepte is binnen dit project er voor gekozen om de sensoren aan boeien te bevestigen. Hierdoor meten de sensoren op een vaste diepte (ca 3 meter) onder het wateroppervlak. Rijkswaterstaat heeft de metingen van het zwevend stof uitgevoerd. Meetgegevens zijn rechtstreeks verzonden naar een server vanwaar deze konden worden ingelezen en geanalyseerd. Om beïnvloeding van de metingen door aangroei van organismen te beperken, zijn de sensoren regelmatig (maandelijks) schoongemaakt en in de zomer zelfs iedere twee a drie weken vanwege de snellere aangroei van organismen op de sensoren in die maanden. WMR heeft de meetgegevens geanalyseerd om vast te stellen of er sprake was van een toename in zwevend stof als gevolg van de bagger- en stortwerkzaamheden en of deze overeenkwam met de voorspellingen uit de modelstudie (van Duren et al., 2019).

Eind oktober 2020 heeft Rijkswaterstaat 7 meetboeien met turbiditeitsmeters (6136 Sensor, 600OMS V2 Optical Monitoring Sonde | ysi.com, Figuur 6) geplaatst in het onderzoeksgebied: vier meetboeien met sensor in het middengebied van de Oosterschelde nabij de Zandkreek en Galgeplaat (Figuur 7) en drie meetboeien met sensor in de Kom van de Oosterschelde. De coördinaten van de meetlocaties zijn gegeven in Tabel 3 (conform Wijsman & Smith, 2020). Gedurende de periode dat de sensoren in het water lagen zijn de metingen gemonitord om te controleren of de sensoren correct werkten en de gegevens werden doorgestuurd. Indien het nodig was, zijn de sensoren in het veld extra gecontroleerd door RWS om te voorzien in de voortgang van de dataverzameling.

In het water van de Oosterschelde bevindt zich zwevend materiaal (zoals zand, slib, detritus, algen, bacteriën), wat leidt tot troebelheid. De turbiditeitsmeters aan de boeien meten de troebelheid (turbiditeit) van het water in NTU (Nephelometric Turbidity Units). Troebelheid geeft de mate van ondoorzichtigheid van een vloeistof (hier: water in de Oosterschelde) aan, veroorzaakt door de aanwezigheid van fijn zwevend materiaal. De sensor bepaalt de troebelheid door een lichtstraal uit te

zenden en vervolgens met een detector het licht dat verstrooid wordt, als gevolg van de aanwezigheid van de deeltjes, te meten.

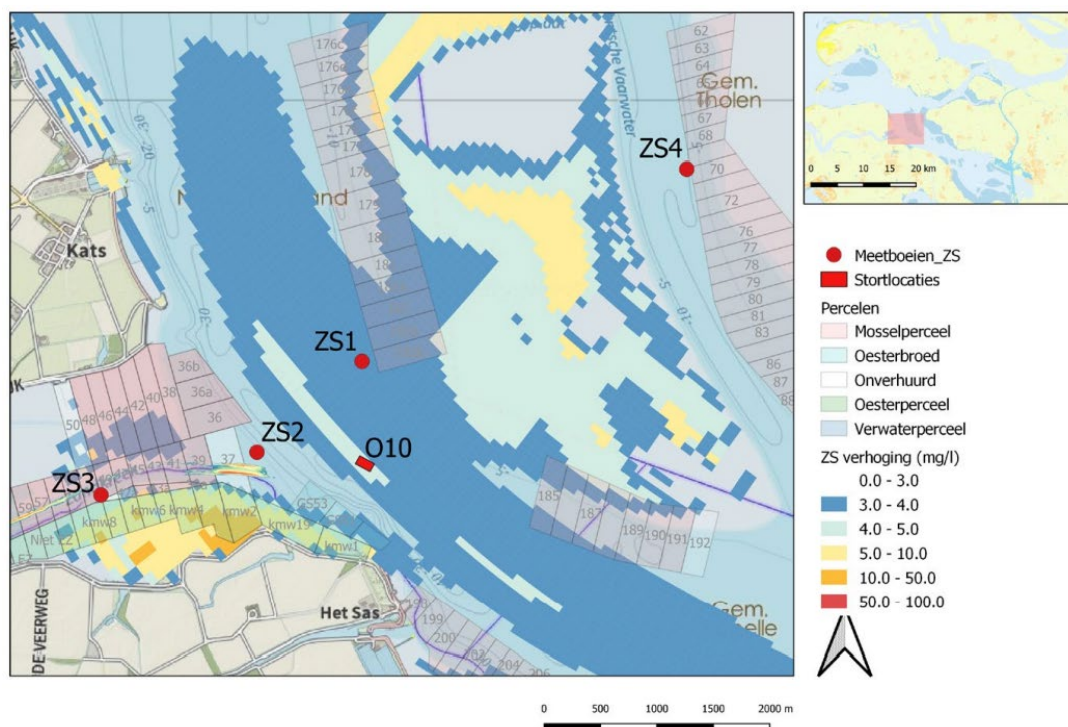
*Tabel 3. De coördinaten van de locaties van de meetboeien.*

Locatie	Longitude	Latitude	X_RD	Y_RD
ZS1	3.924916	51.55912	53559	397704
ZS2	3.911129	51.55174	52628	396902
ZS3	3.891306	51.5481	51245	396525
ZS4	3.965331	51.57485	56437	399398
ZS5	4.148387	51.46728	68922	387200
ZS6	4.128666	51.48145	67579	388799
ZS7	4.166771	51.48537	70233	389191

Rijkswaterstaat heeft voor een eerder project (Roggenplaat) een omrekenfactor van NTU naar mg/l bepaald op basis van verschillende ijkingen van sensoren. Rijkswaterstaat gaat op basis daarvan uit van een ratio van 2.0 mg/l zwevend stof per NTU (Memo RWS, 2019). Factoren die een effect hebben op het zwevend stofgehalte in het water zijn de samenstelling van de bodem, hydrodynamische condities bepaald door golven (veroorzaakt door wind) en stromingen (veroorzaakt door getij) die het sediment in suspensie kunnen brengen alsook het zoutgehalte dat vlokvorming, het samenbinden van losse deeltjes, beïnvloed. Ontwikkeling van algenbloei maar ook menselijke activiteiten waarbij sediment wordt omgewoeld en vrijkomt kunnen bijdragen aan troebelheid van het water.



*Figuur 6. Een voorbeeld van een boei (links) waaronder een turbiditeitsmeter (rechts) is bevestigd (RWS). De gebruikte sonde is een YSI-600OMS met een Turbidity 6136 Sensor.*



Figuur 7. De monitoringslocaties (ZS1 tot en met ZS4) voor het meten van zwevend stof concentraties in het Middelgebied van de Oosterschelde. In bovenstaand figuur is de stortlocatie O10 aangegeven en de voorspelde verhoging van het zwevend stof op dag 83 (Van Duren et al., 2019).

### 3.2.2 Uitvoering metingen

Doordat de suppletie in de Kom van de Oosterschelde niet is uitgevoerd zijn de data afkomstig van de meetboeien ZS5 t/m ZS7 in voorliggend rapport niet verder behandeld. Tabel 4 geeft voor de overige 4 boeien (ZS1 t/m ZS4) per meetlocatie een overzicht van de beschikbare data (metingen NTU) over de tijd (in maanden). Als gevolg van opstart problemen (o.a. falende elektronica, losgeraakte boeien etc.) in het eerste deel van de meetperiode was het niet mogelijk om voor de gehele periode vanaf oktober 2020 data te verzamelen. In de zomermaanden mei en juni 2021 zijn de boeien met sensoren een tijdje uit het water gehaald voor onderhoud.

Tabel 3 Overzicht van geldig verzamelde data per locatie.

	2020			2021												2022	
	Okt	Nov	Dec	Jan	Feb	Ma	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Jan	Feb
Locatie ZS1																	
Locatie ZS2																	
Locatie ZS3																	
Locatie ZS4																	

Eind juli 2021 zijn alle meetboeien weer op de locaties teruggeplaatst. De sensoren aan de boeien zijn in de zomermaanden eenmaal in de 2 á 3 weken en in de wintermaanden maandelijks schoongemaakt om de aangroei te verwijderen.

Gedurende de meetperiode registreerden de sensoren de datum, tijd, positie, de temperatuur (°C) en turbiditeit (NTU) van het water. Om de dataset te analyseren, is deze eerst gecontroleerd en gefilterd om onbruikbare gegevens te verwijderen. Niet bruikbare data omvatte metingen:

- Waarbij de boei met sensor niet op de juiste locatie lag.
- Waarbij aangenomen kon worden dat dataregistratie niet goed liep (o.a. tijdens de opstartfase)
- Waarbij NTU-waarden boven de 40 NTU uitschoten omdat dit vermoedelijk veroorzaakt wordt door een mismeting of externe factoren zoals het voorbij drijven van een stukje wier.
- Waarbij aangenomen kon worden dat de sensor begroeid was met organismen.

- Gedurende de dagen waarop de schoonmaak, onderhoud en reparatie van de sensoren is uitgevoerd.

Aangezien de concentratie van zwevend stof in het water sterk afhankelijk is van de weersomstandigheden, zijn ook weergegevens, verzameld door het KNMI, op de locatie Oosterschelde (weerstation 312) gebruikt in de analyse. Om de weersgegevens te vergelijken met troebelheidswaarden, werden de variabelen FG en FHX gebruikt, welk respectievelijk staan voor de etmaalgemiddelde windsnelheid (in 0.1 m/s) en de hoogste uurgemiddelde windsnelheid (in 0.1 m/s). Voor de analyses zijn de windsnelheden omgerekend naar m/s voor het model is uiteindelijk voor de windsnelheid de etmaalgemiddelde (FG) aangehouden.

Ook is er een vergelijking gemaakt tussen de data en getijdedata om de invloed van het getij op het zwevende stof gehalte in het water te onderzoeken. Waterhoogte data is verkregen via RWS (waterinfo), op meetlocatie Stavenisse. Hoogwater momenten zijn vastgesteld door het moment te bepalen waarop de waterhoogte het hoogste punt heeft bereikt. Getijverschillen zijn berekend door het verschil te nemen tussen de maximale waterhoogte en opeenvolgende minimale waterhoogte, en vervolgens per dag het grootste verschil te selecteren.

Met deze omgevingsfactoren is een GAM-model (Generalised Additive Model, Wood et al. 2017) opgesteld waarbij de NTU waarden per meetboei apart, zijn gerelateerd aan de hoofdtermen: getij verschil (cm), moment binnen het getij (uur na hoog water), maand in het jaar en windsnelheid (m/s). De volgende model is gebruikt voor de analyse:

$$NTU = s(\text{Getijverschil}) + s(\text{UurNaHoogWater}) + s(\text{Maand}) + S(\text{Windsnelheid})$$

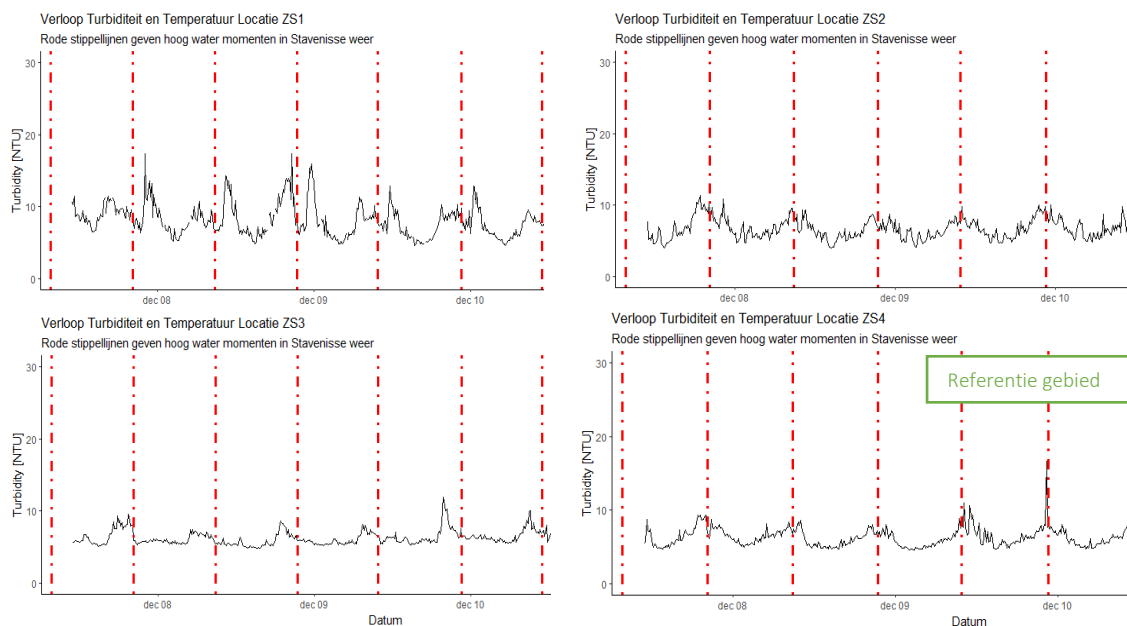
Het model was gefit (getraind) op de data over de gehele periode oktober 2020 t/m februari 2022, met ongeldige periodes verwijderd zoals eerder beschreven. Om de complexiteit van het model te beperken zijn interactie termen niet meegenomen.

De resultaten voor de GAM-analyse zijn weergegeven in partial residuen en niet in model residuen (verschil modelwaarde en geobserveerde waarde). Partial residuen worden gebruikt in grafieken om de relatie te laten zien tussen een gegeven onafhankelijke variabele en de response variabele, wanneer een model meer dan één verklarende variabele bevat. Ze vertegenwoordigen de residuen nadat de bijdrage van alle andere verklarende variabelen is afgetrokken. De waarden kunnen worden geïnterpreteerd als de hoeveelheid eenheden, in ons geval troebelheid (NTU), die ze toevoegen aan de gemiddelde waarde van het model, op een gegeven moment, wanneer die waarde van de verklarende variabele wordt bereikt. Een voorbeeld is dat als bij 5 uur na hoogwater de partial residu -1 aangeeft, dit inhoudt dat er op dat moment in het getij -1 NTU ten opzichte van het overal gemiddelde wordt voorspeld.

### 3.2.3 Resultaten

De concentraties zwevend stof in de waterkolom worden sterk beïnvloed door het getij en wind, wat resulteert in een uniek dagelijks patroon op elke locatie. Figuur 8 toont de turbiditeit en hoogwatermomenten gedurende een periode van 3 dagen (7-10 december 2020) voor elke meetlocatie. Er is een duidelijk patroon te zien waarbij op elke locatie één of twee pieken optreden op vaste momenten ten opzichte van hoogwater. Wanneer deze piek precies plaatsvindt, verschilt per locatie en wordt waarschijnlijk beïnvloed door de morfologie, stromingssnelheden/-richtingen tijdens verschillende getijmomenten en de aan- of afwezigheid van platen waarvan deeltjes in de waterkolom kunnen worden losgemaakt.

Het patroon ten opzichte van het getij, wordt in paragraaf 3.2.3.2 verder besproken (doormiddel van het model). De 4 meetboeien laten in deze periode een mate van turbiditeit zien van rondom de 10 NTU. Uitgaande van de coëfficiënt van 2 mg/l per NTU (Memo RWS, 2019) ligt de omgerekende concentratie zwevend stof rondom de 20 mg/l.

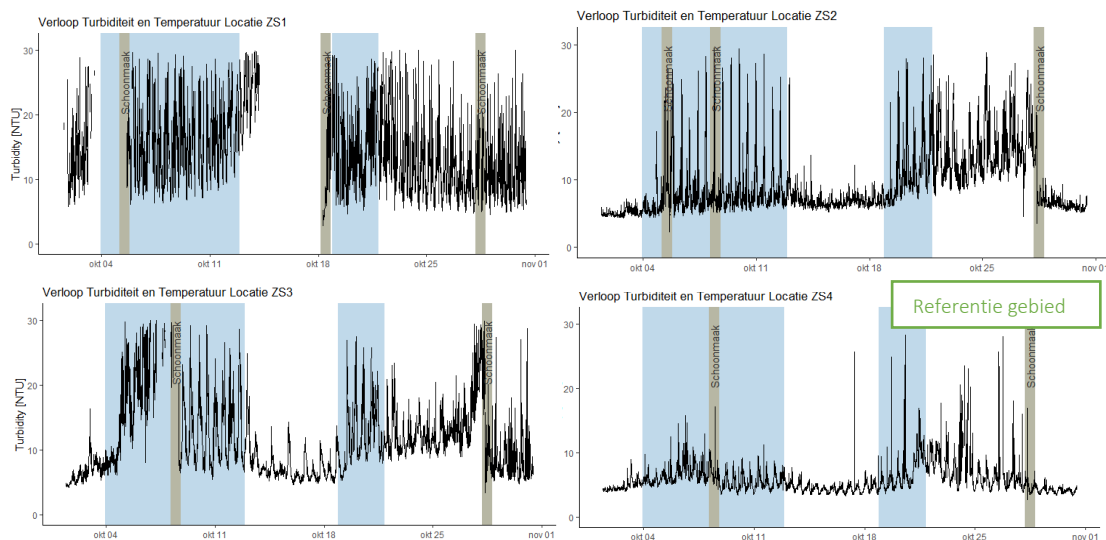


**Figuur 8.** Verloop van turbiditeit tussen 7 en 10 december 2020 voor de meetboeien rondom de Zandkreek (ZS1-3) en de meetboei in het referentie gebied in het Brabantsche Vaarwater, rode stippellijnen geven hoogwatermomenten bij Stavenisse weer. Een duidelijk getijde-afhankelijk patroon is te zien.

### 3.2.3.1 Metingen zwevend stof rondom de baggerwerkzaamheden

Figuur 9 geeft het verloop van turbiditeit (NTU) op de vier meetlocaties weer voor de periode 4 oktober 2021 tot 1 november 2021, de periode waarin de baggerwerkzaamheden werden uitgevoerd. Tijdens het baggeren namen de NTU-waarden vooral tijdens de piekmomenten ten opzichte van het getij toe. Ook op de referentielocatie (Brabantsche vaarwater) zijn verhogingen gezien tijdens deze piekmomenten, maar wel in mindere mate. Tussen de twee periodes van baggeren, van 14 oktober tot en met 18 oktober, wanneer gestopt wordt met de werkzaamheden, is te zien dat op locaties ZS2, ZS3 en ZS4 de NTU waarden binnen een dag dalen. De sensor op locatie ZS1 was tijdens deze periode begroeid met organismen waardoor de metingen in de periode onbetrouwbaar zijn en er kan niet worden achterhaald of de NTU-waarden na het stoppen van de werkzaamheden ook daalden. Na afloop van de tweede baggerperiode zakten de NTU waarden op locatie ZS4 pas na enkele dagen. Het is lastig te bepalen hoe lang de verhoogde waarden voor locaties ZS2 en ZS3 aanhielden vanwege begroeiing van de sensoren in deze periode. Medio november lijken voor alle drie de sensoren de waarden overeen te komen met de waarden van vóór de baggerwerkzaamheden. Voor locatie ZS1, gelegen ten westen van de Galgeplaat, werden er na de tweede periode van baggeren nog het langst verhoogde NTU waarden geobserveerd, wat mogelijk duidt op opwerveling van slib vanuit de stortlocatie O10. Net als tijdens het baggeren waren ook op dit moment de waarden tijdens de dagelijkse pieken hoger, dit kan verklaard worden doordat het water tijdens eb vanuit de stortlocatie richting deze meetboei is gestroomd en daarmee mogelijk opgewerveld sediment afkomstig van de stortlocatie heeft meegenomen. De verhoogde waardes namen na een schoonmaak moment halverwege november weer af.

Op sommige dagen zijn extreem hoge turbiditeit waarden gemeten (> 30 NTU), deze komen veelal overeen met perioden voorafgaand aan de schoonmaak van de sensoren, welk elke 2 á 3 weken zijn schoongemaakt. In de zomer was er meer aangroei op de sensoren waardoor de metingen na 1 week al beïnvloed werden.

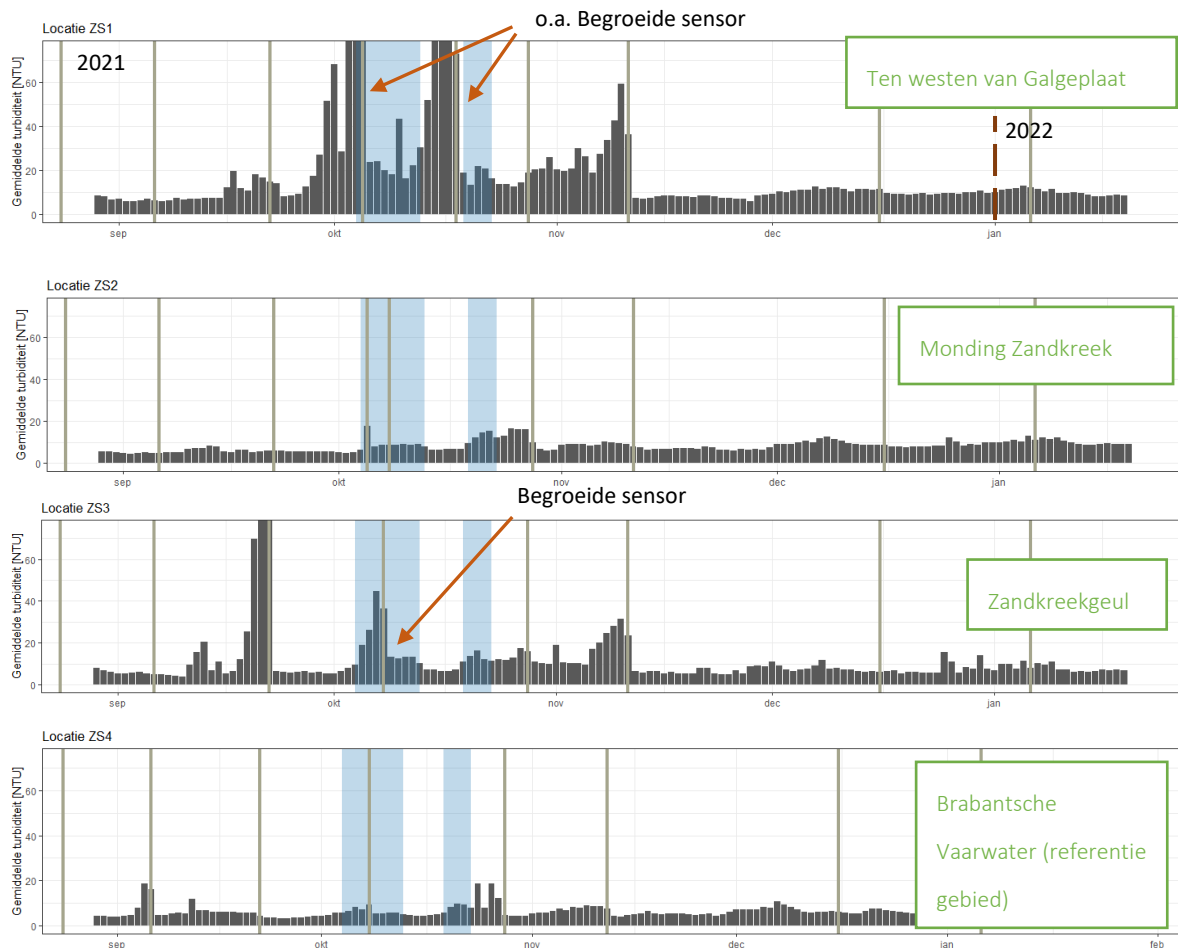


*Figuur 9. Verloop van turbiditeit (NTU) in de Zandkreek in oktober 2021. Blauwe vakken geven de perioden weer waarop is gebaggerd. Grize balken geven de dagen aan waarop de sensoren zijn schoongemaakt. ZS1 (ten westen van de Galgeplaat), ZS2 (Monding van de Zandkreek), ZS3 (in Zandkreekgeul), ZS4 (Referentie boei, in Brabantsche Vaarwater).*

De turbiditeit in daggemiddelde (NTU) voor de vier meetlocaties gedurende september 2021 tot en met een deel van januari 2022 zijn weergegeven in Figuur 10. De daggemiddelden laten zowel een dagelijks-temporele als ruimtelijke variatie zien. Op bepaalde momenten zijn de hoge daggemiddelde NTU waarden veroorzaakt door begroeiing. Dit is vooral duidelijk wanneer de gemeten NTU-waarden direct na het schoonmaken van de sensor dalen, zoals te zien is bij boei ZS3 (Zandkreekgeul) op 22 september 2021. Over het algemeen liggen de daggemiddelden in de maand (september) vóór de baggerwerkzaamheden voor alle vier de locaties onder de 10 NTU, met uitzondering van enkele dagen met verhoogde waarden. Wanneer de baggerwerkzaamheden starten, worden er direct hogere daggemiddelde waarden waargenomen, waarvan de hoogste op locatie ZS1. Ook op locatie ZS4 (referentielocatie) worden tijdens deze periode lichte verhogingen waargenomen, wat suggereert dat andere omstandigheden deels verantwoordelijk zijn voor de verhogingen. Opvallend is dat bij ZS2 en ZS3 de daggemiddelden direct dalen wanneer de baggerwerkzaamheden worden gepauzeerd en dat bij hervatting van de werkzaamheden de gemiddelde dagelijkse troebelheid direct weer stijgt.

Tijdens de baggerwerkzaamheden worden hogere NTU-waarden gemeten, wat logisch is aangezien sediment wordt opgewerveld. Het is echter lastig om te bepalen hoeveel hoger de NTU-waarden zijn als gevolg van de baggerwerkzaamheden. De verhogingen vinden vooral plaats tijdens de pieken. Wanneer daggemiddelden worden genomen worden deze verhogingen verdeeld over de dag terwijl ze in werkelijkheid op 1 moment plaatsvinden. Op basis van de grafieken (figuren 9 en 10) wordt een overzicht gegeven (Tabel 5) van de gemeten daggemiddelden en piekmomenten (NTU) op de vier verschillende locaties vóór het baggeren (15 september tot en met 3 oktober 2021), tijdens de eerste baggerperiode (4 oktober tot en met 13 oktober 2021), tijdens de stopperiode (14 oktober tot en met 18 oktober 2021), tijdens de tweede baggerperiode (19 oktober tot en met 22 oktober 2021) en na het baggeren (23 oktober tot en met 5 november 2021). De momenten waarop een van de sensors vies was is hierbij niet meegenomen.





**Figuur 10.** Daggemiddelden (NTU) op de vier meetlocaties gedurende september 2021 t/m januari 2022. Blauwe vakken geven de dagen weer waarop gebaggerd is. Grijs balken geven de dagen aan waarop de sensor is schoongemaakt. ZS1 (ten westen van de Galgeplaat), ZS2 (Monding van de Zandkreek), ZS3 (in Zandkreekgeul), ZS4 (Referentie boei, in Brabantsche Vaarwater).

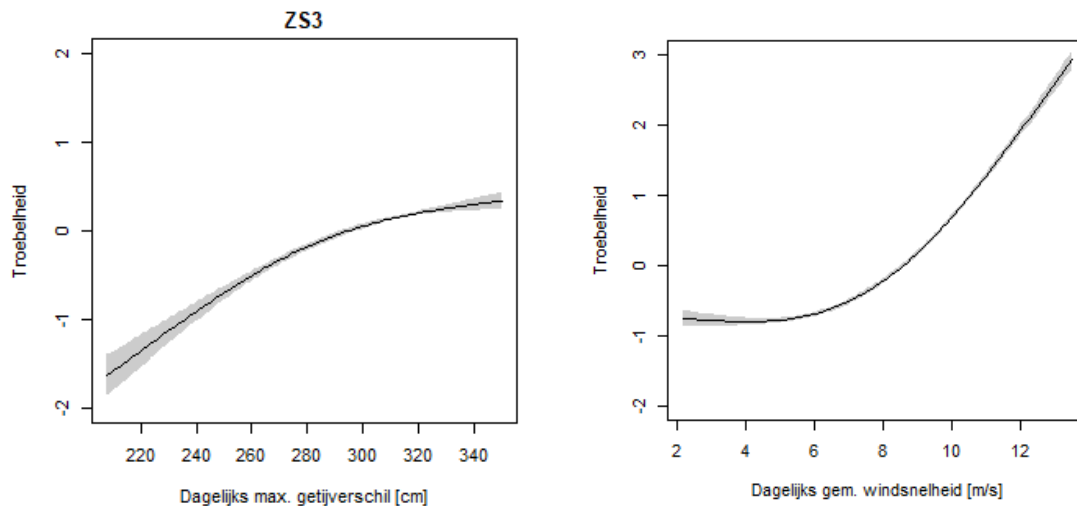
**Tabel 5.** Inschattingen van turbiditeitswaarden (NTU) op basis van grafieken tijdens zowel de piekmomenten van een dag als de gemiddelde dag verhogingen, voor de periode 15 september t/m 3 oktober excl. de momenten dat de boeien vies waren. Tijdens de 1<sup>e</sup> baggerperiode (4 t/m 13 oktober); de stopperiode (14 t/m 18 oktober); de 2<sup>de</sup> baggerperiode (19 t/m 22 oktober) en na de baggerperiode (23 oktober t/m 5 november).

Periode	Engelsche Vaarwater (ZS1)		Monding Zandkreek (ZS2)		Zandkreek (ZS3)		Brabantsche Vaarwater (ZS4)	
	Piek (NTU)	Dag Gem. (NTU)	Piek (NTU)	Dag Gem. (NTU)	Piek (NTU)	Dag Gem. (NTU)	Piek (NTU)	Dag Gem. (NTU)
<b>Vóór Werkzaamheden</b>	± 8 – 13 *	± 8	± 7 – 8	± 6	± 6 – 8	± 6 – 7	± 5 – 9	± 5
<b>1<sup>e</sup> Baggerperiode</b>	± 28	± 30	± 26 – 30	± 10	± 22 – 29	± 10 – 13	± 7 – 14	± 6 – 9
<b>Stop</b>	vies	vies	± 9 – 11	± 7	± 11 – 14	± 8	± 5 – 8	± 4 – 5
<b>2<sup>de</sup> Baggerperiode</b>	± 20 – 28	± 18	vies	vies	± 26 – 28	± 10 – 15	± 8 – 28	± 5 – 10
<b>Na Werkzaamheden</b>	± 20 – 28	± 20	± 7 – 19	± 6 – 10	± 18 – 28	± 10 – 19	± 8 – 28	± 4 – 18

\* Gekeken is naar de periode 1 tot en met 15 september 2021, omdat deze sensor in de periode 15 september tot en met 3 oktober 2021 vies was.

### 3.2.3.2 Effect van weers- en getij- omstandigheden

Uit de analyse blijkt dat de troebelheid van het water wordt beïnvloed door het getij en de wind (amplitude en fase). Figuur 11 geeft de relatie weer tussen (a) de mate van troebelheid en het dagelijks maximale getijverschil (cm) en (b) de windsnelheid (m/s). Het getijverschil is het verschil tussen hoog- en laagwater. De troebelheid van het water hangt direct af van zowel het getijverschil als de dagelijks gemiddelde windsnelheden. Naarmate het getijverschil en de windsnelheid groter zijn, hoe troebeler het water wordt. Een groter getijverschil en hogere windsnelheden hebben dan ook invloed op de stroomsnelheid van het water, wat vermoedelijk opwerveling van sediment in de geulen en op de aanwezige platen veroorzaakt.

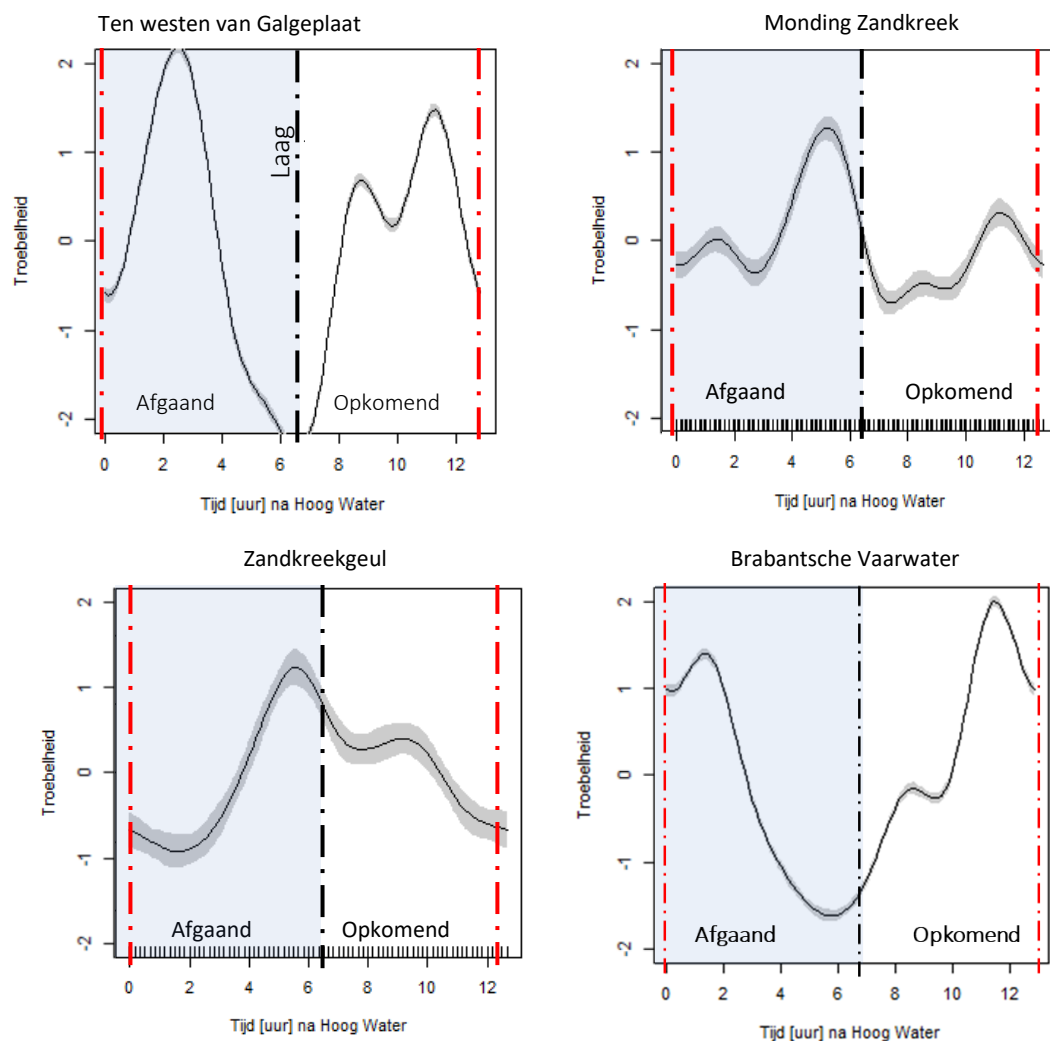


*Figuur 11. Relatieve troebelheid ten opzichte van het maximaal getijverschil (links) en de gemiddelde windsnelheid, voor meetboei ZS 3 in de Zandkreekgeul. De andere meetboeien lieten een vergelijkbaar toenemend patroon zien.*

### 3.2.3.3 Relatie over het getij

De NTU-waarden vertonen een duidelijke relatie met het getij (zie Figuur 12). Het patroon verschilt echter per locatie, waarbij op locatie ZS1 (ten westen van de Galgeplaat) de laagste NTU waarden worden gemeten tijdens laagwaterkentering en in de Zandkreekgeul (ZS3) worden de laagste waarden gemeten twee uur na hoogwater. De hoogste NTU waarden in de Zandkreekgeul (ZS3) en in de monding van de Zandkreek (ZS2) ongeveer gemeten 5 uur na hoogwater. In de het Engelsche- en Brabantsche Vaarwater worden de hoogste NTU waarden gemeten 2 uur voor en 2 uur na hoogwaterkentering. Dit unieke patroon per locatie wordt o.a. veroorzaakt door de getijstroming in de hoofdstroomgeulen (Engelsche- en Brabantsche Vaarwater) en de stroming in de Zandkreek die wordt beïnvloed door het water uit het Veerse Meer. Het profiel in de monding van de Zandkreek is een combinatie van het profiel in de Zandkreek en het Engelsche Vaarwater.

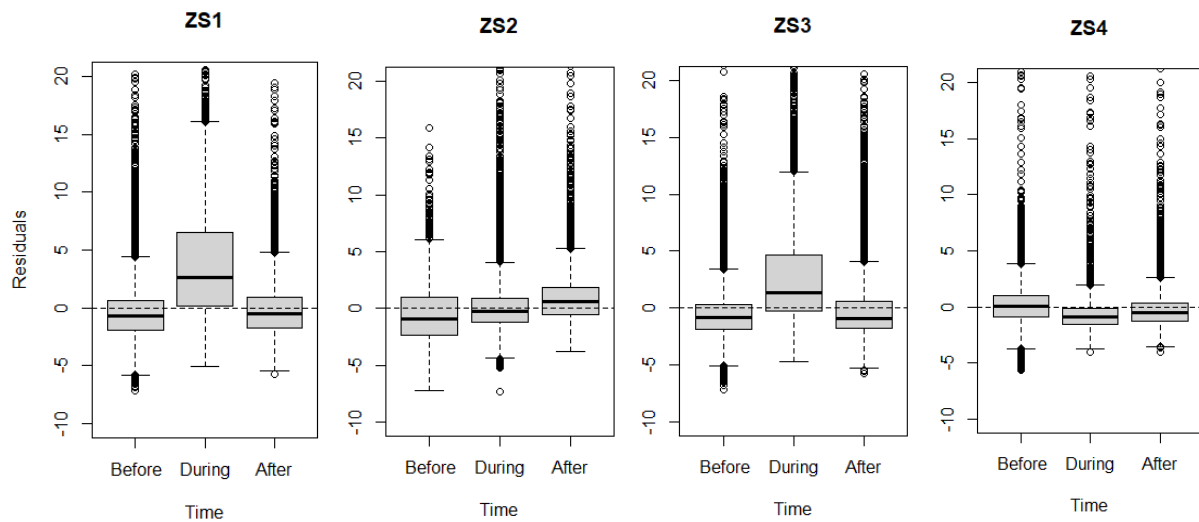




*Figuur 12. Relatieve troebelheid (partial residuals) ten opzichte van de uren na hoog water ten opzichte van de uren na hoog water bij Stavenisse. Deze periodiciteit was hetzelfde vóór als na de baggerwerkzaamheden.*

### 3.2.3.4 Voor en na de baggerwerkzaamheden

In Figuur 13 zijn de residuen (verschil tussen de observatie en de berekeningen met het model) uitgezet voor de periode voor, tijdens en na de werkzaamheden. Positieve residuen geven aan dat de gemeten NTU hoger is dan berekend met het model, wanneer er rekening is gehouden met getij en weersomstandigheden. Negatieve waarden geven aan dat de gemeten NTU lager zijn dan berekend met het model. In de figuur valt af te lezen dat bij meetboei ZS1 en ZS3 tijdens de baggerwerkzaamheden de mediane afwijking hoger ligt dan nul wat inhoudt dat gemiddeld er hogere waarden geobserveerd zijn dan voorspeld. Na de baggerwerkzaamheden vallen op alle locaties de meeste medianen van de residuen op het gemiddelde van het model.



Figuur 13. Residuele NTU waarden na correctie van getij en wind bij elke meetboei, voor tijdens en na de baggerwerkzaamheden. Positieve waarden wijzen op een verhoging van troebelheid.

### 3.3 Metingen satellietdata

Met behulp van satellietdata kan een ruimtelijk beeld worden verkregen van de ruimtelijke verspreiding van het sediment in het water. De Sentinel 2 gegevens (resolutie tussen de 10 en 60 meter afhankelijk van de gebruikte spectrale band (de kleur) zijn gebruikt om kaarten te maken van de zwevend stof concentratie in de bovenste waterlaag.

#### 3.3.1 Methode

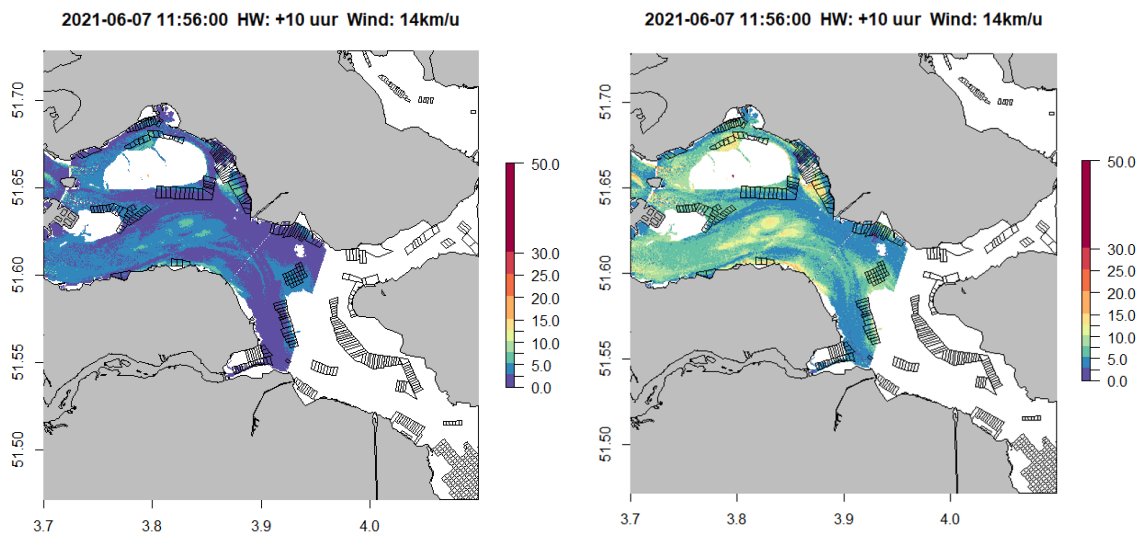
Sentinel-2 zijn satellieten van het Europese Copernicus-project. Sentinel-2 bestaat momenteel uit twee satellieten, Sentinel-2A en Sentinel-2B, die beide elke 10 dagen een foto maken. Door deze foto's te combineren, is er twee keer per 10 dagen een satellietbeeld beschikbaar. Het satellietbeeld is bruikbaar als er op het moment van opname geen bewolking is. Satellietdata is verzameld van de Sentinel API hub en verwerkt door WaterInsight BV. Voordat de beelden verder zijn verwerkt, zijn de kleinere wolken weggefilterd met de IdePix tool (Lebreton et al, 2016). Het was ook nodig om voor de effecten van de atmosfeer te corrigeren. Dit is gedaan met behulp van een neurale netwerk dat onder andere is getraind op de Nederlandse kustzone (de C2RCC tool, Brockmann et al., 2016).

Omdat het algoritme geen onderscheid kan maken tussen sediment in het water (zwevend stof) en sediment op de bodem, wordt in de ondiepe delen, waar de bodem zichtbaar is op de foto, slib op de bodem ten onrechte geïnterpreteerd als zwevend stof of troebelheid van het water. Dit leidt tot een overschatting van de zwevend stof concentratie of troebelheid in de ondiepe delen. Om dit te voorkomen zijn alle ondiepe locaties uit de beelden verwijderd (Zie bijlage 2). Dit is gedaan door een beeld te kiezen met laag water (21 maart 2021). Hierop werd met behulp van een algoritme de delen van de slikken en platen gevonden die boven water uitstaken. Het patroon dat zo werd afgeleid is vervolgens gebruikt om de ondiepe locaties op alle beelden weg te knippen.

Zwevend stof werd afgeleid volgens een algoritme van Nechad (2010) dat is ontwikkeld voor Belgische kustwateren. Dit algoritme wordt als geschikt beschouwd voor de Oosterschelde omdat hier hetzelfde type zwevend stof verwacht wordt. Zwevend stof en troebelheid zijn sterk gecorreleerd in de zuidelijke Noordzee (Nechad 2009), dat bleek ook uit de gevonden correlatie tussen de concentraties zwevend stof (mg/l) uit de satellietbeelden en de waarden uit de meetboeien (NTU) (zie bijlage 2). De satellietbeelden werden vervolgens op basis van de meetboei gegevens getuned. Meer informatie over deze tuning is te vinden in bijlage 2. De beelden geven de getunede waarden in NTU weer.

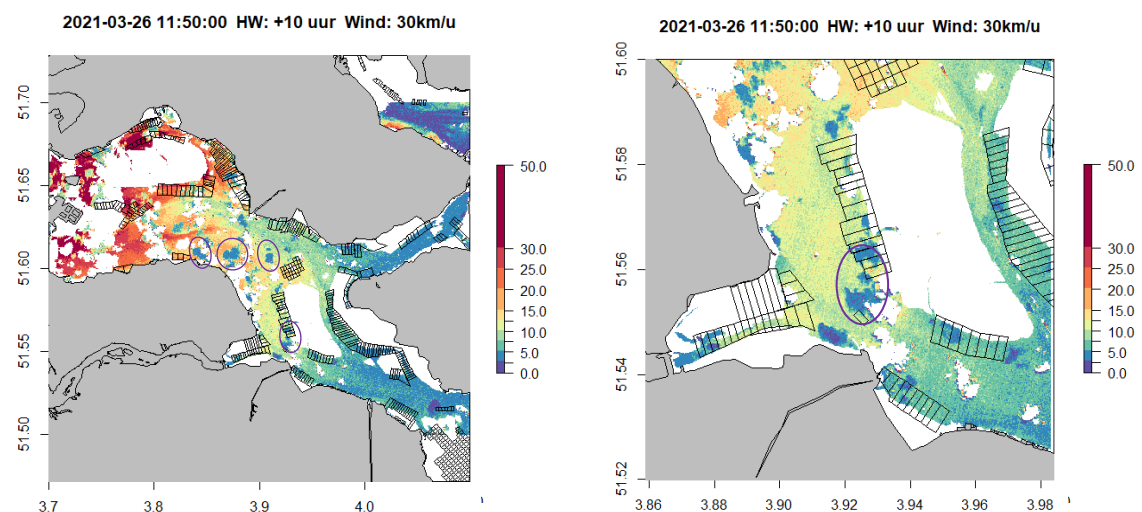
### 3.3.2 Resultaten

De satellietbeelden die zijn afgesteld op de meetboei-waarden vertonen hogere waarden zoals te zien is in Figuur 14, waarin een vergelijking wordt gemaakt tussen ongetunede en getunedede beelden van dezelfde opname dag. De waarden liggen hierbij ongeveer 5 NTU hoger. Dit rapport zal zich verder focussen op de satellietgegevens met afgestelde waarden.



*Figuur 14. Verschil tussen satelliet opname die niet (links) en wel (rechts) afgesteld is met behulp van de data van de meetboeien. Bovenaan staat vermeld de datum en tijd van opname, het aantal uur na hoogwater in Stavenisse en de gemiddelde windsnelheid van die dag. Eenheid is NTU.*

Naast het ontbreken van beeldopnamen op plaatsen waar wolken zich bevinden, wat resulteert in lege/witte gebieden op de kaart, is er ook een effect van de schaduw van de wolk op het water te zien in de beeldwaarden. Er zijn dan nog wel waarden zichtbaar in dit gebied. Deze zijn echter lager dan het omringende gebied, en dus lager dan de werkelijkheid (zie paarse cirkels in Figuur 15). Hier moet bij de interpretatie goed op gelet worden.



*Figuur 15. Satellietopname waar op een aantal plaatsen het effect van wolken schaduw op de geobserveerde turbiditeits waardes aangegeven zijn met een paarse cirkel.*

De waarde van het zwevend stof gehalte in de waterkolom van de Oosterschelde ligt gebruikelijk tussen de 5 en de 30 NTU afhankelijk van de weersomstandigheden en het moment binnen het getij. De hoogste waarden worden gezien bij de stormvloedkering in het westen, en nemen naar het oosten af. Verder

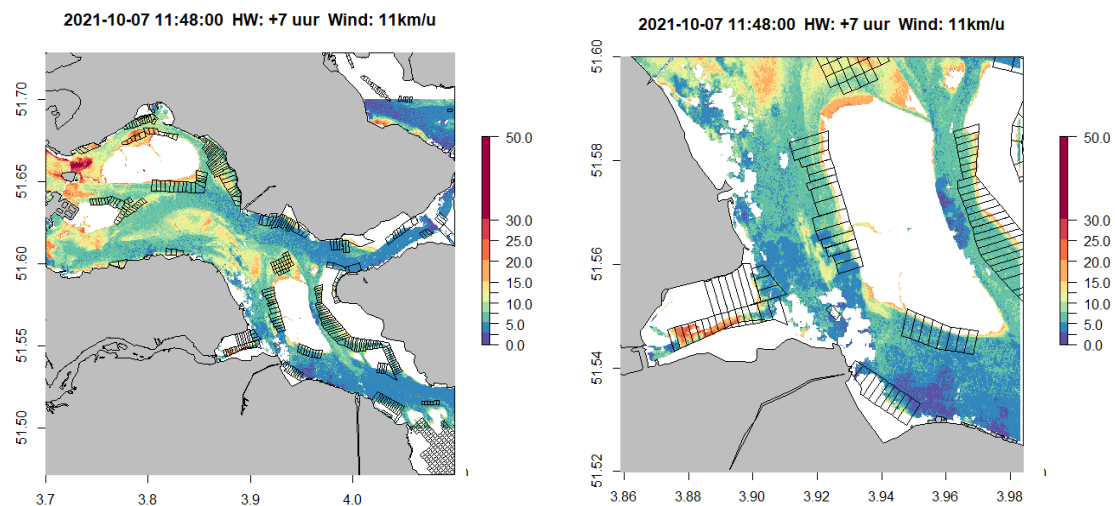
worden in de buurt van zandplaten, op verschillende momenten ten opzichte van het getij, hoge waardes geconstateerd als gevolg van opwerveling van sediment door golven.

### 3.3.2.1 Effect van weersomstandigheden

Naast de ruimtelijke patronen kan de hoeveelheid zwevend stof in de Oosterschelde ook sterk in de tijd variëren als gevolg van variatie in getij en wind (richting en sterkte). Waardes zijn, zoals eerder uit de analyse van de data van de meetboeien duidelijk werd, sterk afhankelijk van (aanhoudende) weersomstandigheden zoals windsnelheden en richtingen, getijkenmerken zoals het moment van getij en sterkte van getij (spring- vs. dood tij), en kunnen snel veranderen.

### 3.3.2.2 Beelden rond de baggerwerkzaamheden

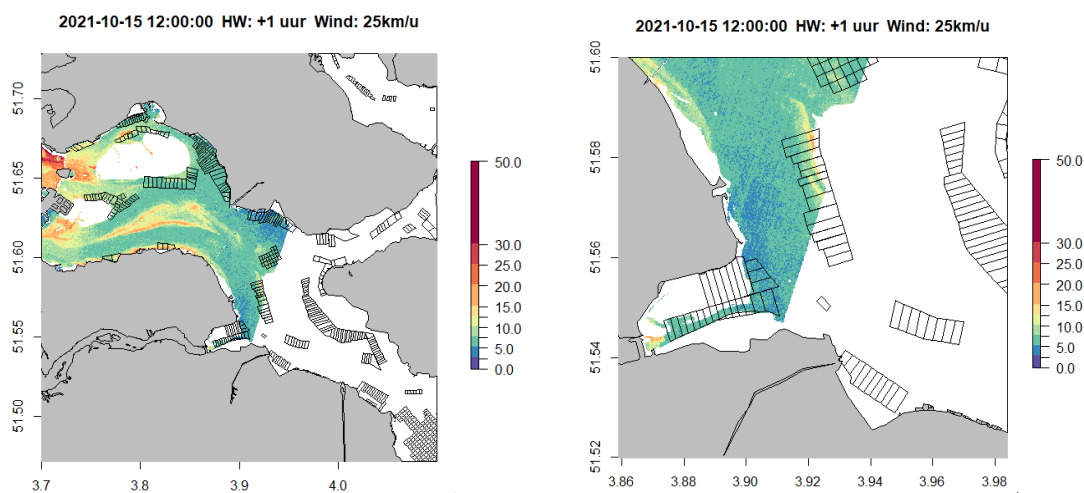
Tijdens de baggerwerkzaamheden in het najaar van 2021 waren er enkele bruikbare satellietfoto's. Eén hiervan (Figuur 16) is genomen op 7 oktober 2021 tijdens het baggeren van de vaargeul, een tweede foto (Figuur 17) is genomen toen het baggeren tijdelijk was gestopt op 15 oktober 2021, en een derde foto (Figuur 18) is genomen op 1 november 2021 in de periode dat een ploegboot bezig was met het uitvlakken van de bodem op plekken waar dat nodig was.



*Figuur 16. Kaarten gebaseerd op de sentinel-2 satelliet gegevens drie dagen na start van de baggerwerkzaamheden in oktober 2021. Links geeft de gehele Oosterschelde weer, rechts is ingezoomd op de Zandkreekgeul. De tijd van opname is boven de kaart weergegeven evenals het aantal uren na hoog water bij meetlocatie Stavenisse en de gemiddelde windsnelheid over de dag (KNMI, station Oosterschelde).*

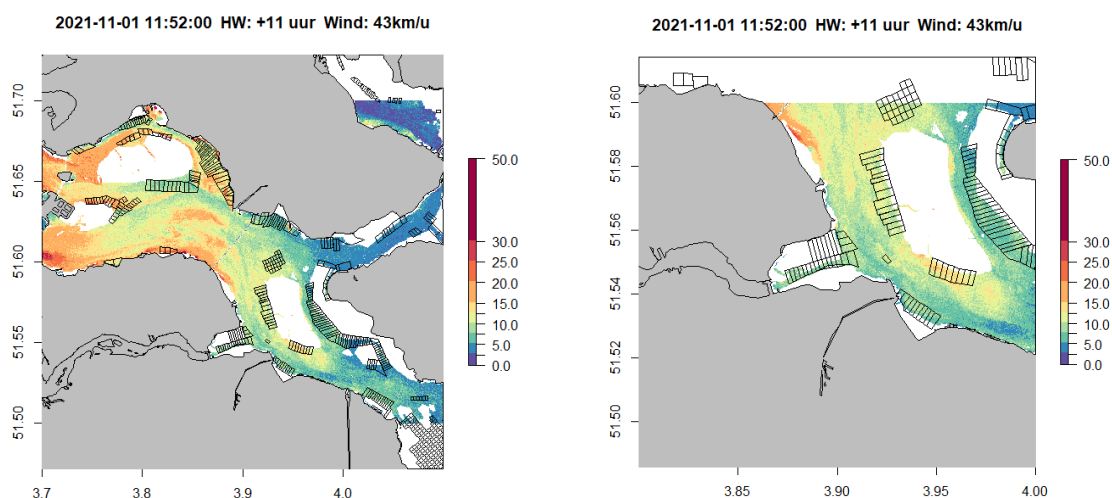
De baggerwerkzaamheden zijn in Figuur 16 in de Zandkreek te zien als een grote pluim met waardes tussen de 15-25 NTU, welk hier heel lokaal zijn geobserveerd op 7 oktober 2022 (3 dagen na start baggeren). Op deze dag zijn er in de rest van de Oosterschelde, behalve in de buurt van de stormvloedkering, geen waardes boven de 15-20 NTU waargenomen. Tijdens de pauze in de baggerwerkzaamheden op 15 oktober (na twee dagen gestopt met baggeren) is er niets meer te zien van deze pluim in de Zandkreek (Figuur 17). Dit komt overeen met de meetgegevens van de boeien waaruit blijkt dat zeer snel na het stoppen van de baggerwerkzaamheden geen verhoogde concentraties van zwevend materiaal meer worden geconstateerd, zelfs als er wordt gekeken naar ongetunedede beelden.

Op en rondom de stortlocatie zijn er op de satelliet beelden geen abnormale verhoogde concentraties waarneembaar. In de periode waarin het sediment heeft kunnen wegspoelen (tussen de twee multibeam opnamen in) zijn echter maar enkele succesvolle beelden genomen. Een latere opname waarin het afgaand water, tijdens/na het storten hadden wellicht andere inzichten gegeven.



*Figuur 17 Kaarten gebaseerd op de sentinel-2 satelliet gegevens tijdens een pauzemoment van de baggerwerkzaamheden in oktober 2021. Links: een groot deel van de Oosterschelde, rechts ingezoomd op de Zandkreekgeul. De tijd van opname is boven de kaart weergegeven evenals de uren na hoog water in Stavenisse en de gemiddelde windsnelheid over de dag (KNMI, station Oosterschelde).*

Tijdens de periode net na de afronding van de baggerwerkzaamheden, is er ook geen verhoogde troebelheid in de omgeving van de Zandkreek meer waarneembaar, ook niet bij de stortlocatie (zie Figuur 18).

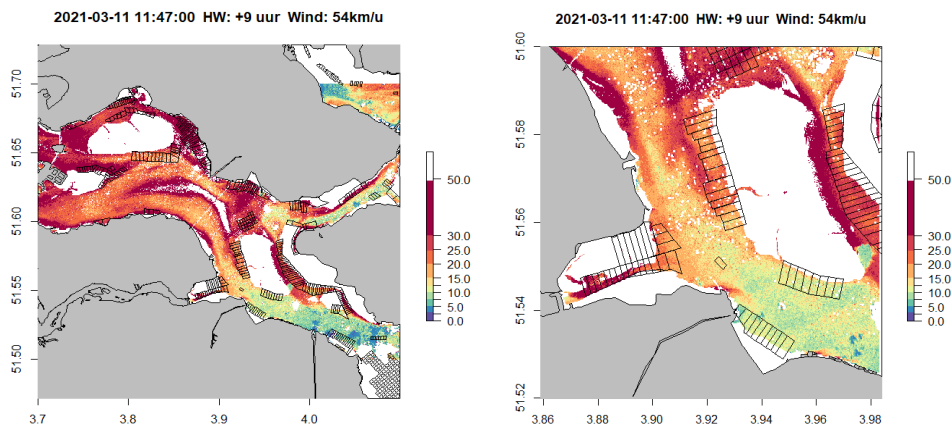


*Figuur 18. Kaarten gebaseerd op de sentinel-2 satelliet gegevens in de periode dat een ploegboot bezig was met het uitvlakken van de bodem op plekken waar dat nodig was. Links: een groot deel van de Oosterschelde, rechts ingezoomd op de Zandkreekgeul. De tijd van opname is boven de kaart weergegeven evenals de uren na hoog water in Stavenisse en de gemiddelde windsnelheid over de dag (KNMI, station Oosterschelde).*

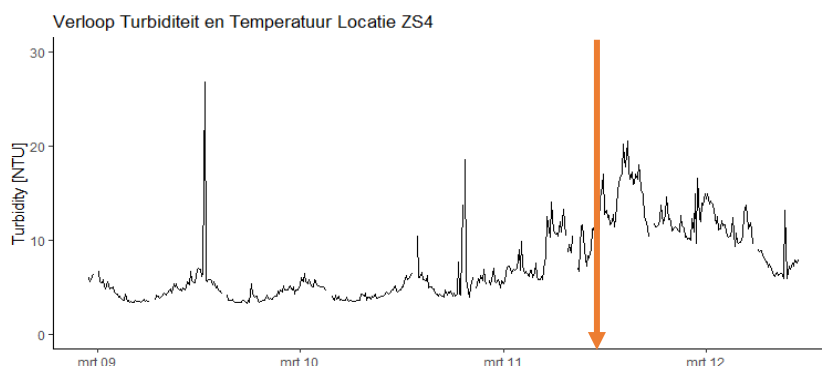
### 3.3.3 Turbiditeit tijdens storm

Tijdens storm, nemen de waarden in het zwevend stof in de waterkolom toe als gevolg van opwerveling en resuspensie van het sediment van de bodem. Om een beeld te krijgen van het effect van een storm op de turbiditeit (NTU) in het water tijdens dergelijke omstandigheden, zijn ook satellietbeelden geanalyseerd waarvan bekend is dat ze zijn gemaakt op het moment dat het stormde in het gebied (Figuur 19). Op 10 en 11 maart 2021, vóór de baggerwerkzaamheden, vond een storm plaats, met landelijk windstoten tot 120 km/uur en een gemiddeld gemeten windsnelheid in de Oosterschelde van 54 km/uur (KNMI, 2021). Deze storm volgde een onstuimige en wisselvallige periode die al op 8 maart begon. Een satelliet opname is genomen op 11 maart en laat zeer hoge turbiditeitswaarden, tijdens opkomend water, in de gehele Oosterschelde zien. Tijdens de storm was de overheersende windrichting vanuit het zuidwesten.

Figuur 20 geeft het verloop van de meetgegevens van de meetboei op locatie ZS4 tijdens deze storm weer. Door problemen met de meetboeien, was er tijdens deze storm maar één boei aan het meten. Aan het einde van 10 maart is te zien dat de troebelheid snel toe neemt. Opvallend is dat de troebelheid in een willekeurig patroon fluctueren en niet langer het getijde patroon aanhouden. Tijdens/na een storm maakt het moment van getij kennelijk niet meer uit en worden er heel de dag door hoge troebelheidswaarden geobserveerd.



*Figuur 19. Kaarten gebaseerd op de sentinel-2 satelliet opname tijdens een storm en na een periode van onstuimigheid in maart 2021. De tijd van opname is boven de kaart weergegeven evenals de uren na hoog water in Stavenisse en de gemiddelde windsnelheid over de dag (KNMI, station Oosterschelde).*

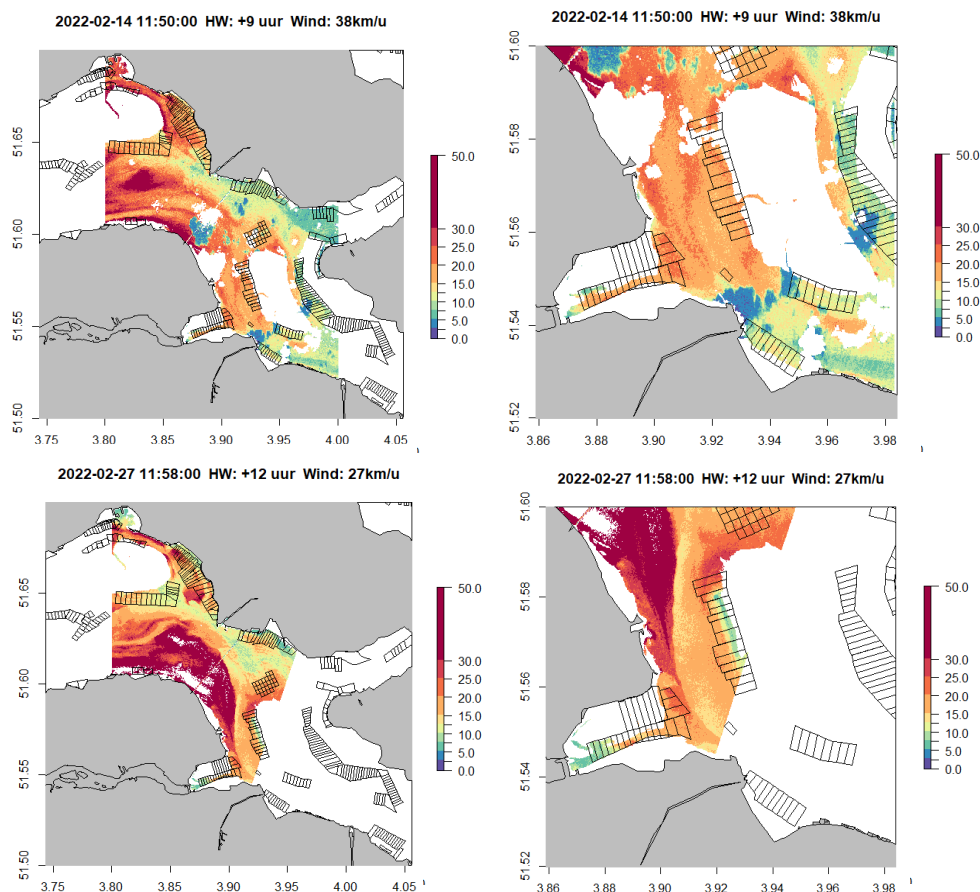


*Figuur 20. Verloop van troebelheid gemeten op de referentielocatie (ZS4). De oranje peil geeft het moment waarop een satelliet opname is genomen. Tussen 10-12 maart vond een storm plaats, dit is ook wanneer de gemeten troebelheid toeneemt en het dagelijks patroon verdwijnt.*

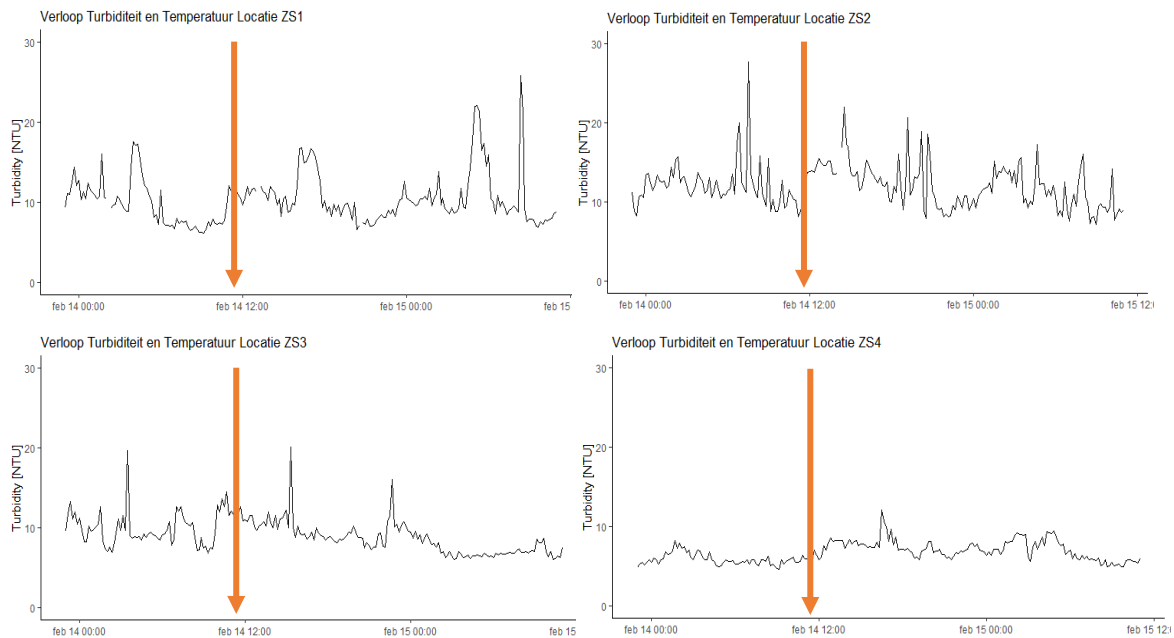


Tussen 16 en 21 februari 2022, in de periode ná het baggeren, vond een zogenoemde drielingstorm (drie stormen kort op elkaar) plaats. Tijdens deze storm zijn windstoten langs de kust van Nederland tot en met 130 km/uur gemeten. Gedurende deze drie stormen zijn er geen bruikbare satellietbeelden gemaakt, maar er zijn wel duidelijke beelden van vóór en na de storm (respectievelijk 14 en 27 februari, Figuur 21), die ook in een onstuimige periode zijn genomen. De eerste opname van 14 februari, genomen tijdens de vloed, laat al hoge turbiditeitswaarden zien, tot 25 NTU in de omgeving van de Zandkreek en het Engelsche Vaarwater, bij een daggemiddelde windsnelheid (zuid-zuidwesten dominante windrichting) van 38 km/uur. Op 27 februari is het weer nog steeds onstuimig, met een daggemiddelde winsnelheid van 27 km/u, wat vrij krachtig is en een dominante zuid-oostelijke windrichting. Deze laatste opname is genomen net voor de hoogwater kentering, aan het eind van de vloedperiode. Er is op dat moment dus maar weinig stroming. Er zijn op dit moment wel overal in de Oosterschelde zeer hoge troebelheid concentraties te zien.

Figuur 22 geeft het verloop van de meetgegevens van de meetboei op locatie ZS1-ZS4 tijdens deze storm weer. Tijdens deze storm lijken de verhogingen op de locatie ZS4 wel mee te vallen, vooral in vergelijking met het jaar ervoor. Dit heeft niks met de baggerwerkzaamheden te maken. Zoals eerder geobserveerd is bij een storm, lijken de getij patronen onder de hoge troebelheden weg te vallen, en zijn deze ook (behalve dan een beetje op ZS4) niet meer zichtbaar in de grafieken.



*Figuur 21. Kaarten gebaseerd op de sentinel-2 satelliet opname tijdens voor (boven) en na (onder) een periode van onstuimigheid in februari 2022. De tijd van opname is boven de kaart weergegeven evenals de uren na hoog water in Stavenisse en de gemiddelde windsnelheid over de dag (KNMI, station Oosterschelde).*



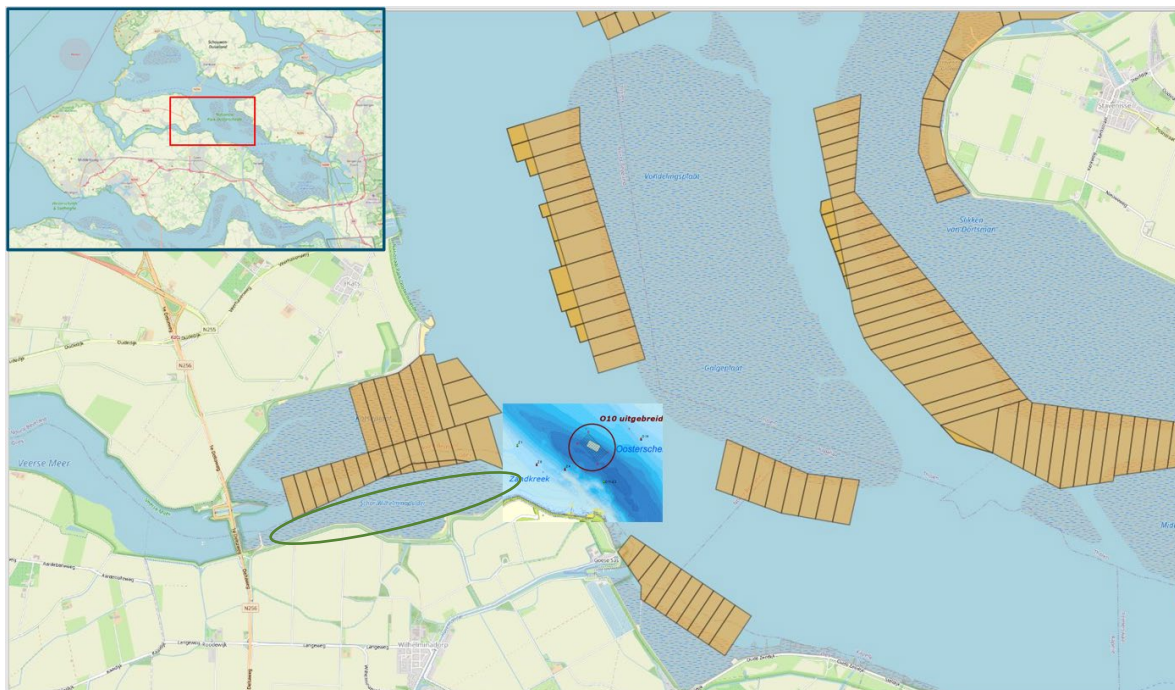
*Figuur 22. Verloop van troebelheid tijdens de een onstuimige periode vlak voor de storm in februari 2022. De oranje peil geeft het moment waarop een satelliet opname is genomen.*



## 4 Schelpdierpercelen rond de Zandkreek: Algemene karakteristieken en kwaliteit

### 4.1 Doel

In de Zandkreek en in het Engelsche Vaarwater, waar respectievelijk de bagger- en stortwerkzaamheden zijn uitgevoerd, liggen schelpdierkweekpercelen (Figuur 23). In de Zandkreek liggen mosselpercelen die voornamelijk worden gebruikt voor het bewaren van mosselzaad en halfwasmosselen en oesterpercelen die worden gebruikt voor de invang van oesterbroed. In het Engelsche Vaarwater liggen mosselpercelen ten westen en ten zuiden van de Galgeplaat en ten zuiden van de monding van de Zandkreek bij het Goessche Sas. De mosselpercelen langs de Galgeplaat in het Engelsche Vaarwater zijn een belangrijk productiegebied voor consumptiemosselen. De werkzaamheden dienen zo min mogelijk hinder of schade te veroorzaken bij de schelpdierkwekers. Schade aan de percelen kan optreden in de vorm van een verhoogde sterfte en/of een vermindering van de groei en/of kwaliteit van de mosselen en oesterbroedjes. Om eventuele effecten op schelpdierpercelen in kaart te brengen zijn verschillende monitoringsactiviteiten uitgevoerd. De volgende paragrafen geven een overzicht van deze monitoringsactiviteiten en bevatten resultaten van zowel bemonsteringen op de schelpdierkweekpercelen als analyse van de veilingdata van de mosselpercelen. Oesters worden niet via de veiling verhandeld, waardoor analyse van veilingdata niet van toepassing is.



*Figuur 23. Kaart van de Oosterschelde met de locatie van de mosselpercelen (oranje vakken) en de oesterinvangpercelen (groene omcirkeling) in en nabij de Zandkreek en de locatie van het stortvak O10 in het Engelsche Vaarwater.*

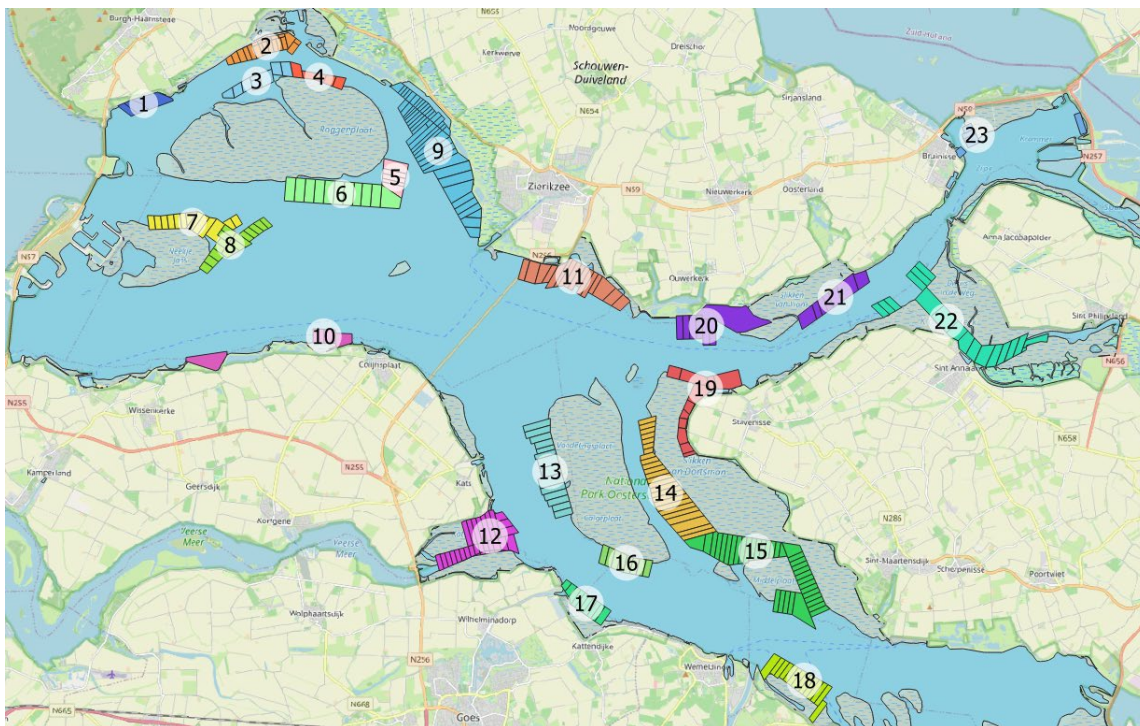
## 4.2 Veilinggegevens mosselen van de percelen

Het doel van deze analyse is inzicht te verkrijgen in eventuele verschillen in de opbrengsten en kwaliteit van de mosselen die worden geleverd van de mosselpercelen in de periode vóór en ná de werkzaamheden.

### 4.2.1 Methode

Op de veiling in Yerseke wordt van iedere aangeleverde partij mosselen een inschatting gemaakt van de totale vracht en wordt er een monster genomen dat wordt onderzocht op een aantal parameters voor kwaliteit, zoals het percentage tarra, de grootte van de mosselen en het vleesgewicht. De gegevens worden gebruikt voor het bepalen van de prijs. De resultaten van de analyses worden opgeslagen in een database. Er is in de huidige studie gebruik gemaakt van de veilinggegevens vanaf mei 2000 tot en met februari 2023. De veilinggegevens bevatten bedrijfsgevoelige informatie en dienden daarom met zorg te worden behandeld en geanalyseerd. In deze rapportage is mogelijke bedrijfsgevoelige informatie uitsluitend geaggregeerd en geanonimiseerd weergegeven, waardoor ze niet meer terug te zijn herleiden naar een specifiek perceel of bedrijf. De resultaten aan de veiling zijn deels afhankelijk van de activiteiten en beslissingen van de kweker. Zo is de oorsprong en de kwaliteit van de mosselen die zijn uitgezaaid van belang maar ook het moment van leveren aan de veiling. Ook de maatregelen die de kweker heeft ondernomen zoals het bij zaaien of voor een deel wegvissen van de mosselen of activiteiten die zijn uitgevoerd op het perceel om predatoren zoals zeesterren te bestrijden, kunnen effect hebben op de kwaliteit van de mosselen aan de veiling.

Op basis van de veilingdata worden vleespercentages vóór en ná de baggerwerkzaamheden met elkaar vergeleken. Om te kunnen corrigeren voor jaar op jaar variatie moeten de leveringen van de percelen rond de Zandkreek ook worden vergeleken met andere percelen in de Oosterschelde.



*Figuur 24. Ligging van de mosselpercelen in de Oosterschelde. De percelen zijn voor deze studie opgedeeld in 23 perceelblokken.*

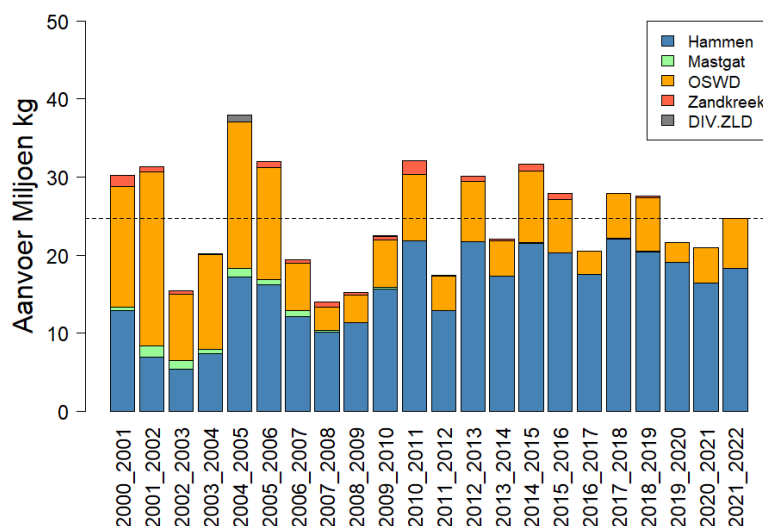
In totaal liggen er 340 mosselpercelen in de Oosterschelde met een totaal oppervlak van ca. 4 000 ha (Figuur 23). In de praktijk wordt slechts een deel van het beschikbare areaal aan percelen daadwerkelijk gebruikt voor mosselkweek. De rest is niet geschikt omdat het er bijvoorbeeld te ondiep is of omdat er te veel stroming staat. De kwaliteit van de mosselpercelen varieert ruimtelijk. Ten behoeve van deze studie zijn de percelen gegroepeerd in 23 perceelblokken (zie Figuur 24). Op hoger niveau worden de

mosselpercelen ook wel ingedeeld in de gebieden Hammen (blokken 1 tot en met 9), OSD (blokken 11 en 13 tot en met 20), Zandkreek (blok 10 en 12) en Mastgat (blokken 21 tot en met 23). In deze studie is de aanvoer en de kwaliteit (vleespercentages) van de mosselen van de perceelblokken rond de Zandkreek en het Engelsche Vaarwater (blokken 12, 13, 16 en 17) vergeleken met de aanvoer van de OSD percelen (blokken 19, 14, 15 en 18) als referentiegebieden.

Voor de analyse van de gegevens is het van belang te weten dat er vaak meer leveringen zijn van eenzelfde partij mosselen op een perceel. De mosselen van een perceel worden namelijk doorgaans niet in een keer opgevest, maar over een periode waarbij er meerdere keren mosselen van het perceel worden opgevest en geleverd. Hierdoor zijn de individuele leveringen van een bepaald perceel binnen een seizoen afhankelijk van elkaar (Wijsman, 2023). Vaak zijn de percelen opgedeeld in een aantal perken die door de kweker apart zijn ingezaaid. Deze informatie wordt niet apart geregistreerd in de database van de veiling.

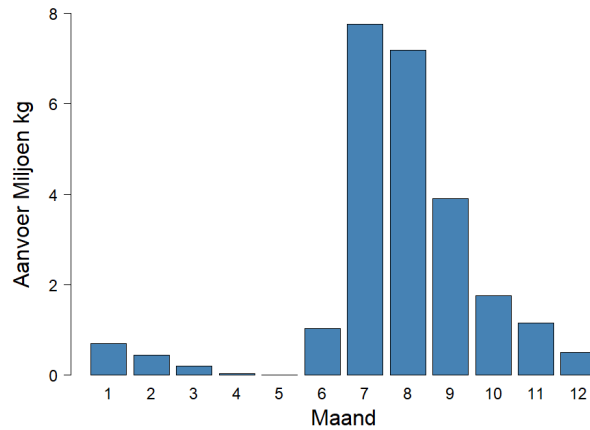
#### 4.2.2 Aanvoer gehele Oosterschelde

De gemiddelde netto aanvoer van percelen in de Oosterschelde over de seizoenen 2000\_2001 tot en met 2021\_2022 is 24.7 miljoen kg mosselen per jaar (Figuur 25). Seizoen is hierbij gedefinieerd als de periode van 1 mei tot en met 30 april het jaar erop. De officiële start van het mosselseizoen is doorgaans ergens in juli, afhankelijk van het aanbod en de kwaliteit van de mosselen. De maximale aanvoer uit de Oosterschelde was 38.0 miljoen kg in het seizoen 2004\_2005 en de minimale aanvoer was 14.0 miljoen kg in het seizoen 2007\_2008. De meeste mosselen komen uit de deelgebieden Hammen (63.5%) en OSD (33.3%). Leveringen uit de andere deelgebieden zijn beperkt (4.2% van de totale aanvoer). Uit de figuur is duidelijk dat het gebied OSD door de tijd steeds minder belangrijker is geworden voor de totale aanvoer van mosselen uit de Oosterschelde. Van de percelen in het deelgebied Zandkreek (blok 10 en 12) is er sinds het seizoen 2018\_2019 niet meer geleverd aan de veiling. In dit seizoen was het aandeel uit dit deelgebied al laag. Dit komt omdat er maar weinig percelen liggen in dit deelgebied en de percelen in dit gebied vanwege de relatief beschutte locatie voornamelijk worden gebruikt voor het bewaren van mosselzaad en halfwasmosselen, waardoor er vrijwel geen (directe) aanvoer is naar de veiling.



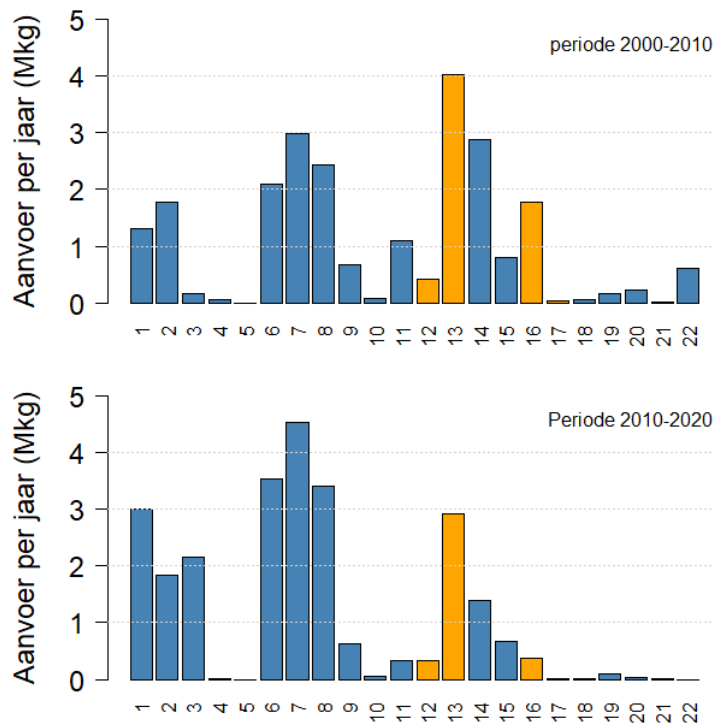
Figuur 25. Netto aanvoer (miljoen kg) per seizoen van de percelen in de Oosterschelde. De kleuren geven aan uit wel deelgebied er is geleverd.

In Figuur 26 is te zien dat **Error! Reference source not found.** tot en met oktober 83.5% van alle mosselen uit de Oosterschelde wordt geleverd. Het seizoen begint doorgaans in juli. Soms wordt er in juni al wat geleverd. De meeste mosselen uit de Oosterschelde worden in juli geleverd omdat de vleespercentages in de Oosterschelde dan doorgaans goed zijn. Na juli neemt de aanvoer uit de Oosterschelde geleidelijk af.



Figuur 26. Netto aanvoer van mosselen (miljoen kg) per maand uit de Oosterschelde

De belangrijke perceelblokken van waaruit mosselen worden geleverd zijn perceelblokken 1 (westelijk van Burghsluis), 3 en 6 (respectievelijk noord- en zuidzijde Roggenplaat), 7 en 8 (respectievelijk noord- en zuidzijde Neeltje Jans) en 13 (Vondelingenplaat) **Error! Reference source not found.**. Na 2010 is vooral de aanvoer uit de blokken 1, 3, 6, 7 en 8 toegenomen. Een deel van deze toename is het gevolg van het beschikbaar komen van nieuwe percelen binnen deze blokken. Het belang van de perceelblokken 13 (Vondelingenplaat) en 14 (Dortsman) is na 2010 afgenomen. Figuur 27 geeft een beeld van het belang van bepaalde perceelblokken voor de totale aanvoer. Voor de interpretatie van de figuur is het van belang dat de oppervlakte van de perceelblokken varieert. Daarnaast is het van belang dat niet het volledige oppervlakte van het perceelblok wordt gebruikt voor de kweek. Binnen de perceelblokken liggen percelen die niet zijn verhuurd en ook de verhuurde percelen worden soms maar ten dele gebruikt voor de kweek.

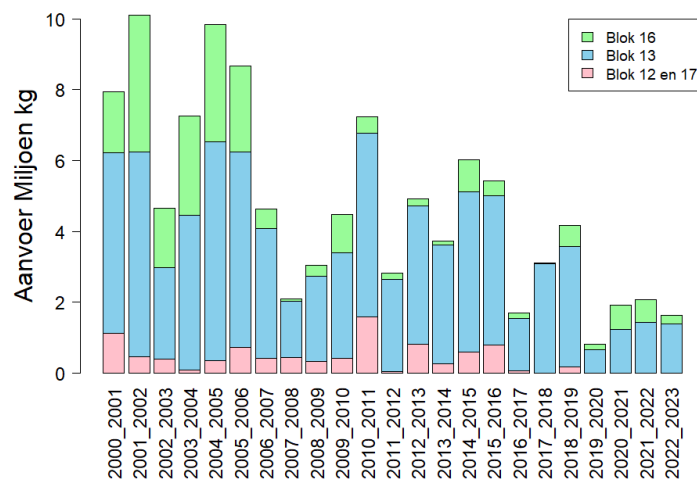


Figuur 27. Netto aanvoer van mosselen (miljoen kg) per perceelblok in de Oosterschelde. In de bovenste figuur voor de seizoenen 2000\_2001 tot en met het seizoen 2009\_2010. De onderste figuur voor de periode vanaf het seizoen 2010\_2011. De perceelblokken rond de bagger- en stortlocatie zijn met de oranje balken aangegeven.

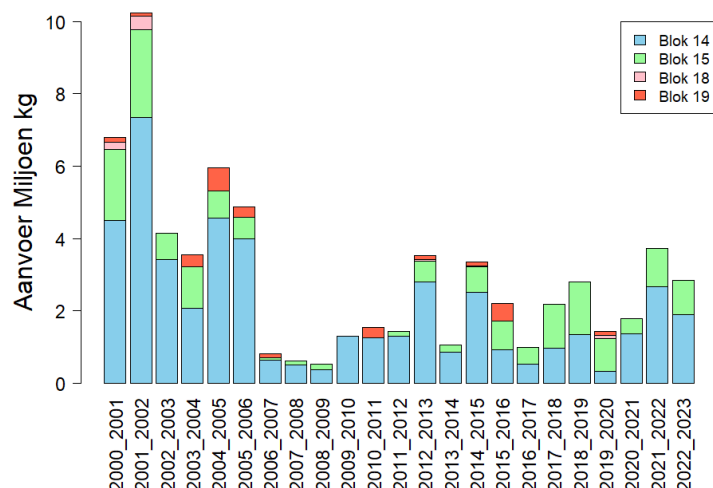


### 4.2.3 Aanvoer Zandkreek en omgeving

De gemiddelde aanvoer vanaf de percelen in de Zandkreek en langs het Engelsche Vaarwater (Blok 12, Blok 13, Blok 16 en Blok 17 ) over de seizoenen 2000\_2001 tot en met 2022\_2023 is 4.8 miljoen kg per seizoen (Figuur 28). Dit is ongeveer 19% van de totale aanvoer van mosselen vanuit de Oosterschelde. De meeste mosselen (70.2%) zijn in deze periode geleverd van de percelen die in het Engelsche Vaarwater ten westen van de Galgeplaat aanliggen (Blok 13). Voor de interpretatie van de figuren 28 en 29 is het van belang dat voor het seizoen 2022-2023 de veilinggegevens beschikbaar waren voor de maanden mei tot en met februari 2023. Dit houdt in dat de (normaal geringe) aanvoer in de maanden maart en april 2023 niet zijn meegenomen in onderstaande grafieken. In maart en april wordt echter doorgaans niet veel meer geleverd vanuit de Oosterschelde (Figuur 26). De gemiddelde aanvoer in het referentie gebied over de gehele periode betrof, 2.9 miljoen kg. 2022\_2023 zat hier net onder.



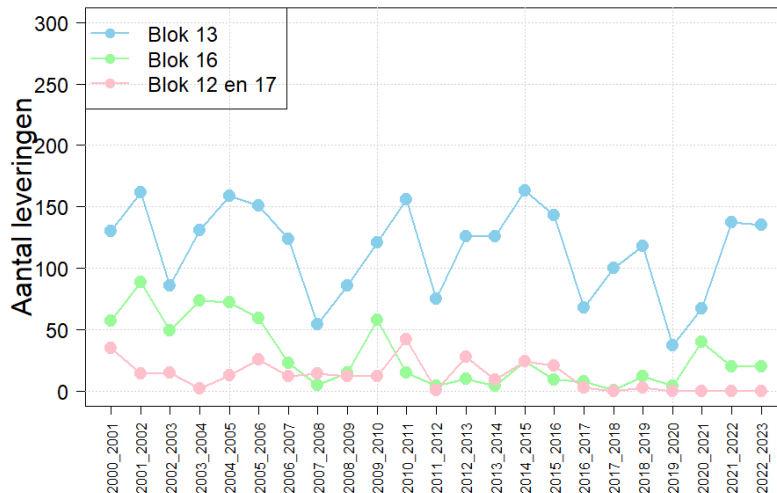
Figuur 28. Netto aanvoer van mosselen (miljoen kg) van de verschillende perceelblokken Blok 12, Blok 13, Blok 16 en Blok 17 rondom de bagger activiteiten.



Figuur 29. Netto aanvoer van mosselen (miljoen kg) van de verschillende perceelblokken Blok 14, Blok 15, Blok 18 en Blok 19 in het referentie gebied.

#### 4.2.4 Aantal leveringen

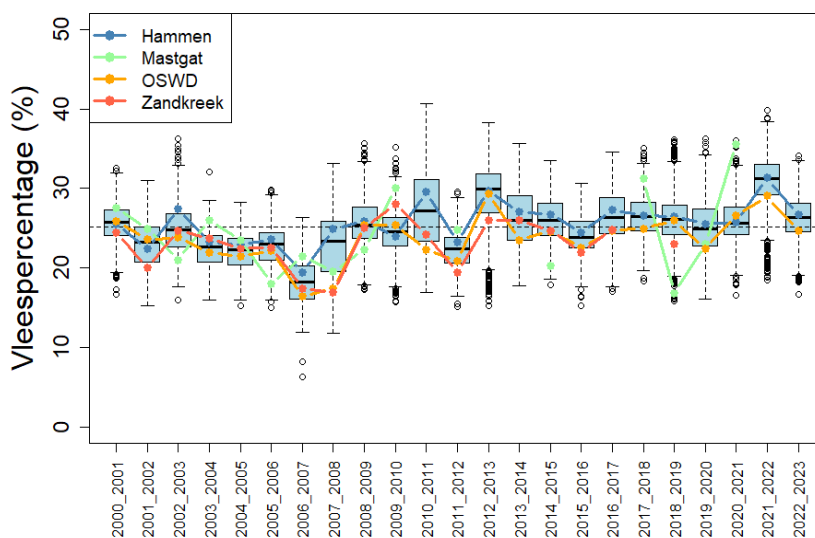
In Figuur 30 is het aantal leveringen weergegeven voor blokken 13, 16 en 12 en 17 die zich bevinden in de buurt van de baggeractiviteiten. Het aantal leveringen in blok 13 en 16 in seizoen 2022\_2023 is ongeveer gelijk gebleven ten opzichte van het voorgaande seizoen (2021\_2022). In blok 13 zijn grote fluctuaties over de seizoenen waarneembaar, en de aantal leveringen zijn de afgelopen twee jaar het hoogst sinds 2015\_2016. NB. Voor het seizoen 2022-2023 zijn alleen de leveringen meegenomen van mei t/m februari 2023.



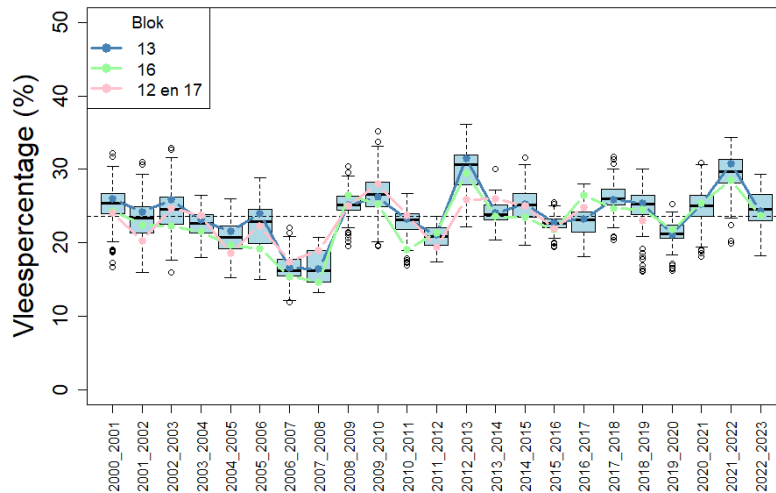
Figuur 30. Variatie van het aantal leveringen van de perceelblokken Blok 12, Blok 13, Blok 16 en Blok 17).

#### 4.2.5 Vleespercentages

Het vleespercentage is een maat voor de kwaliteit van de mosselen en is een belangrijke variabele voor de prijs van de mosselen aan de veiling. Het gemiddelde percentage, van de gehele Oosterschelde, over de gehele periode (2000-2023) bedraagt 25.1%, zie horizontale stippellijn in Figuur 31. Uit het deelgebied Zandkreek (blok 10 en 12), zijn er sinds het seizoen 2018\_2019 geen leveringen meer geweest.

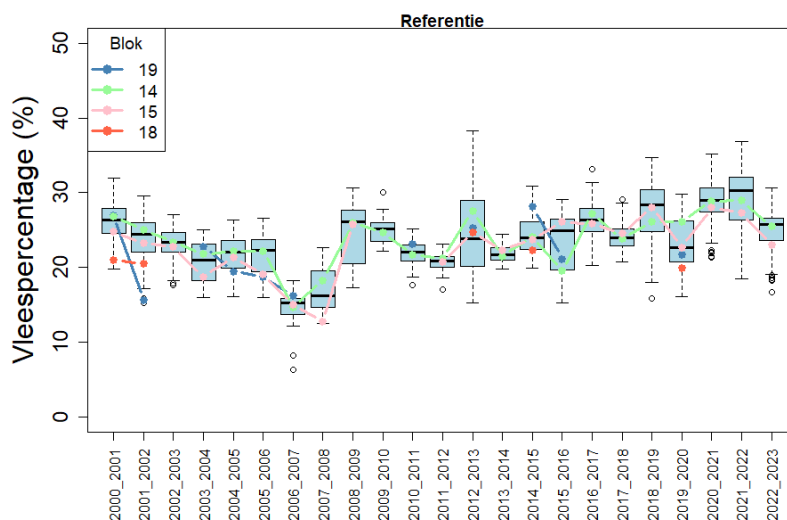


Figuur 31. Variatie van de vleespercentages (gewogen voor de Netto aanvoer) over de seizoenen in de Oosterschelde. De horizontale stippellijn geeft het overall gemiddelde weer. De gekleurde lijnen geven de gewogen gemiddelde vleespercentages per deelgebied.



*Figuur 32. Verloop van vleespercentage in de blokken die het dichtst bij de bagger activiteiten liggen.*

In het gebied gelegen nabij de baggeractiviteiten (perceelblokken 12, 13, 16 en 17) lijkt vermindering in vleespercentage plaats te vinden. Dit is echter in lijn met de overige perceelblokken in OSD (Wijsman, 2023) (Figuur 32). De gemiddelde vleespercentage voor het seizoen 2022\_2023 (24.1%) is iets lager dan voor het seizoen 2021\_2022 (30.1%), maar bijna gelijk aan het gemiddelde percentage voor seizoen 2020\_2021 (25.4%). Deze getallen zijn berekend voor blok 13 en 16, omdat uit blok 12 en 17 al geruime tijd geen leveringen zijn genoteerd. Ook in het referentie gebied neemt het gemiddelde vleespercentage over het seizoen af in 2022\_2023 (24.6%) ten opzichte van 2022\_2021 (28.5%), wat nogmaals aangeeft dat de eerdere afname in het gebied nabij de bagger en stortactiviteiten waarschijnlijk door de jaarlijkse variatie wordt veroorzaakt (Figuur 33).



*Figuur 33. Verloop van vleespercentage in de blokken die in het referentie gebied liggen.*

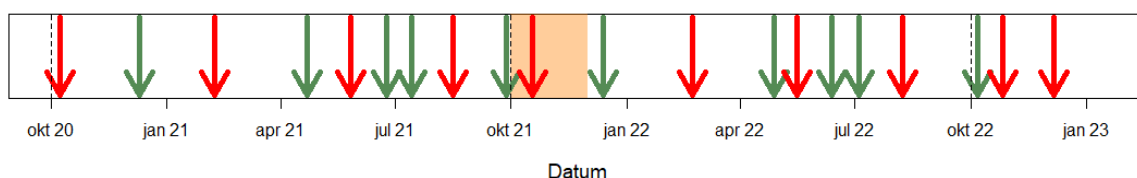
## 4.3 Ontwikkeling van de mosselen op de percelen

### 4.3.1 Doel

De kwaliteit van de mosselen op de percelen varieert sterk en wordt beïnvloed door verschillende factoren, zoals de afkomst van de mosselen, de activiteiten van de kweker en de omgeving (zoals voedsel, stroming en ondergrond). Om een beeld te krijgen van de kwaliteitsontwikkeling van de mosselen op de percelen, zijn deze regelmatig bemonsterd. Schade aan de percelen kan optreden in de vorm van een verhoogde sterfte, of een afname van de groei/of de kwaliteit van de mosselen. Het doel van deze bemonstering is te onderzoeken of er bovenmatige sterfte of afname in vleesgewichten is opgetreden op de mosselpercelen tijdens de werkzaamheden.

### 4.3.2 Methode

Om de ontwikkeling van mosselen op de percelen te volgen zijn er van oktober 2020 tot en met december 2022 (Figuur 34) bemonsteringen uitgevoerd op kweekpercelen in de Zandkreek en het Engelsche Vaarwater (Blokken 12, 13, 16 en 17). In de periode april tot en met augustus is de bemonstering maandelijks uitgevoerd in de rest van het jaar is de bemonstering eens in de twee maanden uitgevoerd. In totaal zijn in de periode vóór het baggeren 9, tijdens het baggeren 1, en na het baggeren 10 perceelbemonsteringen uitgevoerd, zie Figuur 34. De laatste perceelbemonstering is genomen op 6 december 2022.



*Figuur 34. Tijdsbalk met de momenten van de perceelbemonstering voor en na de baggerwerkzaamheden (weergegeven door oranje band). Tijdens de bemonsteringen die zijn aangegeven met rode pijlen zijn ook individuele lengtes en vleespercentages bepaald.*

De bemonstering van de mosselpercelen is uitgevoerd door de vakdeskundige visserij van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) met de MS Luctor of een vervangend schip. Daarbij werden 2 trekken van ongeveer 25 meter genomen op alle bezaaide percelen in het gebied. Twee weken vóór de bemonstering is door WMR contact opgenomen met de kwekers van de percelen om te informeren naar de actuele situatie op de betreffende percelen (o.a. bezetting) die van belang was voor de uitvoering van de bemonstering. Kort na de bemonstering ontvingen de individuele kwekers van WMR een terugkoppeling van de resultaten van de bemonstering op hun eigen perceel zodat ze een actueel beeld hadden van de situatie en, indien nodig, kunnen handelen. De bemonstering is uitgevoerd met een 1 meter mosselkor waarbij de trekken zijn gelogd in een plotter. Van iedere vangst is een foto gemaakt. Er is vervolgens een inschatting gemaakt van de totale vangst, de hoeveelheid zeesterren, krabben en pokken (geen-weinig-veel-massaal) (zie Figuur 35). Een vast deelmonster van ca. 2 liter uit de kor is geanalyseerd op onder andere het aantal levende mosselen, het versgewicht, bustal, aantal peulen (doublet van schelpen) en oude schelpresten (umbo's). Tijdens enkele bemonsteringen (rode pijlen in Figuur 34) werd een deel van het monster (bustal) meegenomen voor analyse in het lab, waar de individuele schelp lengtes van de mosselen zijn bepaald. Van het hele monster is vervolgens ook het versgewicht (na drinken) en het gekookt vleesgewicht bepaald. Uit het gekookt vleesgewicht en het versgewicht is het vleespercentage berekend.





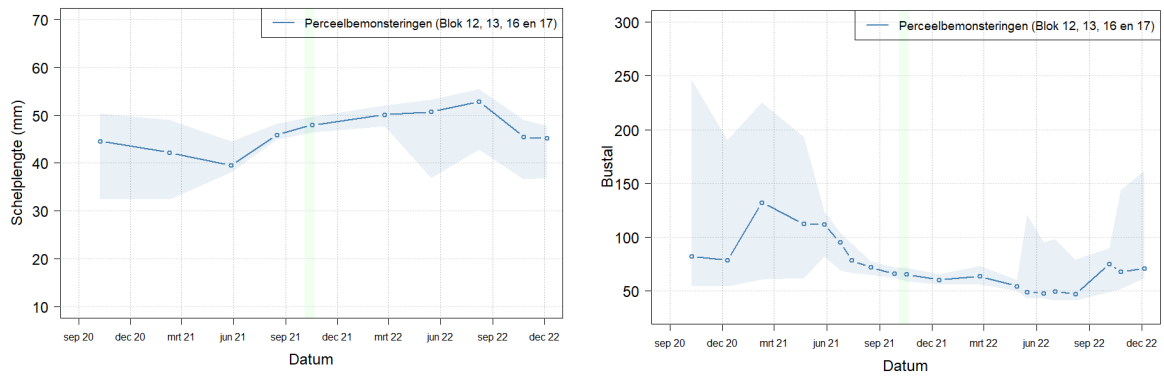
*Figuur 35. Foto van een volle kor op een willekeurig perceel. Te zien zijn levende mosselen en een zeester. Het label (1) wordt gebruikt voor de administratie.*

#### 4.3.3 Resultaten

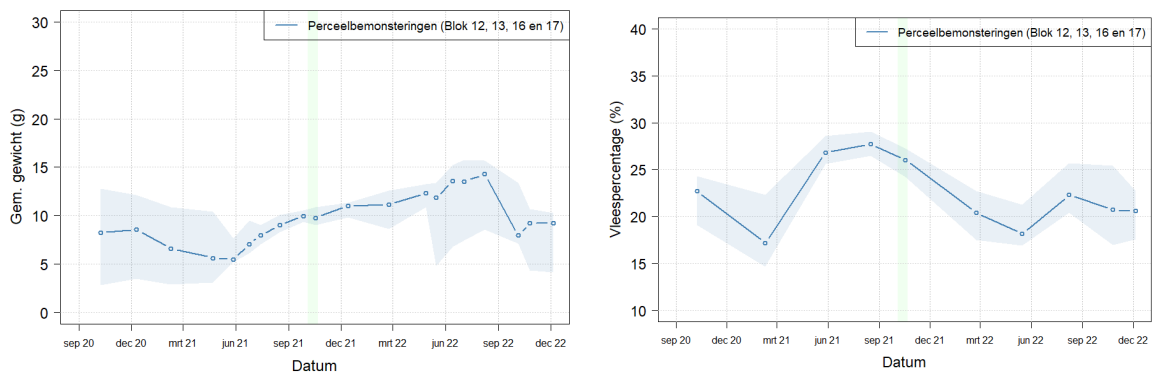
In september 2021 hebben enkele kwekers aangegeven dat er sterfte plaatsvond op hun percelen met als gevolg dat van enkele percelen de mosselen door de kweker verplaatst werden naar andere locaties. Omdat deze sterfte plaatsvond vóór de werkzaamheden en omdat de sterfte niet leek door te zetten zijn hiervoor geen aanvullende monitoringsactiviteiten voor opgezet. Enkele kwekers hebben tijdens de tussentijdse stakeholderbijeenkomst op 8 juli 2022 melding gemaakt van sterfte op hun percelen. Om een beeld te krijgen van de mosselsterfte op een aantal percelen in de Oosterschelde is, buiten deze studie, een bemonstering uitgevoerd op 21 juli 2022 (Capelle, 2022). In september 2022 is ook een melding ontvangen van sterfte op een perceel.

In totaal zijn 519 perceel monsters genomen op de percelen, waarvan er 265 zijn geanalyseerd op vleespercentage en schelpenlengte. De ontwikkeling van de verschillende groeiparameters zijn uitgezet tegen de tijd en in de onderstaande figuren weergegeven. Er zijn in totaal 24 percelen bemonsterd.

Het bustal is een maat voor de grootte van de mosselen en geeft het aantal mosselen aan die passen in een 880 ml blik. De gemiddelde bustal aan de Zandkreekszijde was aan de start van de monitoring (september 2020) hoog. Deze percelen lieten aan het begin ook een kleinere gemiddelde schelpenlengte zien t.o.v. de percelen aan de Galgeplaatszijde. Over de gehele periode is de gemiddelde schelpenlengte hoger en dus het bustal lager aan de Galgeplaatszijde t.o.v. de Zandkreekszijde. Wat overeenkomt met dat de percelen aan de Galgeplaatszijde van belang zijn voor (grotere) consumptiemosselen in vergelijking met de Zandkreekszijde die voornamelijk gebruikt worden voor het opslaan van (kleiner) broed of halfwasmosselen (met name Blok 12). De veranderingen in schelpdierlengte en bustal worden ook beïnvloed door de werkzaamheden die plaatsvinden op de kweekpercelen (opvissen, schoonvissen, uitzaaien enz.). Dit is goed te zien in Figuur 36, waar tussen in december 2020 en februari 2021 een toename te zien is in het bustal (gemiddeld zijn de mosselen kleiner geworden). Een vergelijkbare toename in bustal is te zien in augustus 2022 en september 2022. Dit kan wellicht komen door het wegvissen van grotere mosselen en/of het zaaien van kleinere mosselen op de percelen.

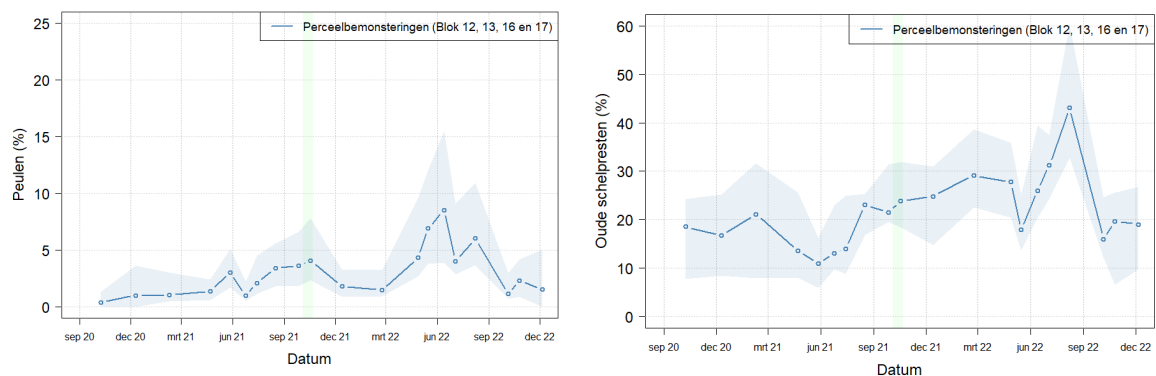


*Figuur 36. Ontwikkeling van de schelpenlengte (mm, links) en het bustal (rechts) over de tijd voor de percelen nabij de Zandkreek en in het Engelsche Vaarwater (Blok 12, 13, 16 en 17). De lijn geeft de gemiddelde waarde en het blauwe vlak geeft het gebied waarbinnen 50% van de waarnemingen vallen. In groen is de periode van de suppletie weergegeven.*



*Figuur 37. Ontwikkeling van het gemiddeld versgewicht (g, links) en het vleespercentage (rechts) over de tijd voor de percelen nabij de Zandkreek en in het Engelsche Vaarwater (Blok 12, 13, 16 en 17). De lijn geeft de gemiddelde waarde en het blauwe vlak geeft het gebied waarbinnen 50% van de waarnemingen vallen. In groen is de periode van de suppletie weergegeven.*

Het vleespercentage zegt iets over de kwaliteit van de mosselen en hangt af van de grootte van de mossel en de voedselsituatie/voortplanting. De hoogste vleespercentages worden in het najaar geobserveerd. De vleespercentages namen beide jaren af in het voorjaar, wat vermoedelijk het gevolg is van de voortplanting.



---

*Figuur 38. Ontwikkeling van het percentage peulen (links) en oude schelpresten (rechts) over de tijd voor de percelen nabij de Zandkreek en in het Engelsche Vaarwater (Blok 12, 13, 16 en 17). De lijn geeft de gemiddelde waarde en het blauwe vlak geeft het gebied waarbinnen 50% van de waarnemingen vallen. In groen is de periode van de suppletie weergegeven.*

Peulen zijn de schelpresten van mosselen die recent zijn doodgegaan, waarbij de schelphelften nog aan elkaar verbonden zijn middels het slot. Ze zijn een vroege indicator voor sterfte en soms zitten er nog wat vleesresten aan de schelpen. In Figuur 38 (peulen) zijn verhogingen in het aantal peulen te zien in augustus, september en oktober 2021.

Verder is er een duidelijke piek te zien in het gemiddelde percentage peulen in het voorjaar van 2022. De afgelopen jaren is er op meerdere locaties in de Oosterschelde grote sterfte van mosselen aangetroffen. Het is nog onduidelijk wat deze sterfte heeft veroorzaakt (Jansen et al., 2019). Het percentage schelpenresten fluctueert veel meer in verhouding tot de peulen.

De voorgaande figuren (Figuren 36, 37 en 38) zijn gebaseerd op geaggregeerde gegevens, omdat individuele perceelgegevens bedrijfsgevoelige informatie kunnen bevatten. Het samenvoegen van de gegevens maakt het echter lastig om de ontwikkeling van mosselen op de percelen en de effecten van de activiteiten van de kwekers, zoals het opvissen van consumptiemosselen en het opnieuw uitzaaien van mosselzaad en kleine halfwassmosselen, van elkaar te onderscheiden. Deze informatie is wel teruggekoppeld naar individuele kwekers, waardoor ze een actueel inzicht hadden in de ontwikkeling van mosselen op hun perceel in vergelijking met andere percelen in het hele bemonsterde gebied.

---

## 4.4 Invangsucces en ontwikkeling oesterbroed op invangpercelen

### 4.4.1 Doel

Voor de invang van oesterbroed worden er in de zomer (begin juli tot half augustus) schelpen op de oesterpercelen in de Zandkreek uitgestrooid. Broedvalsucces en overleving van oesters is doorgaans afhankelijk van een scala aan factoren (Kamermans et al., 2004), waarbij de beschikbaarheid van geschikt substraat een prominente rol speelt. Volwassen Japanse oesters laten hun voortplantingscellen voornamelijk los in juli en augustus wanneer de watertemperatuur het hoogst is (Troost, 2010). Warme zomers worden algemeen beschouwd als de sturende factor voor een goede broedval van Japanse oesters in onze wateren (Diederich et al., 2005). De bevruchting van Japanse oesters vindt plaats in de waterkolom. Na een pelagische fase van ongeveer 3 weken (Troost, 2010) hechten de oesterlarven zich op hard substraat om zich te vestigen. Schelpen van mosselen of oesters zijn een zeer geschikt hardsubstraat voor de oesterlarven. De oesterbroedjes die zich hebben gehecht aan het substraat worden na één of twee jaar opgevist en gesorteerd. De oesters die groot genoeg zijn worden vervolgens uitgezaaid op de dieper gelegen productiepercelen in de Kom van de Oosterschelde, waar de oesters verder groeien totdat ze groot genoeg zijn voor consumptie en de handel. Als er een laagje slib wordt afgezet op de schelpen voordat de broedjes zich hebben gevestigd, kan dit effect hebben op de hechting van de oesterbroedjes en daarmee het invangsucces. Ook kan het oesterbroed dat zich inmiddels al heeft gevestigd dood gaan als deze bedekt worden onder een laag slib. Het doel van deze monitoring is het kwantificeren van invang en ontwikkeling van oesterbroed op de invang percelen en onderzoeken of er in de zomerperiode slib is afgezet op het substraat.

### 4.4.2 Achtergrond

Een verscheidenheid aan abiotische en biotische factoren zoals resp. temperatuur, zoutgehalte, hydrodynamica, bathymetrie, getijdenfase alsook beschikbaarheid van voedsel en locatie van vrijlaten van de larven beïnvloeden de verspreiding van larven (Maathuis et al. 2020). Het is algemeen bekend dat de rekrutering van schelpdieren een grote variabiliteit vertoont tussen jaren en locaties, afhankelijk van de omgevingsfactoren. De overlevingskans van oesterlarven is klein. Onder de gunstige omstandigheden van de Oosterschelde bereikt ongeveer 5% van platte oesterlarven de metamorfose bij watertemperaturen van 20°C (Korringa, 1946). Daarnaast is het normaal dat 10% van het platte oesterbroed dat zich oorspronkelijk in de zomermaanden heeft gesetteld, nog aanwezig is in oktober (Korringa, 1946). Japanse oesters zijn meer opportunistische soorten dan platte oesters en de verwachting is dat de getallen nog lager zijn. De groei van de Japanse oester vertoont een jaarcyclus. In onze klimaatzone treedt van april tot oktober groei op, met een maximum in juni (Walne & Mann, 1975; Walne & Spencer, 1975). Van november tot maart groeit de oester niet, en kan vermagering optreden (Walne & Mann, 1975).

### 4.4.3 Methode

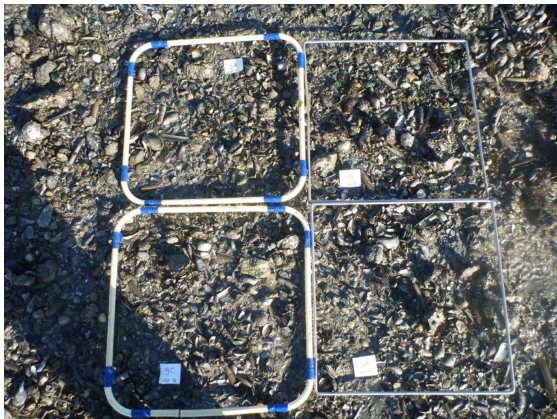
Om kwalitatief te bepalen of gedurende de zomerperiode slib is afgezet op de ingezaaide schelpen zijn in de zomer van 2020, 2021 en 2022 visuele inspecties uitgevoerd tijdens laag water op de droogvallende percelen die waren ingezaaid met schelpen. Vóór het uitvoeren van de visuele inspectie is medewerking gezocht met de kweker om de juiste gebieden te kunnen selecteren waar schelpen waren uitgezaaid. Vervolgens zijn verspreid over het perceel, dat ca. 1 maand eerder was ingezaaid met verse schelpen, foto's genomen (Figuur 39) en is visueel bepaald of zich slib had afgezet op de schelpen.





*Figuur 39. Voorbeeld van foto's genomen op een willekeurig perceel tijdens de visuele inspectie op een van de oesterinvangpercelen in de Zandkreek. Te zien zijn lege (mossel)schelpen om oesterbroed in te vangen.*

Om de invang en ontwikkeling van het oesterbroed te volgen op de invang percelen zijn in het najaar van 2020 (september), 2021 (oktober) en 2022 (september) en in het voorjaar van 2021 (april) en 2022 (april) bemonsteringen uitgevoerd op droogvallende oester-invang percelen. Vóór het uitvoeren van de bemonstering is medewerking gezocht met de kweker om de juiste gebieden te kunnen selecteren waar schelpen waren uitgezaaid. Van de percelen ingezaaid met schelpen zijn 5 percelen uit het gebied gekozen om te bemonsteren. Tijdens laag water zijn per perceel 2 kwadranten ( $1 \text{ m}^2$ , Figuur 40) neergelegd om verschillende locaties op het perceel. Per bemonstering zijn daarmee 10 kwadranten ( $1 \text{ m}^2$ ) neergelegd verspreid over het gebied (Bagget et al., 2014). Binnen het kwadrant zijn alle levende oesters en schelpen verzameld en meegenomen naar het lab. In het lab zijn, per monster, alle broedjes (Figuur 41) geteld en is van alle verzamelde oesters de lengte gemeten. Wanneer de monsters te groot waren om in het geheel uit te werken is er een sub-sample genomen.



*Figuur 40. Voorbeeld een kwadrant ( $1 \text{ m}^2$ ) op een willekeurig perceel tijdens de bemonstering op de oesterinvangpercelen in de Zandkreek.*



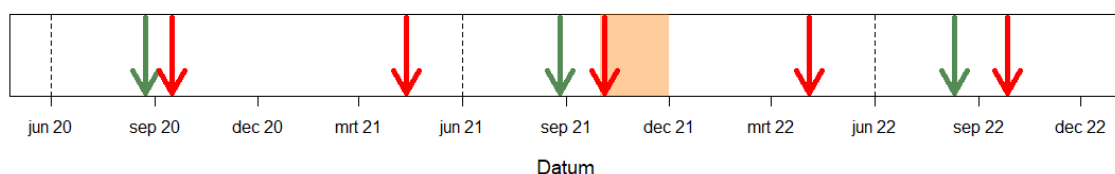
*Figuur 41. Aangehechte oesterbroed op een lege mosselschelp, oesterschelp en mesheft.*

#### 4.4.4 Resultaten

Voor de visuele inspectie en de bemonstering van de oesterinvangpercelen is contact gezocht met de betreffende kwekers om inzicht te krijgen in welke percelen ingezaaid waren met collectorschelpen en om toestemming te krijgen voor de inspectie en de bemonstering. Gedurende de onderzoeksperiode is op twee momenten, namelijk in 2020 en in 2022, een kweker deels meegelopen met zijn eigen perceel tijdens de visuele inspectie.

##### 4.4.4.1 Bemonstering en inspectie

Op basis van de visuele inspecties uitgevoerd in de zomermaanden lijkt er geen extra slib te zijn afgezet op de oesterinvangpercelen in de periode na de baggerwerkzaamheden.



*Figuur 42. Tijdsbalk met de momenten van de visuele inspectie (groen) en de perceelbemonstering (rood) voor en na de baggerwerkzaamheden (weergegeven door oranje band).*

In het algemeen worden in de zomermaanden (juli/aug) lege schelpen (vb. mossel-, oesterschelpen etc.) op de percelen gestrooid om oesterbroed in juni t/m september in te vangen. De bemonsterde percelen zijn echter onderhevig aan de activiteiten die de individuele kwekers uitvoeren op hun perceel. Activiteiten op de percelen verschillen bijvoorbeeld in welke soort schelpen gebruikt worden voor het invangen van oesterbroed, het moment van inzaaien met nieuwe lege schelpen, het opvissen en sorteren van oesterbroed na 1 of 2 jaar, alsook het wel of niet geheel schoonvissen van een perceel alvorens in de eerstvolgende zomermaanden weer met nieuwe lege schelpen in te zaaien.

In totaal zijn 10 verschillende oesterinvangpercelen in de Zandkreek gebied gedurende de monitoringsperiode één of meerdere keren bemonsterd. Welke 5 percelen bemonsterd zijn, verschilt per monsternmoment (september 2020; april 2021; oktober 2021; april 2022 en september 2022). Daarnaast zijn in april 2022 in totaal 4 percelen bemonsterd i.p.v. 5 percelen omdat niet alle percelen

ingezaaid waren. Er is niet ieder jaar op dezelfde percelen bemonsterd. Er zijn verschillende redenen waarom het niet altijd mogelijk was om dezelfde percelen als de jaren ervoor te bemonsteren. Dit kon zijn doordat de percelen al opgevisst waren, (nog) niet ingezaaid waren met lege schelpen of geen toestemming verkregen kon worden van de kweker om het perceel te bemonsteren. Waardoor variatie in monsterlocatie van toepassing is. Het vergelijken van de data van de individuele oester-invangpercelen wordt door voorgaande variabelen bemoeilijkt.

Factoren die het beoordelen van de overleving en groei van het oesterbroed op de oesterinvangpercelen bemoeilijken betreffen:

- De percelen die bemonsterd zijn verschillen per bemonsteringsmoment.
- De percelen zijn op verschillende momenten (jaar en maand) ingezaaid met lege schelpen.
- Het soort schelpen waarmee percelen zijn ingezaaid verschilt.

Om te voorkomen dat de individuele data niet te herleiden zijn naar specifieke percelen en bedrijven zijn de data in deze rapportage geaggregeerd op het niveau van de Zandkreek als gebied (Tabel 6). NB. Door de variabelen binnen de data zoals hierboven genoemd, is het niet mogelijk op de verschillende bemonstermomenten 1 op 1 met elkaar te vergelijken. Dit zou wellicht deels op perceel niveau mogelijk zijn, echter dan zou behoud van vertrouwelijkheid van de data niet te garanderen zijn.

*Tabel 6. Overzicht van het aantal oesters per m<sup>2</sup>, het aantal oesterbroed per m<sup>2</sup> en de gemiddelde lengte (mm) gevonden op basis van alle bemonsterde oesterinvangpercelen in de Zandkreek voor de bemonstering in september 2020, april 2021, oktober 2021, april 2022 en september 2022.*

Gemiddeld aantal oesters per m <sup>2</sup> met standard deviatie					Gemiddeld aantal oesterbroed (< 10 mm) per m <sup>2</sup> met standard deviatie				
Sept 20	Apr 21	Okt 21	Apr 22	Sept 22	Sept 20	Apr 21	Okt 21	Apr 22	Sept 22
310 ±160	181 ±147	113 ±109	120 ±75	76 ±86	189 ±97	94 ±63	26 ±53	20 ±13	21 ±27

Gemiddelde lengte (mm) met standard deviatie				
Sept 20	Apr 21	Okt 21	Apr 22	Sept 22
24.3 ±31.9	35.7 ±30.8	21.1 ±27.6	32.0 ±28.7	37.4 ±27.2

#### 4.4.4.2 Broedval en groei

Detecteerbare Japanse oesterlarven concentraties in het water van de Oosterschelde zijn zowel in 2020 (wk 30-35) en in 2021 (wk 27- 33) (Hogeschool Zeeland, in prep.) gevonden. Op basis van de bemonstering van de oesterinvangpercelen binnen de huidige studie is in het najaar van 2020 op alle bemonsterde percelen een hoge hoeveelheid oesters (hoger dan 100 ind/m<sup>2</sup>) en oesterbroed gemeten. In september 2020 is gemiddeld 310 oesters per m<sup>2</sup> geteld, met een gemiddelde van 189 oesterbroed per m<sup>2</sup>. In het voorjaar 2021 is het gemiddeld aantal oesters en oesterbroed per m<sup>2</sup> lager t.o.v. het najaar van 2020. Dit kan veroorzaakt worden door sterfte, groei, maar ook als gevolg van variatie in bemonsteringslocatie. De winteroverleving (medio september t/m medio april) van het broedval dat is ingevangen in het najaar van 2020, berekend via de cohort analyse beschreven in Walles et al. 2015, lag na ca. een half jaar op 30%.

In het najaar van 2021 zijn gemiddeld 113 oesters/m<sup>2</sup> en 94 oesterbroed/m<sup>2</sup> geteld, met een gemiddelde lengte van 21.1 mm. Van de percelen die in de zomer van 2021 zijn ingezaaid met collectorschelpen, is er maar een enkel perceel dat een groot aantal broedjes bevat in het najaar van 2021. Deze broedjes overleven het tot het voorjaar van 2022, waar we met behulp van het volgen van het cohort zien dat een groot deel het overleven en groeien. Een ander perceel laat veel minder broedval zien dan het jaar ervoor. De bemonsterde percelen in het najaar 2021 liggen op een ander locatie dan het de bemonsterde percelen van 2020. Een vergelijking is daarom moeilijk te maken. Wel kan geconstateerd worden dat oesterbroed in de Zandkreek is ingevangen, hoewel de mate waarin per individueel perceel kan verschillen.



---

In het najaar van 2022 zijn gemiddeld 76 oesters/m<sup>2</sup> en 21 oesterbroed/m<sup>2</sup> geteld, met een gemiddelde lengte van 37.4 mm. Ook hier is er sprake van een variatie in het aantal gemeten oesterbroed tussen de percelen. Op enkele nog niet eerder bemonsterde percelen worden beperkte hoeveelheden oesterbroed gemeten, hoewel deze percelen wel zijn ingezaaid. Een ander perceel laat het aantal gemeten oesterbroed zien van ongeveer net zoveel als in zowel 2021 en 2022.

Het 1 op 1 vergelijken van het aantal oesters en oesterbroed geteld in het najaar van 2020, 2021 en 2022 is niet mogelijk door de inconsistentie van de beschikbare data als gevolg van eerder genoemde factoren (sectie 4.4.4.1).

---

## 5 Discussie

In deze studie is een verscheidenheid aan monitoringsactiviteiten uitgevoerd. Deze geven gezamenlijk een beeld van de potentiële effecten van de baggeractiviteiten voor de verdieping van de Zandkreekgeul op de kweekpercelen in het onderzoeksgebied. De resultaten laten geen duidelijke aanwijzingen zien die wijzen op schade door de baggerwerkzaamheden op de omliggende schelpdierkweekpercelen.

### **Baggerwerkzaamheden.**

Op basis van de in- en uitpeiling is het volumeverschil in de Zandkreekgeul in totaal ca. 141 000 m<sup>3</sup>. Dit is 11 000 m<sup>3</sup> meer dan in eerste instantie was gepland om te baggeren. Dit extra volumeverschil wordt door de aannemer gerelateerd aan de herfststorm die op 21 oktober 2021 heeft plaatsgevonden, met forse windkracht tot ca. 8 Bft., en zware windstoten tot 35 km/h (notitie aannemer). De multibeam opnames tonen aan dat de grootste hoeveelheden sediment verwijderd zijn vanuit de vakken 1, 2, 3 en 7 (Figuur 4), dit is conform de planning. Op basis van de dagrapportages van de aannemer zou het totaal aan gebaggerd materiaal zijn gestort op de stortlocatie O10 in het Engelsche Vaarwater. Op basis van de in- en uitpeiling van het stortvak was op 13 november 2021 ca. 7 000 m<sup>3</sup> (5% van het totale gebaggerde volume) terug te vinden in het uitgepeilde gebied binnen en rond het stortvak O10, en 1 500 m<sup>3</sup> binnen de vooraf gedefinieerde contouren van het stortvak. Gedurende deze periode van ongeveer 6 weken (4 oktober – 13 november 2021) blijkt ongeveer 134 000 m<sup>3</sup> van het fijne materiaal tijdens het storten is 'verwaaid' of naderhand uit het gebied binnen en vlak rond het stortvak is weggespoeld met de getijdenstroming. Door samenstelling van het slib (fijn materiaal) wordt het eenvoudig meegenomen door de stroming in het Engelsche Vaarwater.

### **Zwevend stof**

Tijdens de baggerwerkzaamheden is een direct verhoging van de turbiditeit (NTU) waargenomen in vergelijking met de periode ervoor, in alle meetboeien rondom het baggergebied (ZS1-ZS3). Dit was in lijn met de verwachting, omdat de werkzaamheden het slib en sediment in het water opwervelen. Satellietbeelden van 7 oktober 2021 bevestigen de hoge turbiditeit in de Zandkreekgeul op dat moment. Ook in het referentiegebied (Brabantsche Vaarwater (ZS4)) werden lichte verhogingen in NTU-waarden gemeten tijdens de werkzaamheden (daggemiddelde van ca. 10 NTU). Omdat het niet de verwachting was dat het Brabantsche Vaarwater (ZS4) impact zou ondervinden van de werkzaamheden (Van Duren et al. 2019), suggereren deze metingen dat andere omstandigheden hebben bijgedragen aan de waargenomen verhogingen. De analyse toonde aan dat de turbiditeitswaarden ruimtelijk en temporeel verschillen en vooral worden beïnvloed door factoren zoals windsnelheid, getijden en werkzaamheden op de percelen (zoals zaaien of opvissen), die de hoeveelheid zwevend stof in het water kunnen verhogen.

Het tijdelijk stopzetten van de werkzaamheden resulteerde in een directe daling van de NTU-waarden (zowel te zien op data van de meetboeien als op de satellietbeelden), op meerdere locaties. Op het satellietbeeld van 15 oktober 2021, zijn geen verhoogde zwevend stof concentraties waarneembaar. Of een dergelijke directe daling plaatsvindt ten westen van de Galgeplaat (ZS1) is lastig te bepalen omdat gedurende deze periode de betreffende sensor vies/begroeid was, waardoor de metingen zijn verstoord.

Ondanks het stopzetten van de baggerwerkzaamheden, die 22 okt 2021 geëindigd zijn, blijven de NTU-waarden ten westen van de Galgenplaat (ZS1) nog enkele weken verhoogd (ca. 20 NTU). Mogelijk is dit het resultaat van opwerveling van sediment vanuit de stortlocatie O10 (Duren et al., 2019). De verhoogde waarden houden aan tot en met de eerste dagen van november 2021. Het is lastig vast te stellen of de metingen na die periode ook worden beïnvloed door een begroeide sensor, doordat het schoonmaken geen invloed lijkt te hebben op de gemeten waardes. Er zijn geen bruikbare satellietbeelden beschikbaar om de waarnemingen te controleren. De NTU-waarden blijven ook nog enkele dagen hoog na het stopzetten van de baggerwerkzaamheden bij zowel de monding van de Zandkreek (ca. 18 NTU) als in de Zandkreekgeul (ca. 13 NTU). Vermoedelijk is er op deze locaties wel sprake van begroeide sensoren, omdat de waarden, in tegenstelling tot de metingen ten westen van de Galgenplaat, wel direct afnemen na de eerste een schoonmaakbeurt. Na de schoonmaakbeurt is in de Zandkreekgeul nog wel enige dagen

---

in november verhoogde waarden te observeren, vermoedelijk veroorzaakt door het onderwater uitvlakken van de bodem op locatie waar dat nodig was. Deze verhoogde waarden zijn niet in de monding te detecteren.

Op het referentie gebied, in het Brabantsche Vaarwater (ZS4), begonnen op de laatste dag van de werkzaamheden opeens verhogingen plaats te vinden. Deze verhoogde waarden hielden ongeveer 5 dagen aan en zijn waarschijnlijk veroorzaakt door het weer. Op 20 oktober begon een periode met onstuimig weer met zware windstoten ook vielen er op 21 en 22 oktober grote neerslaghoeveelheden (KNMI). Dit weer zal waarschijnlijk ook invloed hebben gehad op de gemeten waarden in de andere meetboeien. Desondanks waren de verhogingen in het referentiegebied nog steeds lager dan die rondom de baggerwerkzaamheden.

In november is het wederom lastig te bepalen of de data niet opnieuw beïnvloed wordt door een begroeide sensor in de Zandkreekgeul en ten westen van de Galgeplaat. Hierdoor is het lastig te bepalen hoe lang verhoogde waarden exact hebben aangehouden. Na de schoonmaakbeurt op 12 november 2021 zijn ca. 3 weken na het afronden van de werkzaamheden, echter weer normale daggemiddelden gemeten.

Omdat als gevolg van natuurlijke omstandigheden, zoals een storm, de turbiditeitswaarden ook toenemen, is zowel gekeken naar de situatie gedurende een storm voor (maart 2021) en een storm na de baggerwerkzaamheden (februari 2022). De storm na de baggerwerkzaamheden laat vergelijkbaar hoge troebelheidswaarden zien als een eerdere storm (met westenwind) vóór de uitvoering van de baggerwerkzaamheden. In de storm voor de baggerwerkzaamheden worden er in de Zandkreek waardes tot 50 FNU waargenomen. Dit is hoger dan, op de beschikbare beelden, tijdens het baggeren. Er lijkt op beide beelden, voor en na de storm maar nog wel met hoge windsnelheden, ook geen verhoogde waarden aan troebelheid dicht bij de stortlocatie waarneembaar te zijn. De variatie als gevolg van de storm laat al hogere waarden aan turbiditeit en zwevend stof zien in de Oosterschelde, ook op de percelen, dan dat er van de baggeractiviteiten afkomstig is.

De variatie in zwevend stof die wordt geobserveerd van uur tot uur ten gevolge van het getij en de variatie tussen verschillende weersomstandigheden, lijkt hoger dan de (langdurige) verhogingen die we ten gevolge van de werkzaamheden observeren. Tijdens het baggeren waren er kortstondige pieken van sterke verhoging, maar zelfs deze pieken waren niet hoger dan de verhogingen die worden waargenomen tijdens een storm (zelfs vóór de uitvoering van baggerwerkzaamheden).

Het meten van het zwevend stof in het water is in het huidig onderzoek gedaan door middel van het gebruik van meetboeien waaraan een sensor is bevestigd die ca. 3 m diep in het water hing. Dit betekent dat de gemeten waarden in zwevend stof de situatie aangaf op 3 meter diepte. De mogelijkheid bestaat dat metingen nabij de bodem andere resultaten zouden hebben geleverd. Voor een vervolg kan nagedacht worden over de optimale hoogte in de waterkolom om de mate van zwevend stof te meten.

#### **Vergelijking met modelberekeningen Deltares:**

Voor de modellering en de metingen worden verschillende eenheden gebruikt. Hierdoor is het niet eenvoudig om te onderzoeken of de toename van concentraties en de verspreiding van zwevend stof als gevolg van de werkzaamheden, overeenkomen met de voorspellingen uit de modelberekeningen van Deltares. Gedurende de monitoring zijn de zwevend stof concentraties gemeten in NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Bij benadering kan worden uit gegaan dat de relatie tussen eenheden  $1 \text{ NTU} \pm 2 \text{ mg/l}$  is (Memo RWS, 2019). Het westelijk deel van de Oosterschelde heeft een jaargemiddelde zwevend stof concentratie van 15 mg/l (overeenkomend met ca. 7.5 NTU) (De Vries, 2014).

Op basis van een modelstudie (Van Duren et al., 2019) was de verwachting dat de werkzaamheden maar tot een beperkte verhoging van zwevend stof zou leiden met weinig effect op de groei en ontwikkeling van de schelpdieren. Bij een scenario waarbij 190 000 m<sup>3</sup> gestort zou worden in stortvak O10, werden de grootste concentraties in de waterkolom waargenomen tegen het einde van de modelperiode wanneer relatief veel materiaal in het systeem verspreid is. Zo werd ca. 12 weken na start van de werkzaamheden verhogingen tot 12 mg/l ( $\approx 6 \text{ NTU}$ ) boven de intergetijdengebieden en mosselpercelen in de Zandkreek voorspeld, en een verhoging van ruim 10 mg/l ( $\approx 5 \text{ NTU}$ ) boven de mosselpercelen rond de Galgeplaat. De data van de meetboeien van de huidige studie, laten zien dat de verhogingen in

---

zwevend stof concentraties eerder plaatsvinden, namelijk tijdens en tot enkele weken na de werkzaamheden. Afhankelijk van de meetlocaties worden in deze periode verhogingen gemeten van ca. 22 NTU ( $\approx 44$  mg/l; ten westen van de Galgeplaat), ca. 4 NTU ( $\approx 8$  mg/l; in de monding van de Zandkreek) en ca. 8 NTU ( $\approx 16$  mg/l; in de Zandkreek). Het zou interessant zijn om als vervolgstap in detail de data van de meetboeien te vergelijken met de modelberekeningen.

### **Mosselen**

De veilinggegevens laten een gemiddeld vleespercentage zien van 25.1% voor de mosselen die tussen 2000 en 2023 van de percelen in de Oosterschelde zijn geleverd aan de veiling. De mosselen van de percelen in de Zandkreek en het Engelsche Vaarwater hadden in het seizoen 2022\_2023 (na de werkzaamheden) een lager vleespercentage (24.1%) dan voor het seizoen 2021\_2022 (tijdens de werkzaamheden, 30.1%). Dit is in lijn met de overige perceelblokken binnen het middengebied en ook met de rest van de Oosterschelde waar het seizoen 2021\_2022 een topjaar was wat betreft de vleesgewichten. Het gemiddelde vleespercentage over het seizoen 2022\_2023 (24.1%) komt overeen met het gemiddelde percentage over seizoen 2020\_2021 (25.4%) en het gemiddelde over de periode 2000 tot 2023. De resultaten laten geen duidelijke aanwijzing zien dat de werkzaamheden invloed hebben gehad op het gemiddelde vleespercentage van het afgelopen seizoenen. Het aantal onafhankelijke leveringen aan de veiling heeft effect op het onderscheidingsvermogen om mogelijke verschillen statistisch te kunnen aantonen. In het kader van de studie naar de effecten van de suppletie van de Roggenplaat in 2019 is een power analyse uitgevoerd op de registraties van de leveringen aan de mosselveiling (Wijsman, 2017). Deze studie laat zien dat er ongeveer 45 onafhankelijke leveringen nodig zijn om een verschil van 1 procentpunt in vleespercentage statistisch aan te kunnen tonen. Om te onderzoeken of er op langere termijn effecten zijn, zijn meerdere jaren aan gegevens nodig. Deze worden verzameld op de mosselveiling en zouden nader kunnen worden geanalyseerd indien er in de toekomst aanleiding toe is.

Indien de baggerwerkzaamheden een direct effect zouden hebben op de opbrengsten van de mosselen dan verwachten we een (substantieel) afname in de netto aanvoer in het seizoen 2022\_2023 ten opzichte van voorgaande jaren. De netto aanvoer is een maat voor de opbrengsten van de mosselpercelen. De gemiddelde netto aanvoer van percelen in de Oosterschelde over de seizoenen 2000\_2001 tot en met 2021\_2022 is 24.7 miljoen kg mosselen per jaar. De gemiddelde aanvoer vanaf de percelen die rondom de locaties van de bagger- en stortwerkzaamheden liggen (Blok 12, Blok 13, Blok 16 en Blok 17) over de seizoenen 2000\_2001 tot en met 2022\_2023 is 4.2 miljoen kg per seizoen. Dit is ongeveer 16.8% van de totale aanvoer van mosselen vanuit de Oosterschelde. Leveringen van consumptiemosselen worden voornamelijk geleverd vanuit de percelen naast de Galgeplaat. Het aantal leveringen vanuit de percelen in het onderzoeksgebied is in seizoen 2022\_2023 ongeveer gelijk gebleven ten opzichte van het voorgaande seizoen (2021\_2022). De netto aanvoer voor het seizoen 2022\_2023 (1.6 miljoen kg) is iets lager dan voor het seizoen 2021\_2022 (2 miljoen kg), dit is in lijn met de overige perceelblokken binnen OSWD (incl. referentiegebied). De netto aanvoer voor het seizoen 2022\_2023 (1.6 miljoen kg) is bijna gelijk aan de netto aanvoer voor seizoen 2016\_2017 (1.8 miljoen kg). De afname in de netto aanvoer in het seizoen 2021-2022 valt binnen de jaarlijkse variatie. De resultaten laten geen duidelijke aanwijzing zien dat de werkzaamheden invloed hebben gehad op de netto aanvoer van het afgelopen seizoen.

Indien de baggerwerkzaamheden een direct effect zouden hebben op sterfte van de mosselen tijdens de werkzaamheden, wordt verwacht dat tijdens en kort na de werkzaamheden een toename is in het percentage peulen tijdens het bemonsteren van de mosselpercelen. Indien de werkzaamheden een direct effect zouden hebben op de kwaliteit van de mosselen, wordt verwacht dat er een afname is in vleesgewichten. Sterfte en kwaliteit van de mosselen varieert echter sterk en wordt beïnvloed door verschillende factoren. Aangenomen wordt dat peulen maximaal enkele weken blijven bestaan na sterfte van de mossel en dat ze vervolgens uit elkaar vallen.

In de periode rondom de baggerwerkzaamheden is sprake van een toename in het aantal peulen gevonden tijdens de bemonstering van de mosselpercelen op 18 oktober 2021. Een toename in het percentage peulen nam al toe in de maanden voor de werkzaamheden in oktober (juli, augustus, september). Het is onduidelijk of er gedurende deze periode ook werkzaamheden (schoon of opvissen) hebben plaatsgevonden op de percelen wat ook tot sterfte van de mosselen kan leiden. Het percentage peulen gevonden tijdens de bemonstering van 31 december 2021 (10 weken later) is lager, dan het percentage peulen gevonden in oktober 2021. In december 2021 is aan de Zandkreekzijde een lichte

---

afname in oude schelpresten gevonden t.o.v. oktober 2021, voor de Galgeplaat zijde betrof het een lichte toename. Het gemiddeld gewicht (g) van de bemonsterde mosselen is hoger in december 2021 dan tijdens de baggerwerkzaamheden, maar daalt in de periode december 2021 en februari 2022.

Doordat er meerdere factoren (weersomstandigheden, seizoen, activiteiten op de percelen, baggeractiviteiten, aanwezigheid van predatoren) zijn die de kwaliteit van de mosselen beïnvloeden, is het lastig om aan te tonen in hoeverre de werkzaamheden direct effect hebben gehad op de ontwikkeling van de mosselen. Zo zijn tijdens de bemonstering in oktober 2021 16 percelen bemonsterd. In december 2021, bij de eerstvolgende bemonstering, zijn 14 percelen bemonsterd, waarbij t.o.v. oktober 2021 3 percelen niet zijn meegenomen in de bemonstering omdat ze inmiddels opgevisst waren en 1 nieuw perceel er bijgekomen / nieuw ingezaaid was.

In het voorjaar van 2022 is een piek in het percentage peulen te zien. Deze piek komt overeen met de sterfte van mosselen in de gehele Oosterschelde. In 2021-2022 is een chronische verhoogde mosselsterfte geconstateerd op een aantal percelen in de Oosterschelde. Signalen gaven aan dat het niet zozeer een piek in sterfte betrof, maar eerder het weggwijnen van mosselen op de percelen. Gedurende een extra bemonstering op de percelen in juli 2022 zijn geen signalen van massale sterfte aangetroffen, echter wel hoge sterfte op specifieke percelen (Capelle, 2022). Deze percelen laten in het huidig onderzoek ook een piek in mosselsterfte zien in dezelfde periode. Incidenten van verhoogde mosselsterfte is geen nieuw fenomeen. Meldingen van massale mosselsterfte in de Oosterschelde deden zich voor in 2015-2016, opnieuw in 2019 (Capelle & van Stralen, 2017; Capelle et al., 2021). In september 2021 was er ook sprake van lokale sterfte (Capelle, 2022). In Frankrijk wordt sinds 2014 vergelijkbare jaarlijkse massale mosselsterfte geregistreerd (Charles et al., 2020a). Hier wordt de bacterie *Francisella haliotida* geassocieerd met de massale sterftes van mosselen. De bacterie is ook aanwezig in de Oosterschelde. Het is echter nog onduidelijk in hoeverre de bacterie een rol speelt in de massasterfte in de Oosterschelde. Uitgegaan wordt dat de jaarlijkse mosselsterfte veroorzaakt wordt door een combinatie van factoren. Omdat de piek in mosselsterfte in het huidig rapport plaatsvindt ca. 6 maanden na de baggerwerkzaamheden, is de verwachting dat de werkzaamheden geen directe rol spelen in de mosselsterfte in het voorjaar 2022. Deze verwachting wordt versterkt omdat een dergelijke voorjaarssterfte in voorgaande jaren ook heeft plaatsgevonden.

## Oesters

Oesterbroed wordt in de periode voor als na de baggeractiviteiten ingevangen op de oesterinvangpercelen. Elk najaar (2020, 2021, 2022) is recent ingevangen oesterbroed terug gevonden in de geanalyseerde monsters. Dit betekent dat elk jaar oesterbroed is gevallen. In 2021 en 2022 is minder broed geteld dan in 2020. De hoeveelheid broedval verschilt van jaar tot jaar. Het verschil in aantal broedjes gevonden in deze studie valt binnen deze jaarlijkse variatie. Over het algemeen wordt aangenomen dat het broedvalsucces van de Japanse oester bepaald wordt door weersomstandigheden tijdens de broedval en niet zozeer door het aantal larven (Troost, 2009). Daarnaast kan predatie oesterbroed ook het aantal gevonden broedjes beïnvloeden. De winteroverleving van het oesterbroed ingevangen in 2020 lag na een half jaar op 30%. Dit komt overeen met de constatering dat een groot deel van het ingevangen oesterbroed het eerste half jaar niet overleefd (Wallis et al., 2015).

Het bepalen of in de zomerperiode slib is afgezet op het substraat op de oesterinvangpercelen in de Zandkreek, betreft een kwalitatieve beoordeling van de oesterinvangpercelen, waarbij elke zomer (2020 t/m 2022) de percelen visueel geïnspecteerd zijn om te bepalen of slib zich heeft afgezet op de schelpen. Op basis van de visuele inspecties lijkt er geen opvallend meer slib te zijn neergeslagen in de periode na de baggerwerkzaamheden.

Doordat het niet altijd mogelijk was om gedurende de onderzoeksperiode dezelfde oesterinvangpercelen te bemonsteren, wordt de data beïnvloed door variatie in monsterlocatie en activiteiten op de percelen. Dit bemoeilijkt het vergelijken van de gevonden data over de jaren. Na het inzaaien met collectorschelpen in 2020, vóór de baggerwerkzaamheden, werden er in het voorjaar 2021 op alle bemonsterde percelen oesterbroed waargenomen. Na het uitzaaien van collectorschelpen in de zomer 2021, het jaar van het baggeren, waren er ruimtelijke verschillen te zien in de hoeveelheid waargenomen oesterbroed. Waar op het ene perceel net zo veel broedval te vinden was als het jaar ervoor, was op een ander perceel veel minder broedval dan het jaar daarvoor. Bemonstering van de percelen in oktober 2021 vond plaats 2 dagen na het starten van de baggerwerkzaamheden. Na het uitzaaien van collectorschelpen in 2022, het jaar na het baggeren, zien twee voor het eerst gemonitorde

---

percelen bijna geen broedval terwijl deze percelen al vroeg zijn ingezaaid. Een ander perceel, die al eerder was bemonsterd, ziet wel veel broedval, net zoveel als in zowel 2020 en 2021. Doordat de percelen opnieuw werden ingezaaid tijdens de monitoringsperiode was het niet mogelijk om de kwantitatieve analyses (cohort analyse en sterfte/groei bepaling) uit te voeren en tegelijkertijd de anonimiteit van de kweker te behouden. De resultaten zijn daarom in dit rapport globaal besproken.

---

## 6 Conclusie

Uit peilingen met een multibeam in de Zandkreekgeul vóór en ná de werkzaamheden is het gebaggerde volume berekend op ca. 141 000 m<sup>3</sup>. De multibeam opnames op en rond de stortlocatie O10 vóór en ná de werkzaamheden laten een volumetoename zien van ca. 7 000 m<sup>3</sup>. Het overgrote deel van het gebaggerd materiaal lijkt gedurende een periode van ca. 6 weken (start werkzaamheden op 4 oktober 2021 en uitpeiling uitgevoerd op 13 november 2021) tijdens het storten te zijn ‘verwaaid’ of naderhand uit het stortvak te zijn weggespoeld, waardoor het niet meer was terug te vinden op de stortlocatie. Door het fijne materiaal en de stroming spoelt een deel van het materiaal makkelijk weg.

Tijdens de baggerwerkzaamheden zijn verhogingen van de turbiditeit (NTU) waargenomen. Dit werd verwacht omdat de werkzaamheden het slib en sediment in het water opwervelden. Andere factoren zoals windsnelheid, getijden en werkzaamheden op percelen kunnen ook bijdragen aan verhoogde zwevende stof in het water. Het stopzetten van de werkzaamheden resulteerde in een directe daling van de NTU-waarden op meerdere locaties. In het Engelsche Vaarwater, ten westen van de Galgeplaat, bleven de NTU-waarden echter nog enkele weken verhoogd, mogelijk door opwerveling van sediment vanuit de stortlocatie. Na het schoonmaken (het ontdoen van begroeiing door organismen) van de sensoren werden nog steeds verhoogde waarden waargenomen in de Zandkreekgeul, vermoedelijk veroorzaakt door het onderwater uitvlakken van de bodem door de aannemer. In de monding van de Zandkreekgeul waren na het schoonmaken geen verhoogde waarden in turbiditeit meer te detecteren. Na de schoonmaakbeurt van de sensoren op 12 november 2021, ca. 3 weken na het afronden van de werkzaamheden, zijn weer normale daggemiddelden gemeten.

Op basis van het onderzoek is het niet aannemelijk dat de baggerwerkzaamheden invloed hebben gehad op de netto aanvoer van mosselen of het vleespercentage van de mosselen van de percelen rond de locaties van de bagger- en stortwerkzaamheden in de Oosterschelde. De gemiddelde netto aanvoer van mosselen van percelen rond de locaties van de bagger- en stortwerkzaamheden is ongeveer 16.8% van de totale aanvoer van mosselen. Het gemiddelde vleespercentage van de mosselen in de Oosterschelde over de periode van 2000-2023 is 25.1%. Het gemiddelde vleespercentage voor het seizoen 2022-2023 is 24.1%. Dit is lager dan het vorige seizoen (30.1%), maar vergelijkbaar met het seizoen 2020-2021 (25.4%). Op basis van de data is het niet aannemelijk dat de baggerwerkzaamheden invloed hebben gehad op het vleespercentage van de mosselen.

Op basis van de visuele inspecties uitgevoerd in de zomermaanden lijkt er geen extra slib te zijn afgezet op de oesterbroedinvangpercelen in de Zandkreek in de periode na de baggerwerkzaamheden. Na het uitzaaien van de collectorschelpen in 2020, vóór de baggerwerkzaamheden, werden er in het voorjaar 2021 op alle bemonsterde percelen een hoge hoeveelheid oesterbroed waargenomen. Na het uitzaaien van collectorschelpen in de zomer 2021, het jaar van het baggeren, waren er ruimtelijke verschillen te zien in de hoeveelheid waargenomen oesterbroed. Waar op het ene perceel net zo veel broedval te vinden was als het jaar ervoor, was op een ander perceel veel minder broedval dan het jaar daarvoor. Na het uitzaaien van collectorschelpen in 2022, het jaar ná het baggeren, zagen twee voor het eerst gemonitorde percelen bijna geen broedval, terwijl een ander perceel weer wel veel broedval had. Door deze inconsistentie van beschikbare data is het moeilijk te zeggen of er enige invloeden van de baggeractiviteiten zijn geweest. Wel zijn er op sommige percelen door de hele periode normale hoeveelheden sterfte en broedval gezien.



---

## 7 Kwaliteitsborging

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

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

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

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

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

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

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

---

# Literatuur

- Bagget, L. P., S. P. Powers, R. Brumbaugh, L. D. Coen, B. DeAngelis, J. Greene, B. Hancock en S. Morlock (2014) Oyster Habitat Restoration. Monitoring and Assessment Handbook. Arlington, VA, USA, The Nature Conservancy.
- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Kerstin, S., Embacher, S., Ruescas, A (2016) Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9-13 May 2016 in Prague, Czech Republic. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3, p.54
- Capelle, 2022. Memo Rondje percelen Oosterschelde in het kader van mosselsterfte 21 juli 2022.
- Capelle J. J., & van Stralen, M. R. (2017) Invang mosselzaad in MZIs, resultaten 2016. C044/17. Wageningen Marine Research, Yerseke.
- Capelle, J. J., Garcia, A. B., Kamermans, P., Engelsma, M. Y., & Jansen, H. M. (2021). Observations on recent mass mortality events of marine mussels in the Oosterschelde, the Netherlands. *Aquaculture International*, 1-15.
- Charles, M., Bernard, I., Villalba, A., Oden, E., Burioli, E. A., Allain, G., Trancart, S., Bouchart, V., & Houssin, M. (2020b). High mortality of mussels in northern Brittany—Evaluation of the involvement of pathogens, pathological conditions and pollutants. *Journal of invertebrate pathology*, 170, 107308.
- Diederich, S., G. Nehls, J.E.E. van Beusekom, K. Reise, 2005. Introduced Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in the northern Wadden Sea: invasion accelerated by warm summers? *Helgol Mar Res* (2005) 59: 97–106
- Hogeschool Zeeland (in prep.). Verbeteren invang en ontwikkeling oesterbroed <https://hz.nl/onderzoek/projecten/verbeteren-invang-en-ontwikkeling-oesterbroed>.
- Jansen, H., J. Capelle, M. Engelsma, 2019. Neoplasie in schelpdieren. Factsheet Q&A, December, 2019.
- Kamermans, P., Brummelhuis, E., Poelman, J., Gool, A. van, Troost, K., 2004. Onderzoek naar verbetering broedvangst oesters. RIVO C003/04.
- Korringa, P. 1946. The decline of natural oyster beds. *Basteria* 10, 36-41.
- KNMI. [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)
- Lebreton, C.; Stelzer, K., Brockmann, C., Bertels, L., Pringle, N., Paperin, M., Danne, O., Knaeps, E., Ruddick, K. Cloud and Cloud Shadow masking of high and medium resolution optical sensors –an algorithm inter-comparison example for Landsat 8. Proceedings of ESA Living Planet Symposium, Prague, 9-13 May 2016.
- Maathuis, M.A.M, J.W.P. Coolen, T. van der Have, P. Kamermans, 2020. Factors determining the timing of swarming of European flat oyster (*Ostrea edulis* L.) larvae in the Dutch Delta area: Implications for flat oyster restoration. *Journal of Sea Research*, Volume 156, January 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.101828>
- RWS, 2019. Memo Turbiditeitssensoren Roggenplaat. Voorstel omrekening meetwaarden naar concentraties. 9 oktober, 2019.
- MH Poly, 2019. Waterbodemonderzoek. Zandkreek te Kats. MH Poly Consultants & Engineers B.V., Rapport, 19 pagina's.
- Troost, K., 2010. Causes and effects of a highly successful marine invasion: Case-study of the introduced Pacific oyster *Crassostrea gigas* in continental NW European estuaries; *Journal of Sea Research* 145-165.
- Nechad et al., 2009. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters. *Proc. of SPIE Vol. 7473 74730H-1*. <https://doi.org/10.1117/12.830700>
- Nechad et al., 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>
- Van Duren, L., J. A. Cado van der Lelij, J. Hanssen, S. Gaytan Aguilar en T. Van Kessel (2019) Modelstudie effecten slibpluim Zandkreek. Deltares, Rapport nummer: 11203112-002-ZKS-0004, 43 pagina's.

- 
- Walles, B., R. Mann, T. Ysebaert, K. Troost, P.M.J. Herman, A.C. Smaal, 2015. Demography of the ecosystem engineer *Crassostrea gigas*, related to vertical reef accretion and reef persistence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 154, 224-233.
- Walne P.R, R. Mann, 1975. Growth and biochemical composition in *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. *Prc. 9th Europ. Mar. Biol. Scymp.* 587-607.
- Walne, P.R., Spencer, B.E., 1975. The introduction of the Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) into the United Kingdom.
- Wijsman, J.W.M, 2023. Risicomonitoring suppletie Roggenplaat. Monitoring effecten van de suppletie op nabijgelegen mosselkweekpercelen. Yerseke, april 2023.
- Wijsman, J.W.M., S.R. Smith (2020) Monitoringsplan bagger- en stortwerkzaamheden Zandkreekgeul. Wageningen Marine Research, Rapport, 45 pagina's.
- Wijsman, J.W.M., M. Kraan, 2017. Plan van aanpak risicomonitoring Roggenplaatsuppletie; Monitoring effecten op de nabijgelegen mosselkweekpercelen. Wageningen Marine Research Wageningen UR (University & Research centre), Wageningen Marine Research rapport C037.17. 51 blz.
- Wood, S.N., 2017. Generalized Additive Models. An introduction with R. 2nd Edition, 496 pgs.
- Ysebaert, T., B. Walles, J. Van der Werf, T. Van Kessel, L. De Vet, J. Hansen, L. Van Duren, T. Bouma en J. Stronkhorst (2020) Natuur Impuls Oosterschelde. Toepassingsmogelijkheden van slibrijk sediment voor de natuurbouw. Wageningen Marine Research, Rapport, 137 pagina's.

---

# Verantwoording

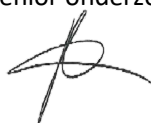
Rapport C072/23

Projectnummer: 43.131.001.40

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: Nathalie Steins  
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 17-11-2023

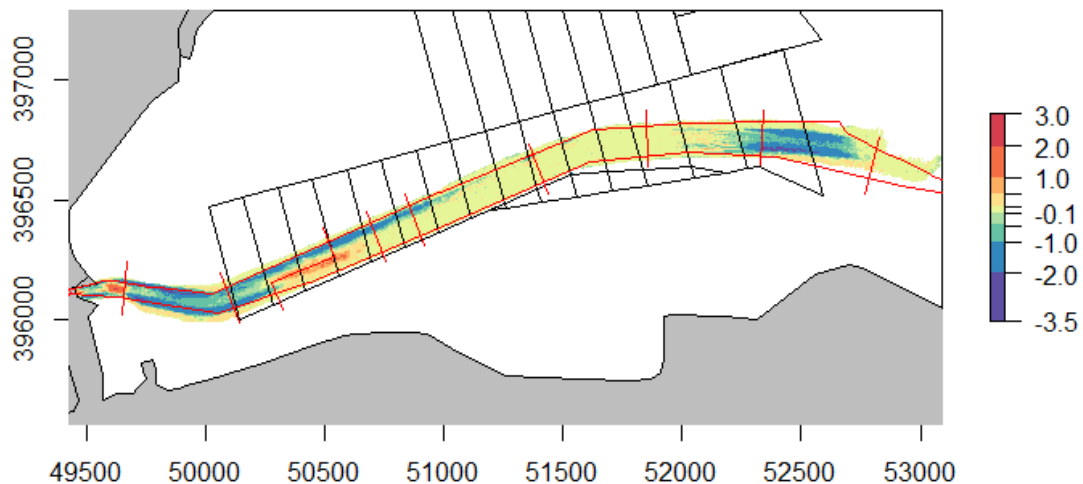
Akkoord: Tammo Bult  
Director

Handtekening:



Datum: 17-11-2023

## Bijlage 1 Vakindeling vaargeul



Bovenstaand figuur geeft het verschil in bodemhoogte (m) weer vóór en ná de werkzaamheden in de vaargeul met de vakindeling (rode vakken) zoals aangehouden door de aannemer. De vaknummering 1 t/m 7 loopt op van het westen naar het oosten van de Zandkreek.



# MONITORING VAN SLIBGEHALTE IN EN RONDE DE ZANDKREEK

Monitoring van slib in de Oosterschelde met behulp van satellietbeelden  
In opdracht van: Wageningen Marine Research (05-2022)



Annelies Hommersom, Lazaros Spaias, Steef  
Peters

[info@waterinsight.nl](mailto:info@waterinsight.nl)

---

# Inhoud

Inhoud.....	1
1    Introductie .....	2
2    Materiaal en methode .....	2
2.1    Satellietdata en voorbewerking .....	2
2.2    Wegknippen ondiepten .....	2
2.3    Validatie data en methode .....	3
2.4    zwevend stof en troebelheidskaarten .....	3
2.5    Portal en levering .....	4
3    Resultaten .....	4
4    Conclusies en aanbevelingen .....	8
5    Literatuur .....	8



# 1. Introductie

Wageningen Marine Research heeft in het kader van een project in de Zandkreek behoefte aan betere monitoring van slibgehalte in de Oosterschelde. Water Insight is gevraagd om slibkaarten (zwevend stof, ofwel total suspended matter (TSM) en troebelheid ofwel turbidity) te leveren, afgeleid van Sentinel-2 satellietdata, voor de periode oktober 2020 t/m april 2022. Tevens is er gevraagd om een kalibratie van de waarden in de slibkaarten met de waarden gemeten door 7 meetboeien (data aangeleverd door Wageningen Marine Research).

## 2. Materiaal en methode

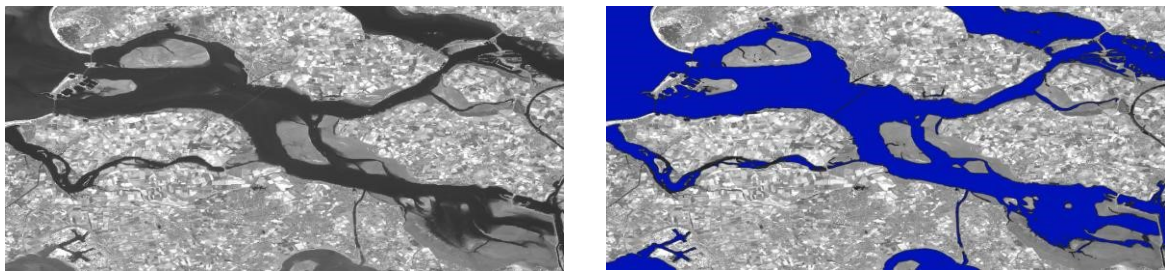
### 2.1 Satellietdata en voorbewerking

Sentinel-2 is een van de Europese Copernicus satellieten. De constellatie bestaat op dit moment uit Sentinel-2A en Sentinel-2B, die beide elke 10 dagen een opname maken. Door deze te combineren is de dus twee keer per 10 dagen een satellietbeeld beschikbaar, mits er geen bewolking is. Sentinel-2 heeft een optisch instrument aan boord (MSI) dat beelden maakt van 10 tot 60 meter resolutie, afhankelijk van de spectrale band (de kleur).

Ruwe Sentinel-2 data (L1) werd gedownload van de Sentinel API hub. Als voorbewerking zijn de wolken weg gefilterd met de IdePix tool (Lebreton et al, 2016). Ook is het noodzakelijk te corrigeren voor de effecten van de atmosfeer. Dit is gedaan met een neuraal netwerk dat onder andere is getraind op de Nederlandse kustzone (de C2RCC tool, Brockmann et al., 2016).

### 2.2 Wegknippen ondiepten

Het bleek dat op ondiepe locaties de bodem soms zichtbaar was voor de satelliet. Dit werd bevestigd door met een bio-optisch model de uitdovingscoëfficiënt ( $K_d$ ) van het licht bij 705nm te berekenen. Gebaseerd op TSM concentraties van 3-7 mg/l levert dat een  $K_d$ 705 van 1.2 m. Omgerekend is dat een Secchi diepte van 1 tot 1.5 meter. Aangezien de satelliet bij TSM berekeningen geen onderscheid kan maken tussen sediment in de waterkolom en sediment op de bodem leidde het bodemzicht tot zeer hoge concentraties berekend TSM. Om dit te voorkomen zijn de ondiepe locaties uit alle beelden weggeknipt.



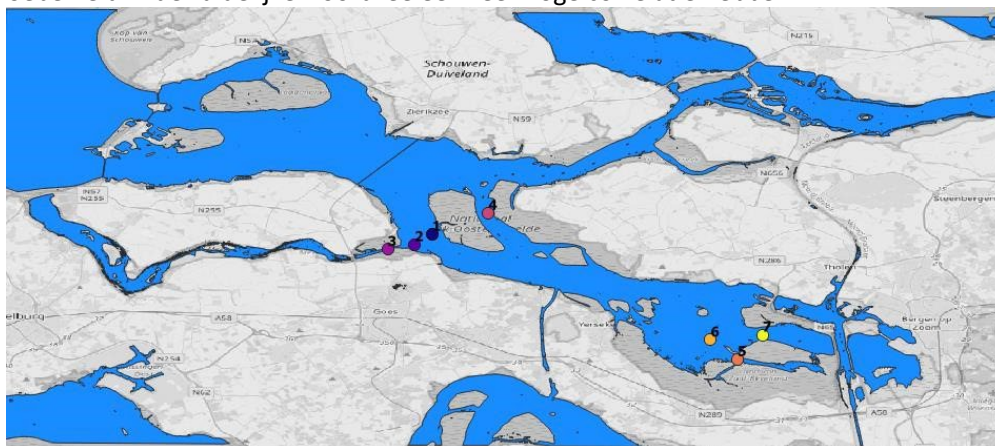
*Figuur 1 Kaart gebaseerd op het satellietbeeld van 31 mei 2021. Links alleen de nabij-infrarode band van de satelliet (705 nm), rechts met blauw aangegeven wat wordt gezien als water. Dit patroon werd gebruikt voor alle beelden om ondiepte weg te knippen.*

Het wegknippen is gedaan door een beeld te kiezen met laag water (31 maart 2021), en met behulp van een algoritme de wadplaten te vinden die boven water komen. Het patroon dat zo werd afgeleid uit dit satellietbeeld is vervolgens op alle beelden gebruikt om de opdiepten weg te knippen (Figuur 1).

### 2.3 Validatie data en methode

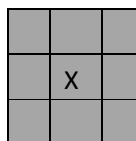
Als validatiedata werd gebruik gemaakt van de troebelheidsmetingen uit 7 meetboeien, die werden aangeleverd door opdrachtgever WMR (Figuur 2). Voor TSM waren geen in situ data beschikbaar voor validatie. TSM en troebelheid uit de satellietbeelden werden daarom beide gevalideerd met

de in situ troebelheidsmetingen. Dat is mogelijk omdat, zoals Nechad (2009) schrijft, TSM en troebelheid in de zuidelijke Noordzee een zeer hoge correlatie hebben.



*Figuur 2 Kaart van het in kaart gebrachte gebied, met in blauw het diepere water en de locaties van de meetboeien*

TSM en troebelheidsdata uit de satellietbeelden zijn gevalideerd met in situ ‘matchup’ troebelheidsdata. Voor troebelheid werd vervolgens dezelfde set data gebruikt om te tunen. ‘Matchup’ betekent een set metingen die gelijktijdig in tijd en ruimte werd gemeten. Voor de in situ data werd, vanwege de aanwezigheid van zowel ruis als variatie in de concentraties als gevolg van het tij, gewerkt met een gemiddelde van drie metingen: de meting 10 minuten vóór de overkomst van de satelliet, de meting die zo goed mogelijk tegelijk valt met de overkomst van de satelliet en de meting 10 minuten ná de overkomst van de satelliet. Omdat de meetboeien elke 10 minuten een meting deden betekent dit dat een gemiddelde troebelheid over 20 minuten werd gebruikt. Voor de satellietbeelden werd gewerkt met een extract van 3\*3 pixels rondom de locatie van de meetboeien (Figuur 3).



*Figuur 3 Illustratie van het gebruik van een pixelextract uit een satellietbeeld. In de middelste pixel (met een X) bevindt zich de meetboei. De 3\*3 pixels met de meetboei en er omheen worden gemiddeld.*

## 2.4 Zwevend stof en troebelheidskaarten

Zwevend stof of TSM werd afgeleid volgens de methode van Nechad (2010). Troebelheid werd afgeleid met het Nechad (2009) algoritme. Deze algoritmen zijn beide gebouwd op Belgische kustwateren, en daarom waarschijnlijk geschikt voor gebruik in de Oosterschelde. Ze zijn echter wel gekalibreerd met in reflecties gemeten met instrumenten op zeeniveau, niet met satelliet data. Uit validatie (verschillende literatuur) blijkt dat het niet altijd goed werkt, de grote onzekerheid zit dus in de atmosferische correctie. Het is daarom erg belangrijk om de resultaten met in situ gegevens te valideren en als nodig te tunen.

De hoogste correlatie met in situ troebelheid werd gevonden met TSM uit de satellietbeelden. De correlatie tussen deze twee is daarom gebruikt als tuning voor het troebelheidsalgoritme. Troebelheid werd getuned volgens vergelijking 1.

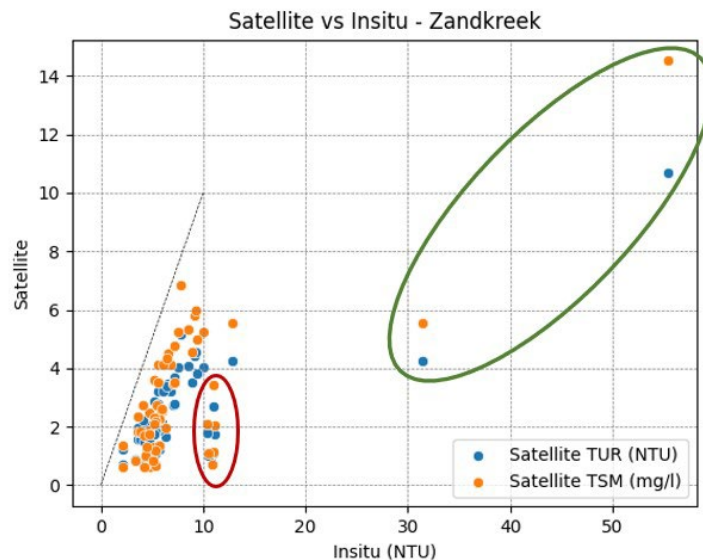
$$\text{Turbidity (S2)} = (\text{TSM-Nechad} + 1.06) / 0.667 \quad (\text{vergelijking 1})$$

## 2.5 Portal en levering

De TSM en troebelheidskaarten, beide met en zonder wegnippen van de ondiepe delen, zijn geupload in de Water Insight Lizard portal voor gemakkelijke toegang. In de portal werden ook de schelpdierkweekvelden toegevoegd. De TSM en troebelheidskaarten worden ook geleverd als geotif datafiles via een ftp server.

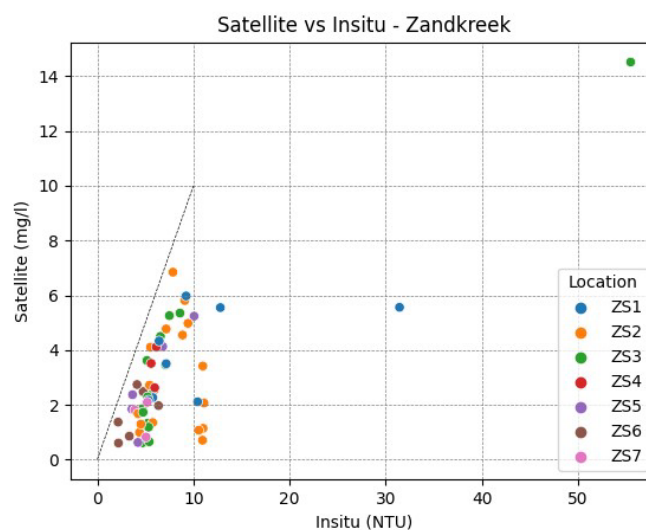
### 3 Resultaten

In totaal waren er matchups op 23 dagen (satellietbeelden waarop er ook minstens één boeimeting tegelijk was). Omdat de meeste satellietbeelden met meerdere boeien tegelijk een matchup vormden waren er totaal 58 matchups (boei met pixel). Figuur 4 laat de matchups tussen satelliet en meetboeien zien, met uit de satelliet afgeleide TSM en troebelheid via de Nechad algoritmen. De matchups van TSM liggen een fractie dichter bij de 1 op 1 lijn, maar de verschillen zijn niet groot. In zowel TSM als troebelheid zijn drie 'groepen' data te zien: de metingen die min of meer met elkaar correleren, twee matchups met troebelheid uit de meetboeien > 30 NTU (in de groene cirkel) en een serie metingen rond de 10 NTU volgens de meetboeien (in de rode cirkel).



Figuur 4 TSM en troebelheid met de Nechad algoritmen versus de in situ troebelheidsmetingen. In de groene cirkel matchups waarvoor de in situ data hoge NTU waarden geven, in de rode cirkel potentiële outliers.

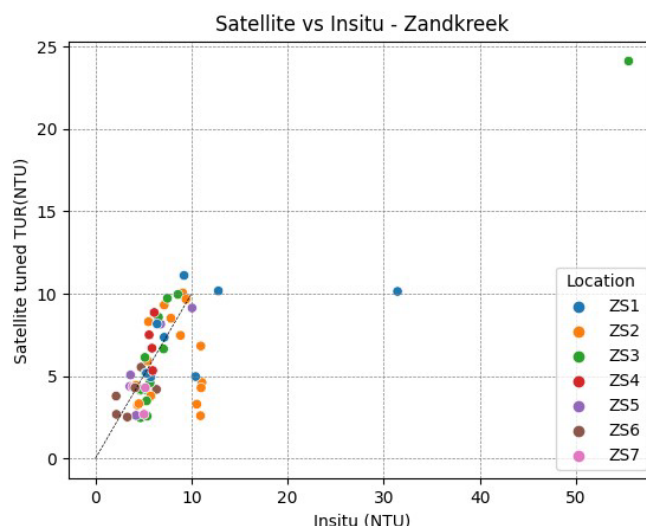
Om meer te weten te komen over de serie afwijkende metingen rond de 10 NTU hebben we de matchups voor TSM ook per meetboei geplot (Figuur 5). Het blijkt dat de vijf van de zes metingen afkomstig zijn van ZS2. Deze metingen in de rode cirkel van Figuur 4 zullen we verder beschouwen als outliers en daarom niet meenemen in het tunen.



Figuur 5 Matchups voor satelliet (TSM, Nechad algoritme) versus troebelheid (NTU) met kleuren met meetboei.

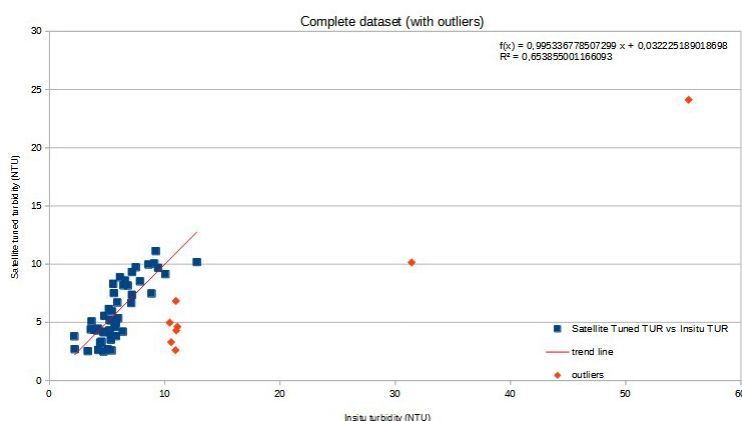
De dichtheid van de data bij de hoogste troebelheden (in de groene cirkel van Figuur 4) is te laag om een correlatie op af te leiden. Deze punten werden daarom ook niet meegenomen in het bepalen van de correlatieparameters en het tunen. Hierdoor kan het zijn dat het getunedede

troebelheidsalgoritme afwijkt bij hoge troebelheden. Er werd door het weglaten van de outliers en de hoogste troebelheden in de tuning op 50 matchups getuned.



Figuur 6 Troebelheid volgens uit de Sentinel 2 satelliet na het tunen, versus in situ troebelheid, per meetboei

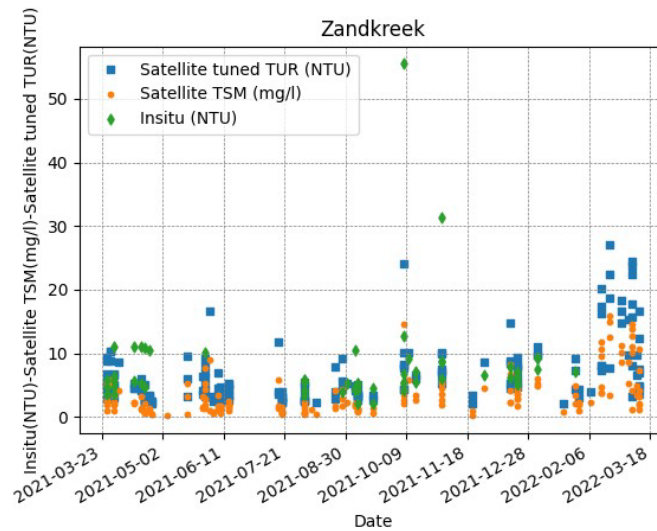
Na het tunen lag het grootste deel van de matchup punten logischerwijs rond de 1 op 1 lijn (Figuur 6). De regressieparameters (Figuur 7) laten zien dat de correlatie erg goed is als de outliers en de twee hoogste troebelheidsmetingen niet worden meegenomen.



Figuur 7 Correlatie tussen uit de Sentinel 2 satelliet na het tunen en de in situ troebelheid, met in rood aangeven de punten die niet zijn meegenomen in de regressie

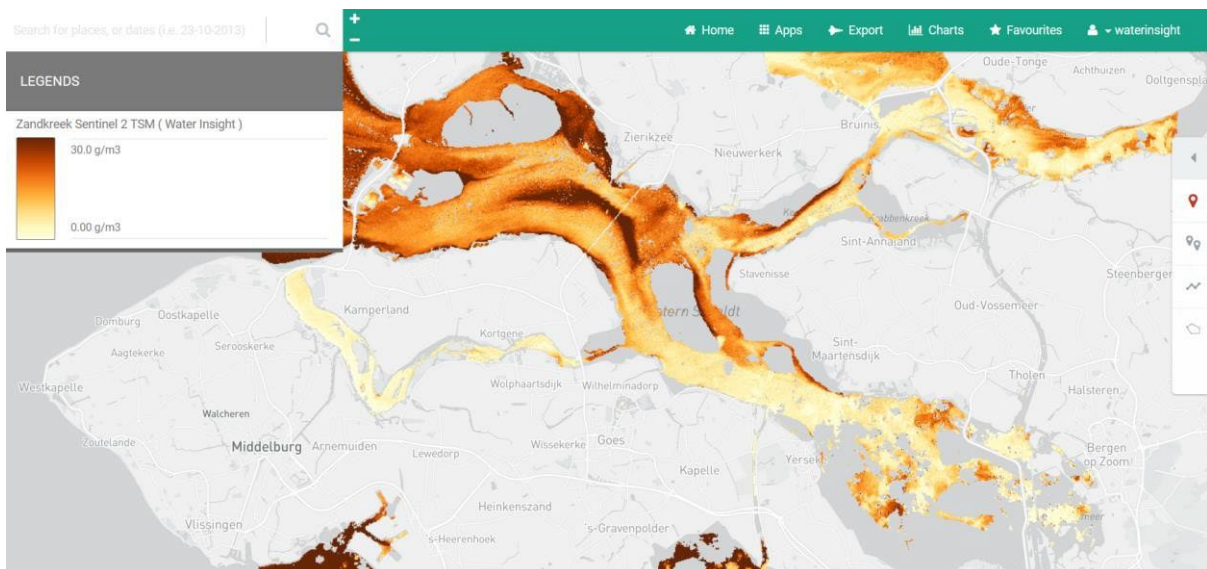
Een andere manier om de resultaten van de matchups tussen meetboeien en satelliet te tonen is als tijdserie (Figuur 8). Op de meeste data dat de satelliet over kwam zijn er matchups tussen de satelliet en meerdere meetboeien, daarom zijn er voor de meeste momenten verschillende metingen. In deze plot zijn ook de outliers en de veel hogere concentraties terug te vinden.



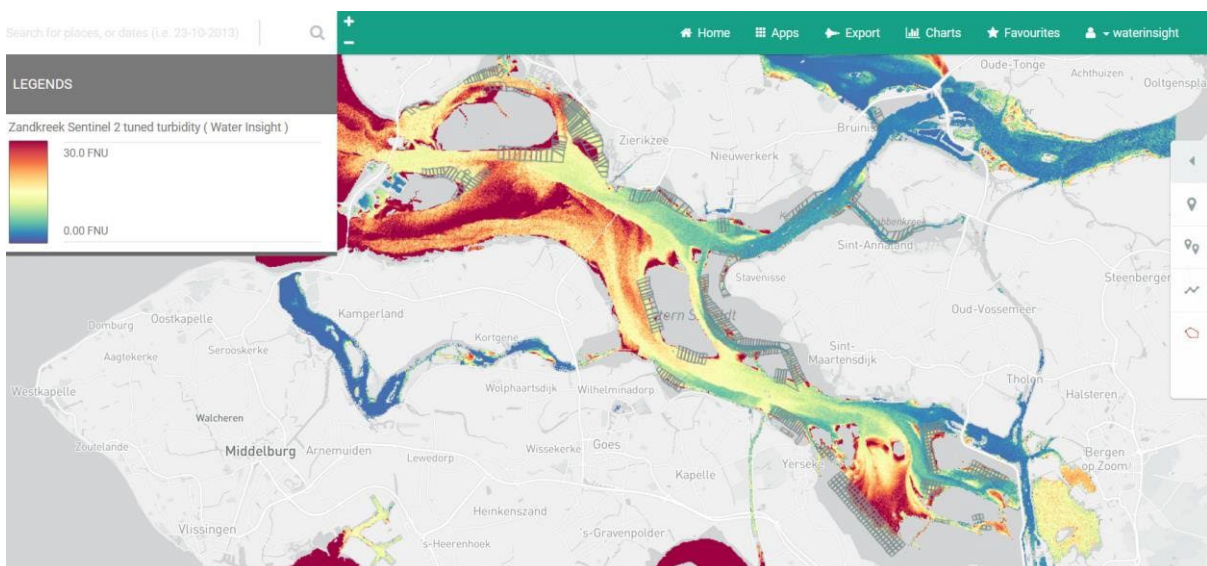


*Figuur 8 Tijdserie van alle matchups*

Een paar voorbeeldkaarten uit de portal zijn te vinden in Figuur 9 (TSM) en Figuur 10 (troebelheid).

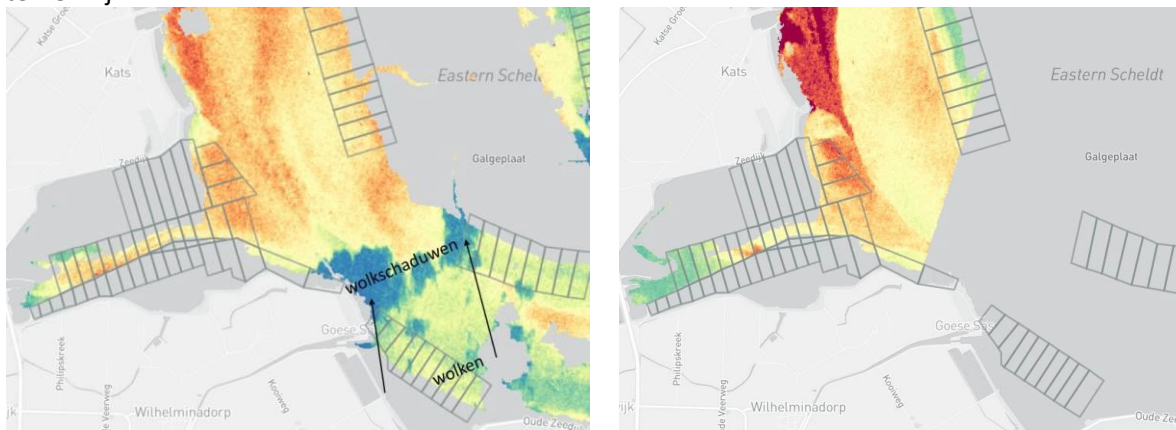


*Figuur 9 Voorbeeld kaart van TSM uit de portal, 11 maart 2021*



*Figuur 10 Voorbeeld kaart van troebelheid uit de portal, 6 maart 2022, met de mosselvelden er bij.*

In Figuur 11 is te zien dat er tot een behoorlijke periode na een storm nog verschillen in troebelheid te zien zijn.



Figuur 11, troebelheid voor (14 februari) en na (27 februari) de stormen van februari 2022.

## 4 Conclusies

Kaarten van TSM en troebelheid voor de Oosterschelde zijn afgeleid uit de Sentinel 2 satelliet. Omdat bodemzicht door de satelliet de resultaten waarschijnlijk beïnvloedde zijn de ondiepe locaties weggeknijpt.

Gebaseerd op de correlatie met in situ meetboeidata is het algoritme voor troebelheid getuned voor het gebied. De resulterende kaarten zijn geleverd via de Water Insight Lizard portal en een beveiligde ftp server. De kaarten helpen om inzicht te krijgen in ruimtelijke patronen van troebelheid en effecten van de werkzaamheden in de Zandkreek, maar ook van bijvoorbeeld een storm.

---

## 5 Literatuur

- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Kerstin, S., Embacher, S., Ruescas, A (2016) Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9-13 May 2016 in Prague, Czech Republic. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3, p.54
- Lebreton, C.; Stelzer, K., Brockmann, C., Bertels, L., Pringle, N., Paperin, M., Danne, O., Knaeps, E., Ruddick, K. Cloud and Cloud Shadow masking of high and medium resolution optical sensors –an algorithm inter-comparison example for Landsat 8. Proceedings of ESA Living Planet Symposium, Prague, 9-13 May 2016.
- Nechad et al., 2009. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters. Proc. of SPIE Vol. 7473 74730H-1. <https://doi.org/10.1117/12.830700>
- Nechad et al., 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>



---

•

---

Wageningen Marine Research

T: +31 (0)317 48 70 00

E: [marine-research@wur.nl](mailto:marine-research@wur.nl)

[www.wur.nl/marine-research](http://www.wur.nl/marine-research)

Bezoekers adres:

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

---

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



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