

## Morfologie vaargeul van Scheveningen

Sedimentatie in relatie tot suppleties en natuurlijke condities



## **Morfologie vaargeul van Scheveningen**

Sedimentatie in relatie tot suppleties en natuurlijke condities

### **Auteur(s)**

Tim Leijnse

Bas Huisman

## Morfologie vaargeul van Scheveningen

Sedimentatie in relatie tot suppleties en natuurlijke condities

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Carola van Gelder
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Zandmotor, Morfologie, vaargeul, aanzanding, haven Scheveningen, haven Rotterdam, Van der Burg gemaal, Delfland, Delft3D

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	09-03-2021
<b>Projectnummer</b>	11201431-000
<b>Document ID</b>	11201431-000-ZKS-0015
<b>Pagina's</b>	43
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Tim Leijnse	
	Bas Huisman	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Tim Leijnse	Pieter Koen Tonnon	Toon Segeren	
	Bas Huisman			

# Samenvatting

In het kader van het project Monitoring Zandmotor 2017-2021 wordt onderzoek uitgevoerd naar de effecten van de Zandmotor op de zandbalans en morfologie van de omliggende kust en duinen. Hiervoor is het tevens van belang om een inschatting te maken van een eventuele invloed op de vaargeulen van Scheveningen en Rotterdam. Een mogelijke aanzanding zou namelijk het baggerbezwaar bij beide havens kunnen beïnvloeden en de capaciteit om water te spuien bij Monster. De natuurlijke variaties in de aanvoer van sediment zijn ook van belang. Doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de relatieve bijdrage van suppleties en natuurlijke processen aan de aanzanding van de vaargeul van Scheveningen.

Voor dit onderzoek zijn numerieke simulaties met Delft3D gemaakt om de aanzanding van de vaargeul te onderzoeken voor een situatie voorafgaand aan de kustversterking Delflandse kust van 2008, een situatie na deze kustversterking in 2010 (maar voor de Zandmotor) en de situatie na aanleg van de Zandmotor eind 2011. Voor elk van de situaties is dezelfde tijdserie van 5 jaar doorgerekend. Ook zijn er 72 representatieve condities doorgerekend die inzicht geven in welke condities sterke invulling van de vaargeul van Scheveningen veroorzaken.

In de modelstudie kon geen duidelijke extra aanzanding worden vastgesteld van de toegangsheuvel van Scheveningen als gevolg van de Zandmotor. De kustversterking van de Delflandse kust heeft daarentegen wel enig effect op de aanzanding in de vaargeul van Scheveningen. De meest bepalende factor is echter de jaarlijkse variatie in de golfcondities waardoor de verspreiding van zand langs de Delflandse kust sterk kan variëren. En als gevolg daarvan kan ook de aanzanding van de vaargeul van de haven van Scheveningen per jaar sterk verschillen. Op de lange-termijn kan er wel enige invloed zijn van de Zandmotor op de aanzanding van de vaargeul, maar verwacht wordt dat het effect niet groter zal zijn dan van de kustversterking Delflandse kust én kleiner dan de jaarlijkse variabiliteit. De simulaties laten zien dat aanzanding van de kust ter plaatse van de uitlaat van het J.J.J.M. van der Burg gemaal vooral gerelateerd is aan de zuidwestelijk van de Zandmotor geplaatste vooroeversuppletie en de kustversterking. Invloed op de vaargeul van de haven van Rotterdam werd niet gevonden.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>6</b>
1.1	Achtergrond	6
1.2	Doelen Zandmotor	7
1.3	Evaluatievragen	7
1.4	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Methodiek</b>	<b>9</b>
2.1	Introductie	9
2.2	Studiegebied	9
2.3	Gebaggerde volumes haven Scheveningen	11
2.4	Model en scenario's	13
2.4.1	Modelbeschrijving	13
2.4.2	Hydrodynamica	15
2.4.3	Morfologie	16
2.4.4	Sediment	18
2.4.5	Scenario's	18
2.5	Analyses en technieken	19
2.6	Beantwoording evaluatievragen	20
<b>3</b>	<b>Modelberekeningen</b>	<b>21</b>
3.1	Introductie	21
3.2	Hydrodynamica	21
3.3	Sediment transport en bodemverandering	22
3.4	Snelheid van invulling havengeul Scheveningen in relatie tot golfcondities	27
3.5	Aanzanding van de vaargeul	31
3.5.1	Aanzanding vaargeul van Scheveningen	31
3.5.2	Aanzanding haven Rotterdam	35
3.5.3	Beoordeling verzanding uitlaat Van der Burg gemaal	36
3.6	Discussie	37
<b>4</b>	<b>Conclusies en toetsing evaluatievragen</b>	<b>39</b>
4.1	Conclusies	39
4.2	Toetsing evaluatievragen	39
4.2.1	Evaluatievraag EF4-5a : Aanzanding toegangsgeulen havens	39
4.2.2	Evaluatievraag EF4-5b : Verzanding uitlaat Van der Burg gemaal	40
4.2.3	Evaluatievraag EF2-3a : Spin-off kennis	40

# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

Tussen mei en juli 2011 is de grootschalige 'Zandmotor' suppletie aangelegd langs de Delflandse kust. Deze suppletie is gericht op het versterken van de kust door het aanbrengen van zand in het lokale kuststelsel om de verwachte toekomstige onderhoudsbehoefte te dekken. Met de Zandmotor kan tevens meer recreatie en natuurgebied worden gecreëerd.

De Zandmotor is aangelegd als een haakvormige suppletie van 18,7 miljoen m<sup>3</sup> zand welke aangevuld is met vooroeversuppleties aan beide zijden van de haak met een volume van respectievelijk 500,000 m<sup>3</sup> (noordzijde) en 2 miljoen m<sup>3</sup> (zuidzijde). In totaal gaat het dan om ruim 21 miljoen m<sup>3</sup> gesuppleerd zand. Het extra verkregen oppervlak boven MSL (bestemd voor recreatie en natuur) was na aanleg van de zandmotor circa 128 hectare.



*Figuur 1.1 Zandmotor na aanleg in Oktober 2011 (Rijkswaterstaat / Joop van Houdt)*

Aan de noordzijde van de Zandmotor is landwaarts van de 'haak' een lagune aanwezig, waar de beschutte ligging tegen golven en stroming zorgt dat er andere types ecologische habitat ontstaat dan op de onbeschermde kust. Tevens is een duinmeer aangelegd. Door de tijd heen wordt het zand van de Zandmotor langs de kust verspreid, waardoor ook de aanliggende kust versterkt wordt. Ook vindt er duinvorming plaats aan de landwaartse kant van de Zandmotor.

Deze studie verkent een eventuele invloed van de Zandmotor op de natte infrastructuur. Dit omvat zowel de vaargeulen van Scheveningen als de Nieuwe Maas en ook de spui locatie van J.J.J.M. van der Burg gemaal bij Monster. Een mogelijk aanzanding zou namelijk het baggerbezwaar bij kunnen beïnvloeden of de capaciteit om water te spuien. Gezien de zandige samenstelling van de Zandmotor ligt hierbij de focus op het transport van zand naar de vaargeul.

## 1.2 Doelen Zandmotor

In de Projectnota / MER Zandmotor Delflandse Kust (PZH, 2010) zijn de volgende doelstellingen geformuleerd:

- I. Stimuleren van natuurlijke duinaangroei in het kustgebied tussen Hoek van Holland en Scheveningen. Deze duinaangroei dient verschillende functies namelijk, veiligheid, natuur en recreatie;
- II. Genereren van kennisontwikkeling en innovatie om de vraag te beantwoorden in welke mate kustonderhoud en meerwaarde voor recreatie en natuur gezamenlijk te realiseren zijn;
- III. Toevoegen van een aantrekkelijk –tijdelijk- recreatie- en natuurgebied aan de Delflandse kust.

Aanvullend is ook een vierde doel geformuleerd welke zich richt op het 'beheer van de Zandmotor en omgeving', waarvoor ook deze deelstudie informatie levert. Hierbij gaat het om recreatieveiligheid, verenigbaarheid van recreatie en natuur doelen en om het voorkomen van ongewenste invloed op het grondwater, natuurwaarden van het bestaande duin of aanwezige natte infrastructuur.

## 1.3 Evaluatievragen

Ten behoeve van de concrete toetsing van de effecten van de Zandmotor zijn er evaluatievragen opgesteld die beschreven zijn in het Uitvoeringsprogramma (UVP) Monitoring en Evaluatie pilot Zandmotor (Tonnon et al, 2011) en recent enigszins bijgesteld om de vragen beter toetsbaar te maken (Taal et al., 2017; Huisman, 2018) wat onder andere betekende dat hypothesen zijn omgeschreven tot sub-evaluatievragen. De evaluatievragen hebben betrekking op 1) kustveiligheid, 2) fysische / ecologische kennisontwikkeling en innovatie, 3) het creëren van hoogwaardige natuur- en recreatiegebieden en 4) het beheer van het gebied (i.e. effecten van de Zandmotor op recreatieveiligheid, de natuurlijke omgeving, grondwater en infrastructuur). Om onderbouwde antwoorden te geven op de evaluatievragen is een monitoringprogramma opgesteld (Tonnon et al, 2011). Het monitoringprogramma beschouwd de morfologie, hydrodynamica, grondwater, sedimentsamenstelling, ecologie (vegetatie, bodemdieren en vogels), gebruik / recreatie en zwemveiligheid.

Deze rapportage richt zich op het onderbouwen van evaluatievraag EF 4-5 welke betrekking heeft op ongewenste effecten op de natte infrastructuur.

*EF4-5: Zijn er ongewenste effecten van de Zandmotor voor de natte infrastructuur en kunnen deze worden voorkomen met beheersmaatregelen?*

Deze vraag richt zich zowel op de toegangseuven van de havens (EF4-5a) als op de spuilocatie van het J.J.J.M. van der Burg gemaal (EF4-5b):

*EF4-5a: Is er extra aanzanding van de toegangseuven van de havens van Rotterdam en Scheveningen die aan de Zandmotor toegeschreven kan worden?*

*EF4-5b: Is er verzanding van de uitlaat van het J.J.J.M. van der Burg gemaal die aan de Zandmotor toegeschreven kan worden?*

Daarnaast is de spin-off van kennis voor toekomstige projecten van belang, aangezien op basis van deze studie kan worden vastgesteld waarop gelet moet worden bij toekomstige maatregelen (EF2-3a).

*EF2-3a: In hoeverre is de ontwikkelde kennis en methodologie breder toepasbaar voor het ontwikkelen van zandige strategieën en innovaties daarin?*

## 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de methodiek die gebruikt wordt voor de analyse van de invloed van de suppleties en natuurlijke condities op de verzanding van de toegangsheulen van de havens van Scheveningen en Rotterdam. De gebruikte model opzet, representatieve condities en toegepaste numerieke modellen worden beschreven. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van de numerieke modellen en de analyse van de oorzaken van aanzanding. De conclusies en de vertaling naar de evaluatievragen vindt plaats in Hoofdstuk 4.



## 2 Methodiek

### 2.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt de toegepaste methodiek voor het beantwoorden van de evaluatievragen worden uitgewerkt en toegelicht. Dit betreft ten eerste een meer gedetailleerde beschrijving van het studiegebied (Paragraaf 2.2) en de historische gegevens over gebaggerde volumes in de haven van Scheveningen (Paragraaf 2.3). Vervolgens worden het model en de gebruikte scenario's verder toegelicht in Paragraaf 2.4. Ten slotte worden de uitgevoerde analyses en technieken toegelicht in Paragraaf 2.5. Op basis hiervan zullen de opgestelde evaluatievragen worden beantwoord (Paragraaf 2.6).

### 2.2 Studiegebied

Het studiegebied beslaat de Delflandse kust wat de zuidelijkste sectie is van de Hollandse kust tussen Hoek van Holland en Scheveningen (afstand ~16,5 km). De kust bestaat uit een redelijk uniforme, geleidelijk aflopend kustprofiel met 1 of 2 zandbanken dicht bij de kust. De breedte van het duingebied varieert van een smalle zone met duinen (150 tot 250 m) in het middendeel van de Delflandse kust tot een breder duingebied (500 m breed) bij hoek van Holland en net noordelijk van de Zandmotor.

Eerdere studies naar het sediment transport langs de Hollandse kust hebben laten zien dat er een jaargemiddeld noordwaartse sediment transport op de Delflandse kust ~170,000 m<sup>3</sup>/jaar is (Van Rijn, 1997). Echter tussen verschillende jaren kan dit variëren van 50,000 tot 300,000 m<sup>3</sup>/jaar (Huisman et al., 2019). Bij Hoek van Holland wordt het kustlangse zand transport volledig geblokkeerd door de golfbrekers behorend bij de haven van Rotterdam. Aan de Noordkant bij Scheveningen is er echter wel bypass van zand langs de golfbrekers mogelijk doordat deze minder ver de zee in reiken.

De ruimtelijke variatie in het golfklimaat langs de Hollandse kust is klein en wordt gekarakteriseerd door een duidelijke zomer en winter seizoensafhankelijkheid met gemiddelde diep water golfhoogtes [H<sub>s</sub>] van respectievelijk 1.7 en 1m (Wijnberg, 2002). De hoogste golven (H<sub>s</sub> > 4.5m) komen voornamelijk uit het westen en noordwesten. Gemiddelde golven (1.5 m < H<sub>s</sub> < 3.5 m) komen zowel uit het noord- als zuidwesten en kleine golven (H<sub>s</sub> < 1 m) komen voornamelijk uit het zuidwesten. Het zijn deze golven in samenwerking met wind en getij die de vervorming van de Zandmotor veroorzaken. In 2018 was zo'n 3.5 miljoen m<sup>3</sup> zand geërodeerd van de initiële vorm van de Zandmotor, voornamelijk door golfgedreven stroming.

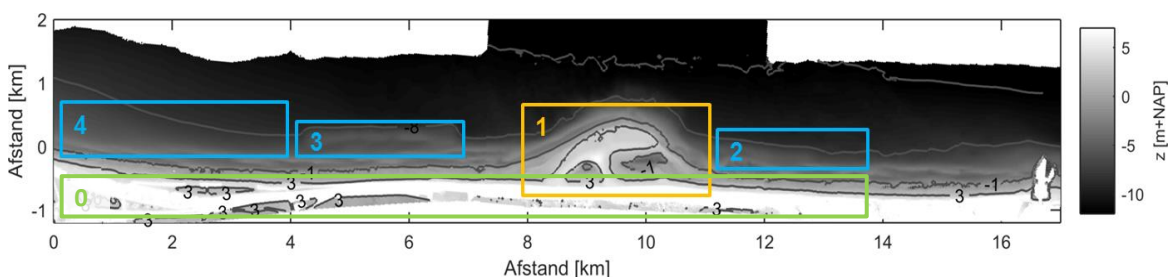
Analyses hebben aangetoond dat de 12 sterkste stormen qua golfimpact in het eerste jaar zorgden voor zo'n 60% van de totaal geobserveerde erosie (Luijendijk et al, 2017; Tonnon et al., 2018). De middelsterke golfcondities (H<sub>s</sub> tussen 2-3 m), die vaker voorkomen, hebben hierbij ongeveer evenveel effect op de erosie van de Zandmotor als de storm condities. In 2018 heeft het meest zeewaartse deel van de Zandmotor zich ongeveer 300 m teruggetrokken in landwaartse richting sinds de aanleg in 2011. In dezelfde periode heeft het invloedsgebied van de Zandmotor zich in kustlangse richting tot zo'n 6 km verspreid.

In dit studiegebied zijn recent twee ingrijpende aanpassingen gedaan met de kustversterking Delflandse kust in de periode 2007 tot 2010, waarbij de duinen aanzienlijk zeewaarts zijn verplaatst (~60 m, zie 0 in Tabel 2.1 en Figuur 2.1). Daarnaast is de Zandmotor aangelegd tussen maart en september 2011 (1 in Tabel 2.1 en Figuur 2.1) door 17 miljoen m<sup>3</sup> aan te brengen. Vlak daarna is met twee vooroeversuppleties van 0.5 miljoen m<sup>3</sup> en 2 miljoen m<sup>3</sup> (respectievelijk 2 en 3 in Tabel 2.1 en Figuur 2.1) het

onderwaterfundament verstevigt. In 2013 is er ter hoogte van Hoek van Holland een vooroeversuppletie van 1.5 miljoen m<sup>3</sup> uitgevoerd (4 in Tabel 2.1 en Figuur 2.1), dit is in deze studie niet beschouwd.

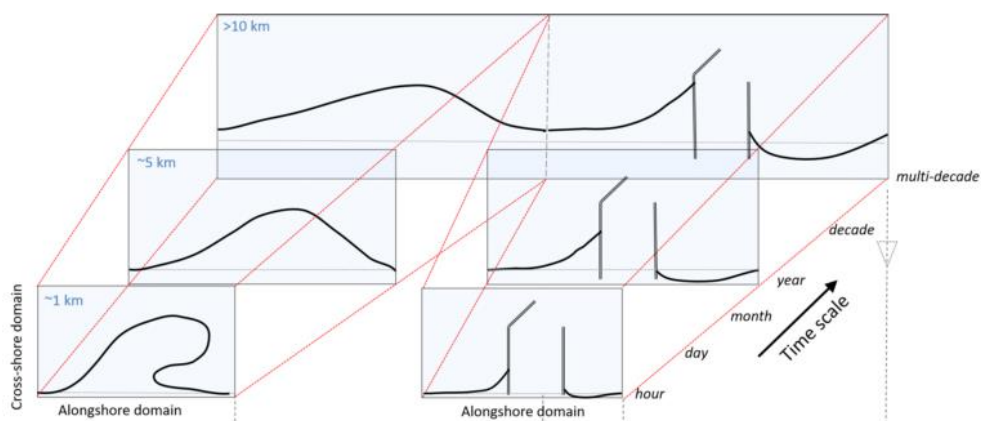
Tabel 2.1 Suppleties uitgevoerd in Delfland voor de periode van 2011 tot 2018 (Huisman et al., 2019).

	Locatie	Datum	Volume [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	Lengte [m]	Type
0	Kustversterking Delflandse kust	04/2007 – 03/2010	17.0	13500	Duin
1	Kijkduin-Ter Heijde	03/2011 – 08/2011	18.7	1890	Strand
2	Kijkduin-Ter Heijde	06/2011 – 09/2011	0.5	2160	Vooroever
3	Kijkduin-Ter Heijde	07/2011 – 10/2011	2.0	2180	Vooroever
4	Hoek van Holland	07/2013 – 10/2013	1.5	4000	Vooroever



Figuur 2.1 De locatie van de uitgevoerde suppleties in Delfland van 2011 tot 2018 (Huisman et al., 2019).

Deze suppleties en aanpassingen zijn van belang vanwege het jaarlijkse langstransport in Noordwaartse richting, waardoor genoemde ingrepen een effect noordwaarts kunnen hebben ter hoogte van de haven van Scheveningen. Dit is geïllustreerd in Figuur 2.2 waar te zien is dat de ruimtelijke invloed van de Zandmotor in de loop der tijd steeds minder lokaal wordt en de haven van Scheveningen kan bereiken. De afstand tussen beide is ongeveer 6,5 km. Dit zou er voor kunnen zorgen dat er meer bypass van zand bij de golfbrekers van de haven van Scheveningen plaatsvindt (momenteel ~200,000 m<sup>3</sup>/jaar). Dit zal daarbij ook een effect hebben op de invulling van de vaargeul van de haven en de daarbij behorende volumes die gebaggerd moeten worden.



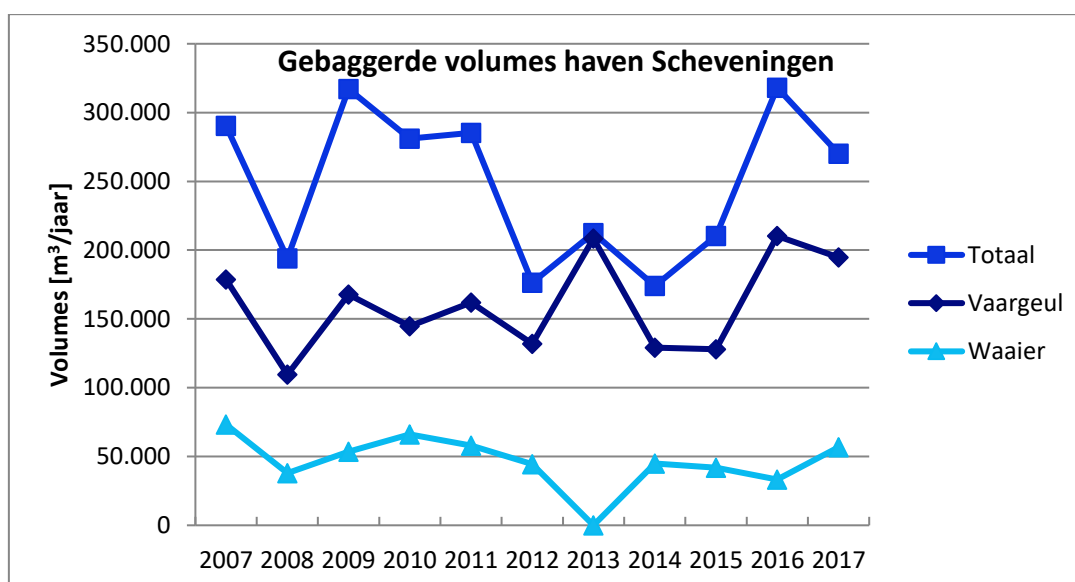
Figuur 2.2 Conceptuele illustratie morfologische verandering Zandmotor en relatie met haven Scheveningen, uitsnede figuur uit (Luijendijk et al., 2019)

## 2.3 Gebaggerde volumes haven Scheveningen

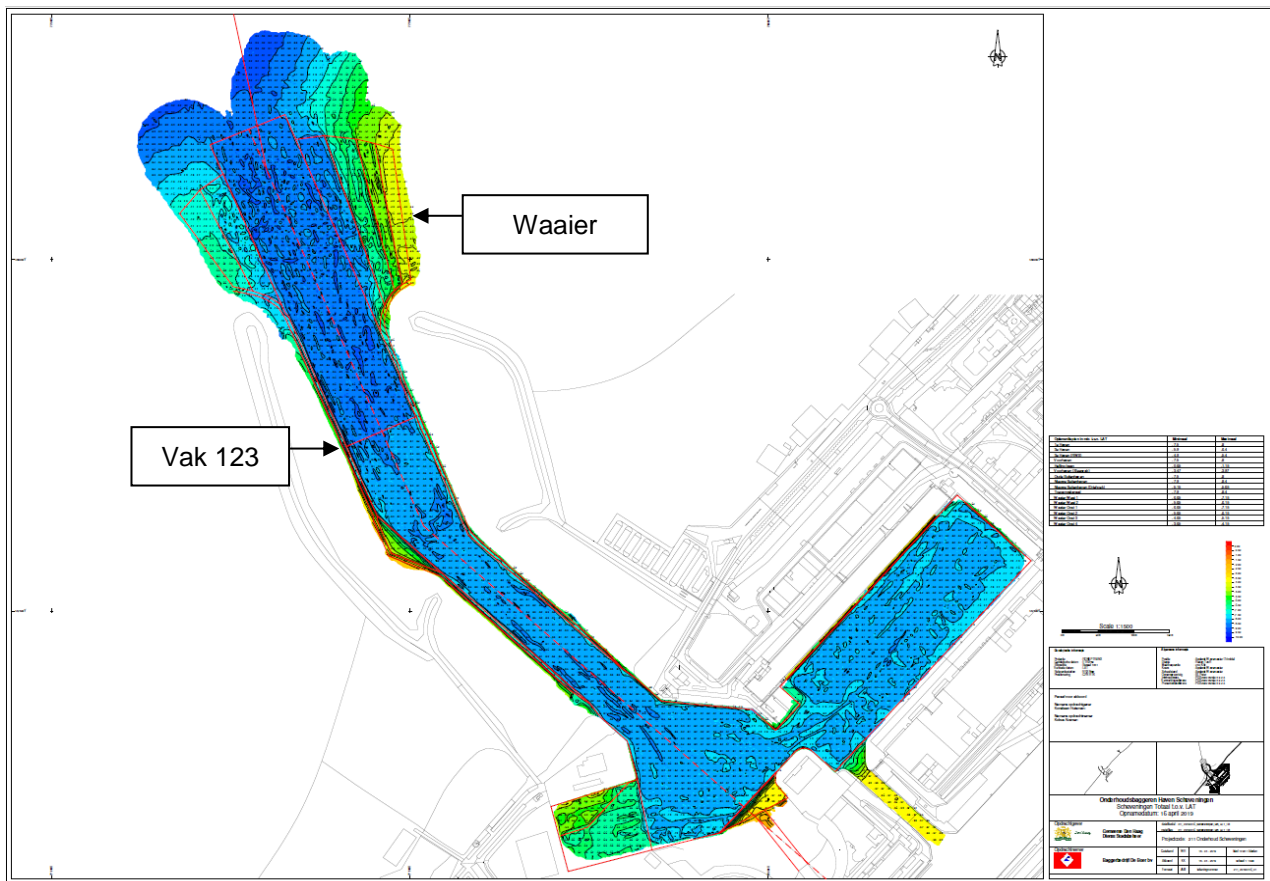
De gemiddelde hoeveelheid sediment die jaarlijks in de gehele haven gebaggerd wordt is ongeveer 250,000 m<sup>3</sup>/jaar voor de gehele haven (zie Tabel 2.2 ). Voor dit onderzoek wordt er voornamelijk gekeken naar de invulling van de vaargeul, bestaande uit vakken 1, 2 en 3 (toegang, (oude) buitenhaven en zwaairom). Hierbij wordt de gebaggerde hoeveelheid sediment uit vak 1A (de waaier, zie Figuur 2.4) niet meegenomen, dit komt overeen met de model opzet van (Luijendijk et al., 2019) voor waar sediment gebaggerd wordt. Deze hoeveelheden worden hiervan afgetrokken. De gebaggerde hoeveelheden sediment zijn niet elk jaar hetzelfde maar hebben een bepaalde natuurlijke variabiliteit (Figuur 2.3). Enerzijds komt dit door de variabiliteit in het golfklimaat met bijvoorbeeld het aantal stormen per jaar dat varieert of de richting waaruit ze komen. Anderzijds komt dit ook door verschillen in gemaakte keuzes waar en hoeveel precies te baggeren en in welk moment in het jaar deze uitgevoerd zijn (precieze uitvoerdatum van elk jaar niet bekend). De volumes variëren in totaal tussen 175,000 en 320,000 m<sup>3</sup>/jaar (+/- 30%).

Tabel 2.2 Uitgevoerde gebaggerde volumes voor de haven van Scheveningen per jaar opgedeeld per sectie haven (De Boer B.V., 2017).

Vakken	1,2&3	4	1A	5	
Jaar	Vaargeul	1e haven	waaier	3e haven	Totaal
2007	178.608	38.393	73.282	0	290.283
2008	109.531	46.692	37.840	0	194.063
2009	167.804	95.862	53.513	0	317.179
2010	144.736	70.371	66.075	0	281.182
2011	161.910	65.423	58.033	0	285.366
2012	131.926	0	44.472	0	176.398
2013	208.419	4.080	0	0	212.499
2014	129.035	0	44.909	0	173.944
2015	127.895	40.688	41.858	0	210.441
2016	210.245	74.508	33.352	0	318.105
2017	194.699	18.119	56.796	500	270.114
Gemiddeld/jaar	<b>160.000</b>		<b>46.000</b>		<b>250.000</b>



Figuur 2.3 Uitgevoerde gebaggerde volumes voor de haven van Scheveningen per jaar (De Boer B.V., 2017).

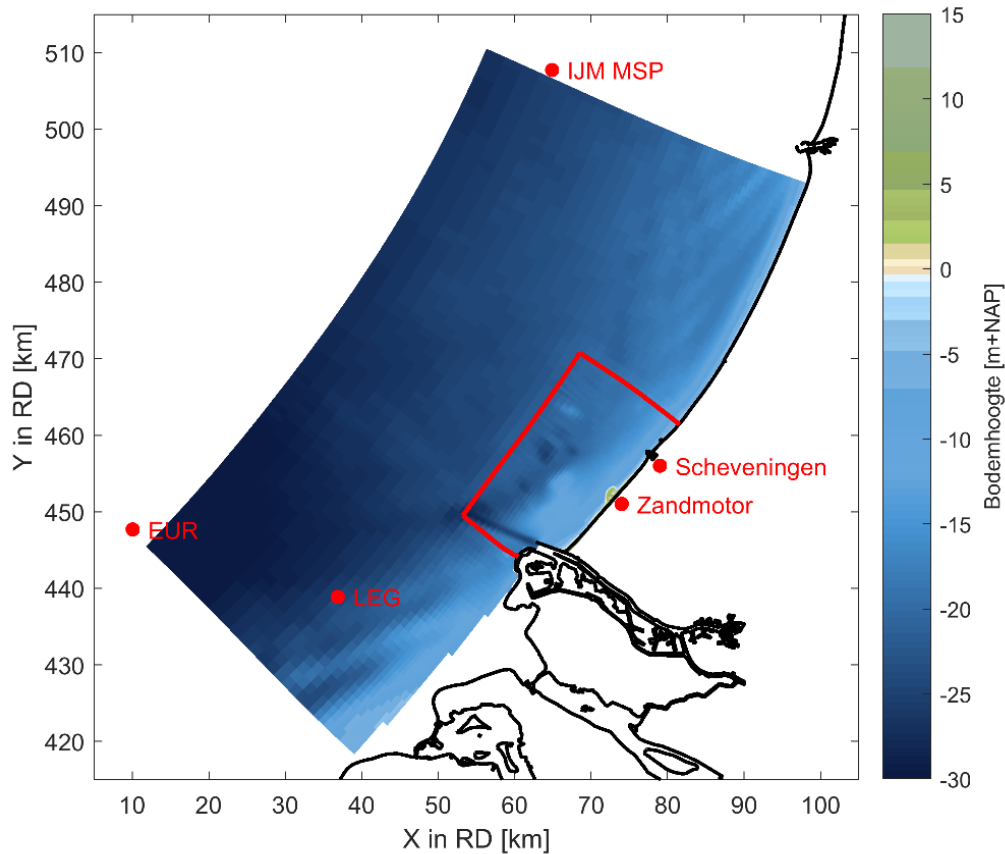


Figuur 2.4 Overzichtskaart onderhoudsbaggeren Haven Scheveningen, April 2019 (De Boer B.V., 2019). Aangegeven is de algemene vaargeul in rood met pijl 'Vak 123' en overgangsgebied van de 'Waaier', ook bekend als 'Vak 1A'.

## 2.4 Model en scenario's

### 2.4.1 Modelbeschrijving

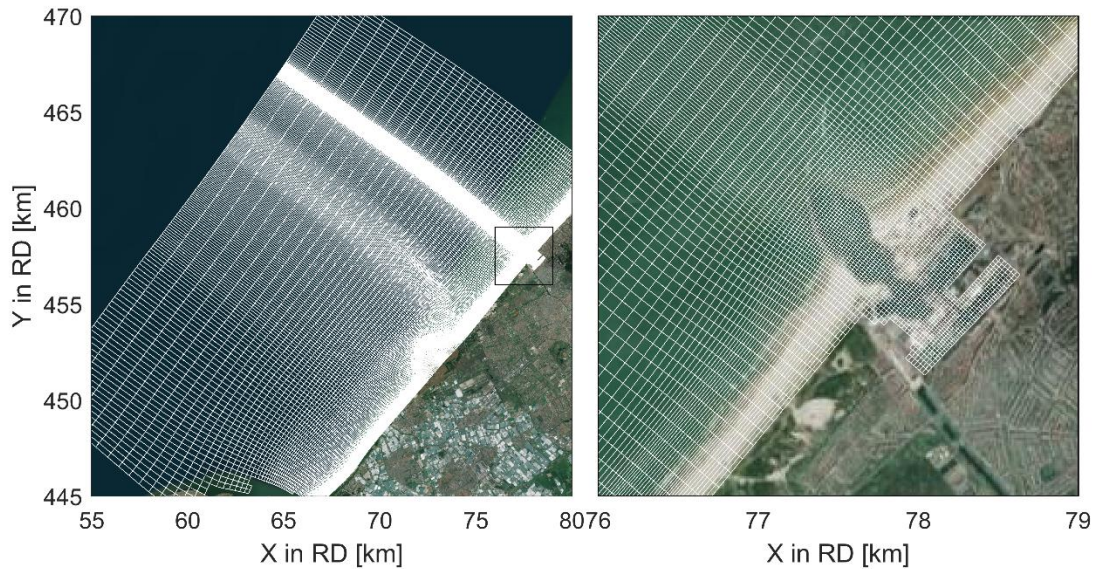
Voor deze modelstudie is het proces gebaseerde model Delft3D (Lesser et al., 2004) gebruikt om hydrodynamica, golven, sediment transport en morfologie door te rekenen onder invloed van getij, wind en golf gedreven stromingen. De modelopzet is gebaseerd op het recente werk van Luijendijk et al. (2019). Deze simulaties zijn diepte-gemiddeld (2DH). Het toegepaste curvi-lineaire rekenrooster beslaat een gebied van 26 km kustlangs en 15 km kustdwars. Hiermee wordt zowel de Delflandse als een groot deel van de Rijnlandse kust meegenomen (zie rode lijn in Figuur 2.5 De waterdiepte aan de zeewaartse kant van het model is ongeveer 21 m.



Figuur 2.5 Overzicht van het toegepaste golfdomein (Delft3D-wave) met de begrenzingen van het stromings- en fijne golfmodel model (rode lijn). In rood (\*) zijn golf meetstations, de Zandmotor en Scheveningen aangegeven.

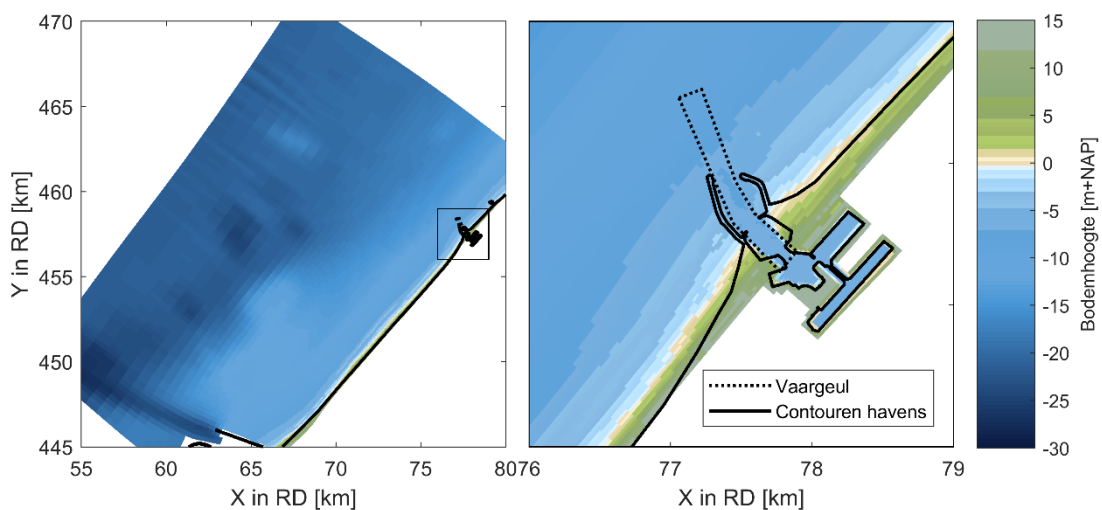
De roosterresolutie van het stromingsmodel varieert van 35 tot 500 m. De hoogste resolutie is in het gebied van de Zandmotor waar de gradiënten in sediment transporten het hoogst zijn. Ter plaatse van de haven van Scheveningen is een verfijning aangebracht in het rekenrooster. De verfijnde roosterzellen in de vaargeul van Scheveningen hebben een resolutie van ongeveer 15 m kustlangs en 20 m kustdwars (Figuur 2.6). Tevens is het model uitgebreid zodat ook de binnenste havens van Scheveningen meegenomen kunnen worden. Hierdoor wordt de komberging en daarmee het volume water dat elke getijcyclus in- en uitstroomt beter vertegenwoordigd. Het rekenrooster bevat 253 bij 106 cellen.



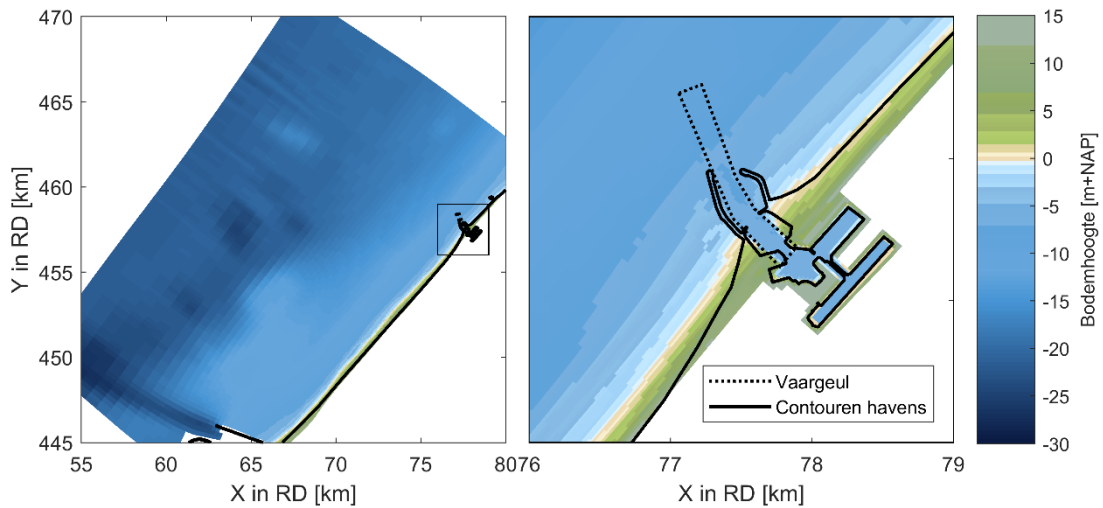


Figuur 2.6 Verfijnd rekenrooster (links) en detail rondom de Haven van Scheveningen (rechts).

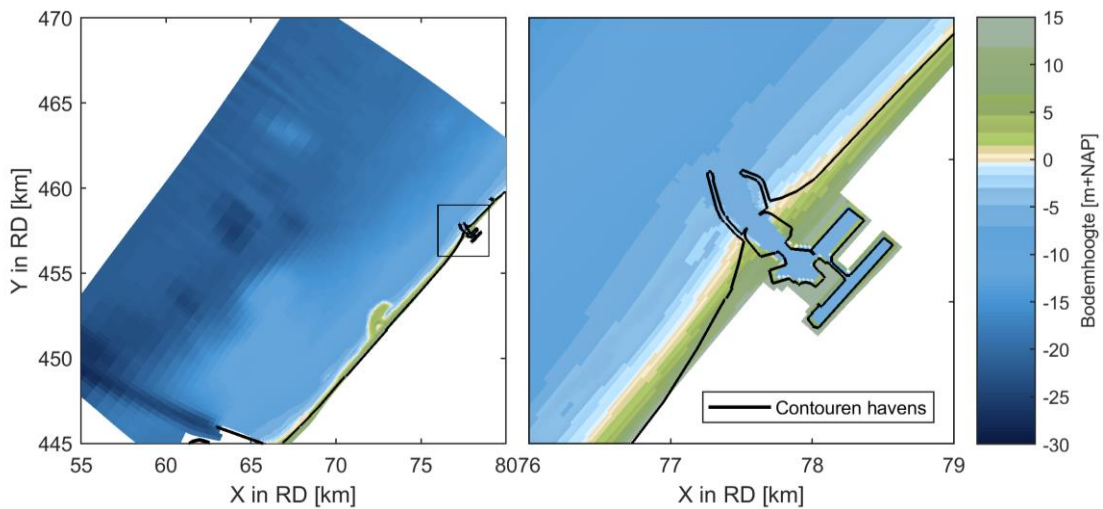
Voor de bathymetrie zijn 3 verschillende versies gebruikt waarmee de situatie voor en na de recente grootschalige suppleties wordt meegenomen. De eerste situatie is van 2008, en daarmee representatief voor de situatie voorafgaand aan de kustversterking van 2009 (Figuur 2.7). De tweede situatie is de bodem van 2010 na de kustversterking maar nog voor de aanleg van de zandmotor (Figuur 2.8) en de derde de situatie vlak na aanleg van de Zandmotor in augustus 2011 (Figuur 2.9). Bodemdata voor situaties 1 en 2 zijn gebaseerd op vaklodingen en voor situatie 3 is dit gebaseerd op de eerste metingen na voltooiing van de Zandmotor op 3 Augustus 2011. Het diepe deel van de vooroever (i.e. dieper dan 10 m waterdiepte) is gebaseerd op Vaklodingen en hetzelfde gehouden voor alle drie de bodems (data van 2011), zodat er puur naar de effecten dichtbij de kust gekeken kan worden. Het gelijk houden van de bodem voor de 3 situaties is ook gedaan voor de bodemhoogte in de vaargeul van Scheveningen, zodat er een eerlijke inschatting gemaakt kan worden van de invloed van de suppleties op de bodeminvulling.



Figuur 2.7 Bodemhoogte model voor situatie 2008 voor kustversterking met close-up haven Scheveningen.



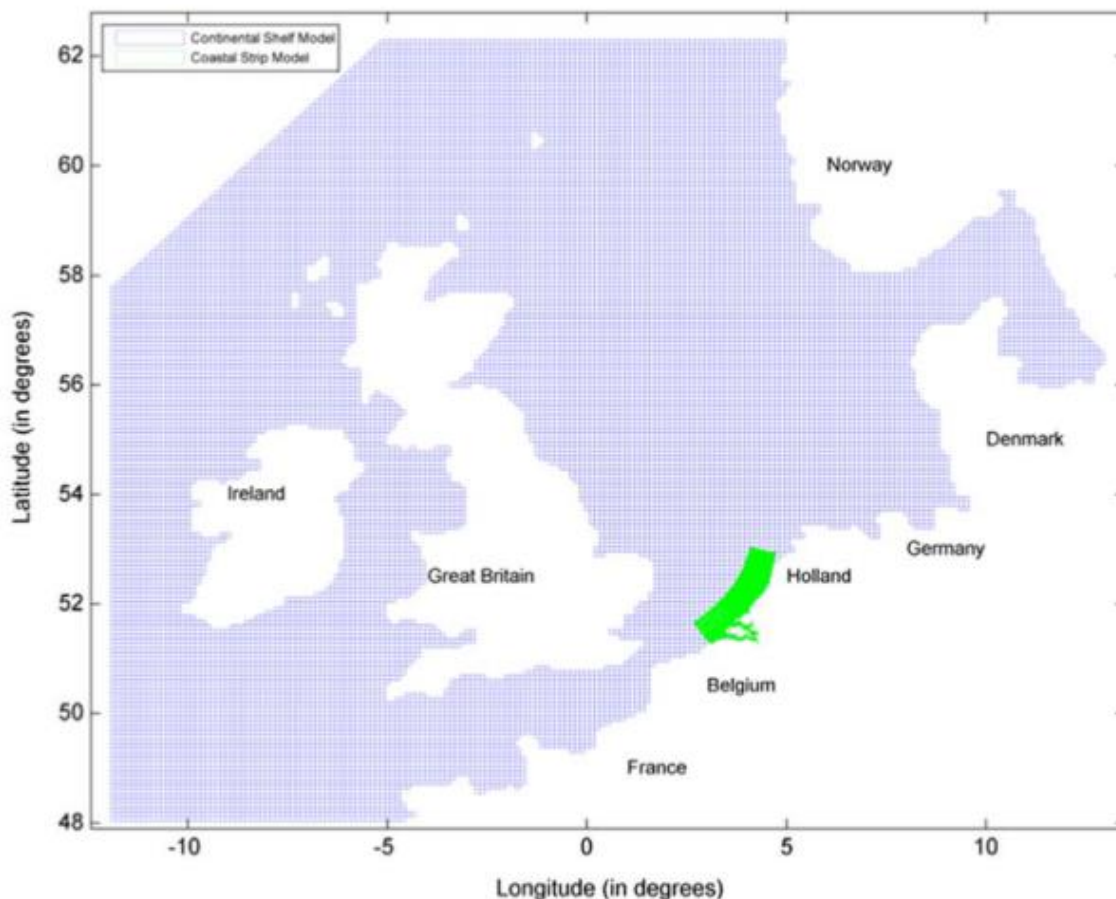
Figuur 2.8 Bodemhoogte model voor situatie 2010 na kustversterking met close-up haven Scheveningen.



Figuur 2.9 Bodemhoogte model voor situatie 2011 na aanleg Zandmotor met close-up haven Scheveningen.

## 2.4.2 Hydrodynamica

Getijrandvoorwaarden voor het model domein zijn afgeleid door te nesten in een grootschalig operationeel hydrodynamisch model voor de Noord-West Europese continentale plaat en Noordzee (zogeneten DCSTMv6 model; Zijl et al., 2013) en het hierin geneste Kustfijn model (Luijendijk et al., 2017, zie Figuur 2.10). De getij informatie is omgezet naar astronomische getij componenten voor de zeewaartse rand en Neumann randen voor de laterale randen van het model. Geobserveerde waterstandsopzet (surge) bij Hoek van Holland is opgeteld bij het astronomische getij. Tevens zijn 10 minuten gemiddelde wind tijdseries van Hoek van Holland toegevoegd aan het model om de invloed van wind effecten of waterstanden en stromingen mee te nemen. De ruwheid in het model is op basis van de Chézy formule met een waarde van 65.



Figuur 2.10 Geneste hydrodynamisch model met het DCSMv6 model in blauw en het Kustfijn model in groen. Figuur uit (Luijendijk et al., 2017).

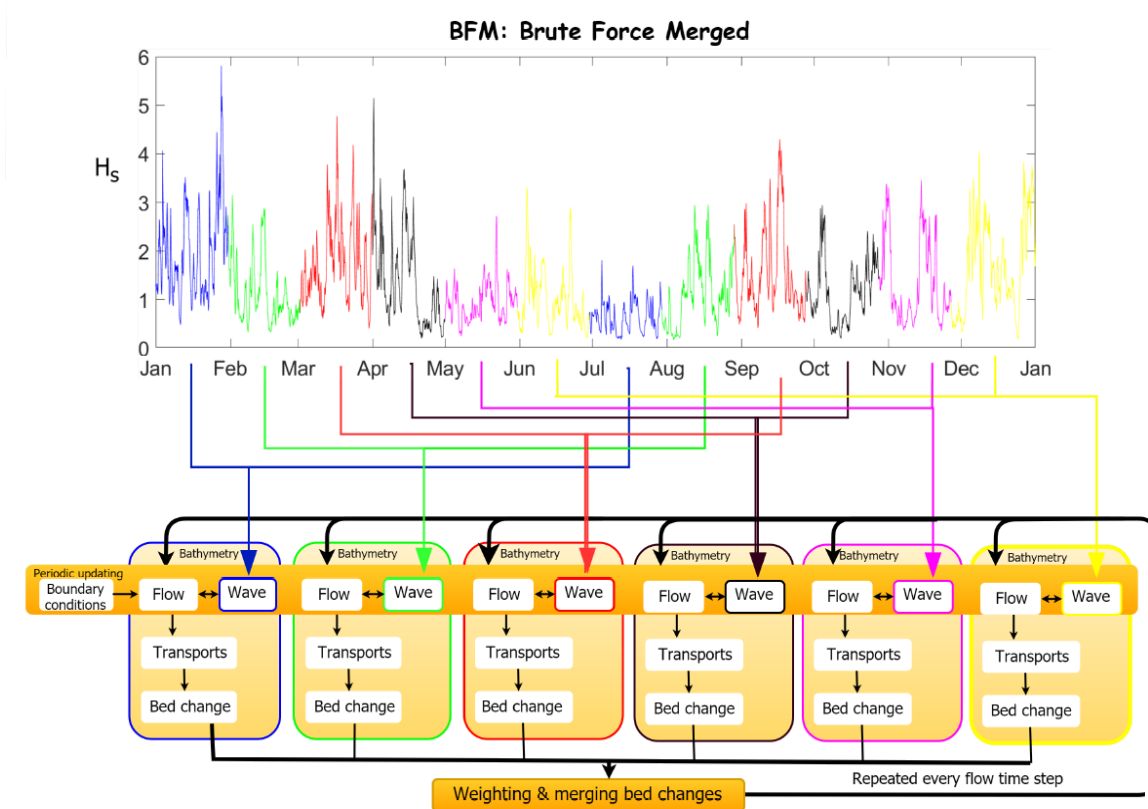
Voor het modelleren van golfpropagatie zijn twee geneste modellen gebruikt, waarvan de eerste uitgevoerd wordt op het rekenrooster van de Delflandse kust (Figuur 2.5) en het tweede op het daarin aangegeven domein van de Delft3D stromingsberekening. Dit is vergelijkbaar met de rekenroosters getoond in (Luijendijk et al., 2017). De randvoorwaarden voor de golven komen van de twee diep water meetlocaties Europlatform en IJmuiden (aangegeven als EUR en IJM MSP in Figuur 2.5). Een uniforme wind veld was toegevoegd gebaseerd op tijdseries bij Lichteiland Goeree (LEG in Figuur 2.5) waardoor de golven naar de kust toe (deels) in stand gehouden worden door windgroei. Opgemerkt wordt dat de invloed van de instroom van zoetwater vanuit de Nieuwe Waterweg niet is meegenomen in de modellering. Voor de propagatie van de golven is het zogeheten Roller model gebruikt.

### 2.4.3 Morfologie

Voor het simuleren van sediment transport en morfologie veranderingen wordt er gerekend met een ruimtelijke variërende ruwheid gebaseerd op de ruwheidsvoorspeller zoals beschreven in Van Rijn (2007c). Tussen de verschillende sediment transport formuleringen bleek (Van Rijn, 2007a/b) het beste resultaat te boeken volgens (Luijendijk et al., 2017), met name in het depositiegebied hoger in het kustdwarse profiel (tussen NAP -1 m en NAP +2 m). Dit komt overeenkomstig met observaties. Dit is belangrijk voor het correct modelleren van de vervorming van de spit van de Zandmotor in het eerste jaar. Verder is een morfologische acceleratie factor ('morfac') van 3 is toegepast, waarmee de snelheid van bodemveranderingen vergroot is (Ranasinghe et al., 2011). Dit wordt gedaan om de rekentijd van de model te verkorten. De waarde van 3 is gebaseerd op (Luijendijk et al., 2019) waar de resultaten van verschillende waarden vergeleken zijn en deze waarde het beste bevonden is.



Om de simulaties verder te versnellen zonder voorspellende kwaliteit te verliezen is gebruik gemaakt van de 'Brute force merged' methode (BFM) uit (Luijendijk et al., 2019). Deze methode neemt de volledige variabiliteit van het golf klimaat mee en bevat de optimale balans tussen het accuraat kunnen beschrijven van de morfologische ontwikkelingen en optimale versnelling rekentijd. Hierdoor kunnen simulaties van meerdere jaren (zowel verleden als toekomstige ontwikkeling kust) meegenomen worden alsmede de impact door de variabiliteit in golf klimaat. Het is een zogenaemde combinatie tussen realistische tijdsreeksen en de zogeheten 'mormerge' techniek. Dit laatste betekend dat per kwartaal de bodemveranderingen door 12 verschillende periodes van 1 week gewogen gemiddeld worden voordat de morfologie per tijdstap aangepast wordt (zie Figuur 2.11).



Figuur 2.11 Schematisatie Brute Force Merged methode. Uitsnede van figuur uit (Luijendijk et al., 2019)

Voor meer details wat betreft de verschillende acceleratie technieken en waarom de BFM methode de beste keuze is wordt verwezen naar (Luijendijk et al., 2019). Dit geldt ook voor validatie van sediment transporten en morfologische veranderingen.

Tevens is in Delft3D de optie gebruikt om de bodemdiepte in de vaargeul van Scheveningen op peil te houden met behulp van de 'dredge and dumping'-module. Hierbij is opgegeven dat in de polygoon van de vaargeul (vak 1,2,3 minus vak 1A) sediment wordt weggehaald als de bodem hoger komt dan de gewenste waarde van -7 m tov NAP. Dit is geïmplementeerd als in (Luijendijk et al., 2019) en komt overeen met de werkelijk gebruikte strategie. Enige verschil is dat in Delft3D het 'baggeren' in het model meerdere keren per jaar kan voorkomen (dus continu). Hier wordt in de uiteindelijke analyse voor gecompenseerd door naar cumulatieve volumes per jaar te kijken.

De belangrijkste model kalibratie parameters voor bodemveranderingen zijn toegepast als in (Luijendijk et al., 2017) en hieronder weergegeven in Tabel 2.3 . 'AlfaBs' en 'AlfaBn' zijn de bodem gradiënt factoren voor het bodem transport in de stromingsrichting en dwars daarop. 'Sus' en 'Bed' zijn de

vermenigvuldigingsfactoren voor respectievelijk de gesuspendeerde sediment referentie concentratie en de bodem transport vector grootte.

De transporten zijn dus gehalveerd ten opzichte de waardes die uit de formules komen. 'SusW' en 'BedW' zijn hierbij de golfgerelateerde sediment transport factoren voor gesuspendeerd en bodem transport.

Tabel 2.3 Gebruikte model kalibratie parameters voor bodemveranderingen in Delft3D

Parameter	Waarde
AlfaBs	10
AlfaBn	10
Sus	0.5
Bed	0.5
SusW	0.2
BedW	0.2

#### 2.4.4 Sediment

In de model opzet is de enkele sedimentfractie uit (Luijendijk et al., 2019) uitgebreid tot meerdere fracties (i.e. 5 fracties) met korrelgroottes, relatieve grootte gesuspendeerd sediment (ten opzichte van de  $D_{50}$ ) en aandeel als in Tabel 2.4. Deze waarden zijn gebaseerd op het werk van (Huisman et al., 2018) en zijn ruimtelijk uniform toegepast. Hierbij is geen onderlagen model toegepast. Het rekenen met meerdere sedimentfracties zorgt er in het algemeen voor dat sediment transport op dieper water (met over het algemeen fijner zand dan op het strand) beter gemodelleerd wordt, aangezien de transporten op grotere waterdieptes voor een groot deel bepaald worden door het gedrag van de fijnste zand fracties.

Tabel 2.4 Gebruikte sediment fracties met minimale, mediane en maximale korrelgrootte per fractie en het respectievelijke aandeel.

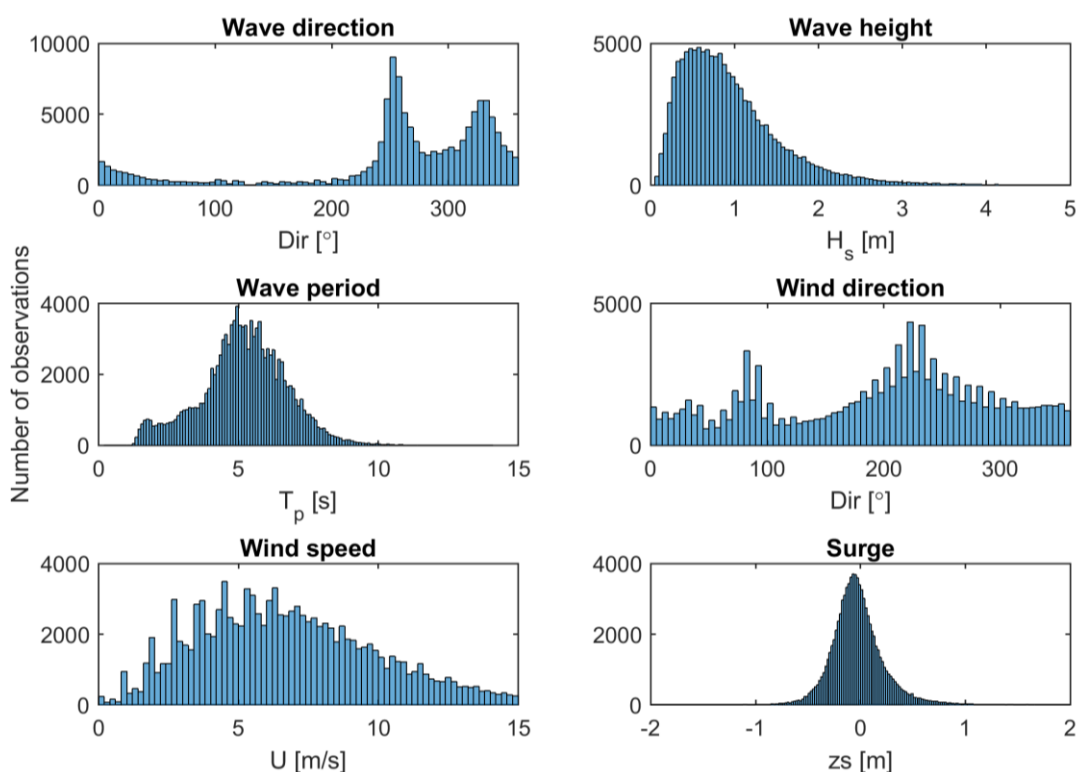
	Sediment fractie #	1	2	3	4	5
Sediment diameter D [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{\min}$	63	150	212	300	425
	$D_{50}$	106.5	181	256	362.5	512.5
	$D_{\max}$	150	212	300	425	1180
Relatieve grootte gesuspendeerd sediment	FacDSS [-]	1.0	1.0	0.8	0.8	0.6
Aandeel fractie [%]		9.6	22.9	23.9	28.8	14.8

#### 2.4.5 Scenario's

Het uitgangspunt voor de scenario's is het uitvoeren van 3 simulaties voor 5 jaar met de verschillende bodems van de 3 karakteristieke situaties. Hierdoor kunnen lange termijn ontwikkelingen van de Zandmotor en aanliggende kust in de situaties zonder/met kustversterking en zonder/met Zandmotor geanalyseerd worden alsmede het effect op de vaargeul van Scheveningen. De tijdseries voor golven en stormopzet van 5 jaar bestaan uit het de echte tijdseries van Augustus 2011 tot Augustus 2016 als gedaan in (Luijendijk et al., 2019).

Om meer inzicht te geven in welke condities veel bijdragen aan de invulling van de vaargeul is er ten slotte een matrix aan golfcondities doorgerekend. Hierdoor kan er beter geanalyseerd en geïllustreerd worden welke richtingen/storm intensiteiten het meeste effect hebben op invulling van de vaargeul. Voor deze condities worden de golf, wind en surge randvoorwaarden constant in de tijd gehouden. Alleen het getij varieert nog in de tijd (zelfde voor alle condities).

De hiervoor gebruikte representatieve condities zijn bepaald door het classificeren van daadwerkelijk opgetreden condities in golfhoogte en golfrichting klassen (Figuur 2.12). Om tot een geschematiseerd golfklimaat te komen zijn de golfhoogtes opgedeeld in intervallen van 1 meter tussen 0 en 4 en de rest groter dan 4 m. Voor de golf richting is dit in intervallen van 15 graden tussen 0 en 360. De overige parameters zijn vrij gelaten. Hierbij wordt er per conditie gekeken naar de situaties die binnen dat interval optreden op basis van tijdseries op de rand van het grootschalige golfmodel tussen Juli 2011 en Juli 2018 welke bepaald zijn op basis van een golftransformatie van gemeten golfhoogte op de meetstations Europlatform en IJmuiden naar de kust toe. De lokale condities zijn bepaald met een golftransformatiematrix (Huisman et al., 2019b) waarin de relatieve veranderingen in golfhoogte, periode en richting zijn opgeslagen voor een matrix van mogelijke offshore golfcondities op de meetstations. De golfrichting wordt gedomineerd door golven uit het zuid- en het noordwesten (Figuur 2.12).



Figuur 2.12 Classificatie condities met aantal observaties voor golfrichting, golf hoogte, golf periode, windrichting, wind snelheid en windopzet.

Voor verschillende parameters wordt het gemiddelde genomen van de data binnen het respectievelijke interval. Dit leidt tot de 72 verschillende representatieve condities (Figuur 3.13) die worden gebruikt voor de analyse van aanzanding in de vaargeul van Scheveningen (paragraaf 3.4). De condities met hogere golfhoogtes vallen samen met een golf- en windrichting uit het noordwesten en een hogere windopzet. Condities met golven uit het zuidwesten zijn ook vertegenwoordigd, al vallen die samen met lagere golfhoogtes.

## 2.5 Analyses en technieken

Voor het analyseren van de modelberekeningen wordt er ten eerste ruimtelijk gekeken naar de verschillen in sedimentatie/erosie voor de drie situaties (voor/na kustversterking en na aanleg van de Zandmotor). Dit geeft inzicht in de plaatsen waar erosie/sedimentatie plaatsvindt. Hiernaast worden voor een polygoon van de vaargeul per tijdstap erosie/sedimentatie volumes bepaald waarbij door het model 'gebaggerde' volumes meegenomen worden. Deze kunnen voor de eerste 5 jaar van de simulatie vergeleken worden met de gemeten bagger volumes uit paragraaf 2.3.

Bij het analyseren van de matrix aan condities wordt er ook gekeken naar de invulling van de vaargeul, maar dan op veel kortere tijdschaal. Na het inspelen van het model van 2 getijdycyli wordt vervolgens bij de 3<sup>e</sup> en 4<sup>e</sup> getijdycilus berekend hoeveel invulling er is (of hoeveel volume er in het model weggebaggerd is). Dit wordt vervolgens gemiddeld over die getijdycyli, wat leidt tot een mate van invulling per dag. Op basis van deze waardes en de oorspronkelijke condities waartoe deze behoren kan er geanalyseerd worden welke randvoorwaarden tot de meeste invulling leiden. Ook kan de invulling van de historische tijdreeks gereproduceerd worden en vergeleken met de eerder genoemde modelberekeningen.

## 2.6 Beantwoording evaluatievragen

De evaluatievraag EF4-5a wordt beantwoord door het vergelijken van gemodelleerde gebaggerde volumes in de toegangseul van de havens van Rotterdam en Scheveningen voor situaties met/zonder de Zandmotor. Dit effect zal in perspectief worden geplaatst met het effect van de eerder uitgevoerde kustversterking.

Door modelresultaten en metingen van de morfologische veranderingen rondom de uitlaat van het J.J.J.M. van der Burg gemaal te bespreken kan daarnaast ook een beoordeling worden gegeven van de mogelijke invloed van de Zandmotor voor dit gemaal (evaluatievraag EF4-5b).

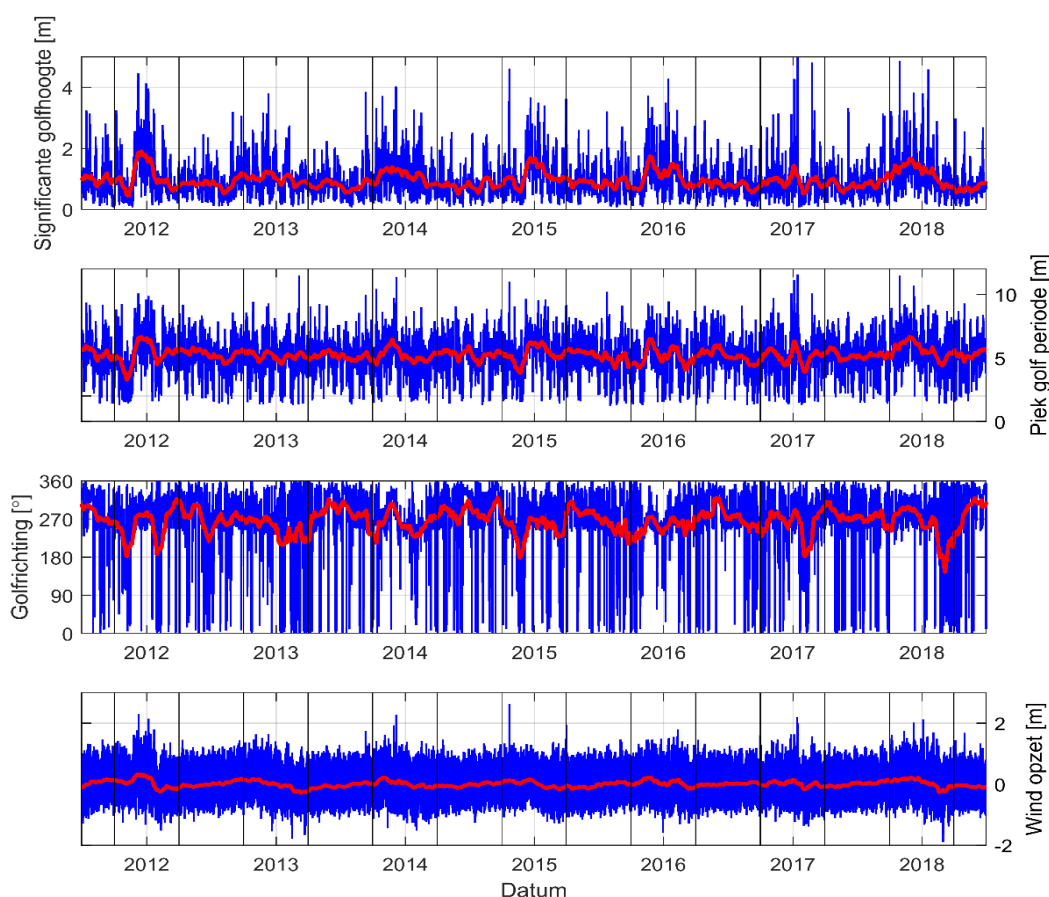
# 3 Modelberekeningen

## 3.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de modelberekeningen besproken. Dit omvat een beschrijving van de hydrodynamica in paragraaf 3.2 en de resulterende sediment transporten en bodemveranderingen in paragraaf 3.3. Om meer inzicht te geven in de respons van de invulling op verschillende hydrodynamische condities worden de resultaten van de conditiematrix gepresenteerd in paragraaf 3.4. In paragraaf 3.5 wordt daarna verder ingegaan op de aanzanding van de havengeul van Scheveningen en Rotterdam. De conclusies die op basis van de resultaten getrokken worden over de aanzanding ter plaatse van de uitlaat van het Van der Burg gemaal worden besproken in paragraaf 3.5.3. Ten slotte worden in paragraaf 3.6 de bevindingen uit deze modelstudie bediscussieerd.

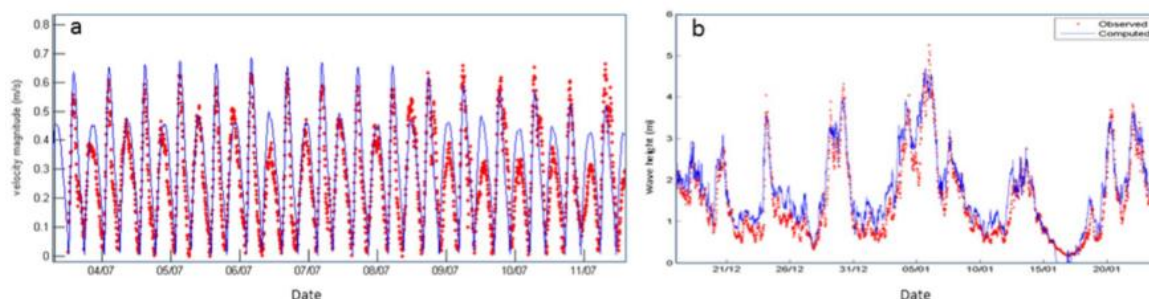
## 3.2 Hydrodynamica

De hydrodynamische condities langs de Hollandse kust variëren sterk in de tijd. Dit geldt zowel voor dagelijkse/wekelijkse verschillen met kalme of storm condities als voor de seizoensvariaties tussen zomer en winter condities. Tevens is dit ook niet van jaar tot jaar constant, sommige winters kunnen bijvoorbeeld intensiever zijn dan andere. Deze variaties zijn geïllustreerd in Figuur 3.1 en laten zien dat sommige winters hogere gemiddelde golfhoogtes en periodes hebben dan andere. Eind 2011 is de gemiddelde golfhoogte bijvoorbeeld met 2 meter tweemaal zo hoog als een jaar later. Deze variatie aan hydrodynamische condities zal waarschijnlijk ook zijn weerslag hebben in de berekende sediment transporten en invulling van de vaargeul van Scheveningen.



*Figuur 3.1 Significante golf hoogte, piek golf periode, golfrichting en wind opzet in diep water en variërend in de tijd (blauw) met lange tijdsgemiddelde trend in rood. Verticale zwarte lijnen geven een indicatie van de seizoensafschiedingen.*

Een indicatie van de prestaties van de modelopzet voor het simuleren van waterstanden en golven wordt gegeven in Figuur 3.2. De modelopzet is al gevalideerd in (Luijendijk et al., 2017) en is hier daarom niet verder herhaald. Voor meer informatie wordt dan ook naar deze paper verwezen. Het enige verschil met deze resultaten is dat de gebruikte model opzet als in (Luijendijk et al., 2019) een groter domein bevat voor het stromingsmodel waardoor de haven van Scheveningen onder andere ook meegenomen wordt. Dit grotere domein zat echter al in de grootschalige golven- en stromingsmodellen van (Luijendijk et al., 2017) waardoor nieuwe validatie niet nodig is.



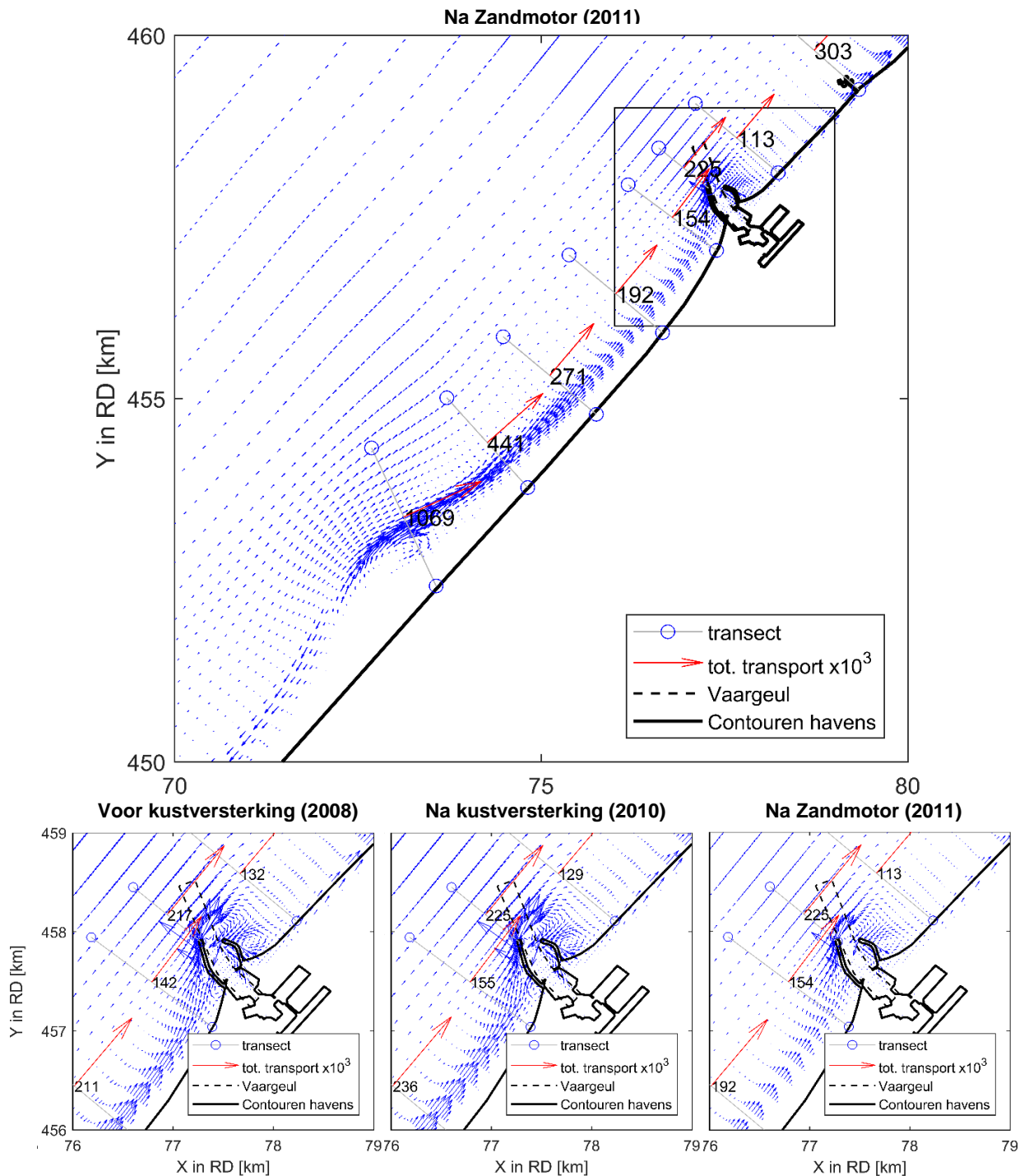
Figuur 3.2 Linker paneel: vergelijking gemeten snelheden in rood en gemodelleerd in blauw, rechter paneel: gemeten en gemodelleerde golf hoogtes. Figuur uit (Luijendijk et al., 2017).

### 3.3 Sediment transport en bodemverandering

Op basis van de morfologische berekening over de periode 2011 tot en met 2016 kunnen jaargemiddelde transporten worden bepaald. De getijde stromingen en stormcondities zorgen ervoor dat sediment langs de kust verspreid wordt.

Bij de Zandmotor is er aan de zuidkant een jaargemiddeld transport naar het zuiden en aan de noordkant naar het noorden (Figuur 3.3, boven). Dit zorgt ervoor dat het sediment van de Zandmotor langs de kust verspreid en deze daardoor steeds minder zeewaarts uitsteekt in de tijd. Zuidelijk van de haven van Scheveningen is het jaargemiddeld transport richting het noorden, ook ter plaatse van de vaargeul. Noordelijk van de golfbrekers is het transport noordgaand op dieper water en zuidgaand in ondieper water, hierbij gaat er ook transport de vaargeul in. Verder noordelijk slaat dit weer om naar een normaal beeld van gemiddelde transporten naar het noorden langs de Hollandse kust. De grootste transporten zijn hier dicht bij de kust in de brekerszone tijdens kalme condities. Rondom de vaargeul van Scheveningen zien de sediment transport patronen er vergelijkbaar uit voor de situaties voor/na aanleg kustversterking en Zandmotor (Figuur 3.3, onder). Er is te zien dat het jaargemiddelde transport na de kustversterking zoals men zou verwachten meer zeewaarts ligt. Na de aanleg van de Zandmotor is het transport zuidelijk van de haven minder sterk, waarschijnlijk door het effect dat de Zandmotor heeft op de stromingspatronen langs de kust.

Voor gemiddelde condities zijn de jaargemiddelde netto sediment transporten over de periode Juli'12-Juli'14 het hoogst rondom de Zandmotor met orde 1,100,000 m<sup>3</sup>/jaar naar het noorden. Tussen de Zandmotor en de haven gaat dit naar ongeveer 200,000 m<sup>3</sup>/jaar en ter plaatse van de zuidelijke golfbreker naar ongeveer 225,000 m<sup>3</sup>/jaar. Richting de pier gaat dit weer naar orde 300.000 m<sup>3</sup>/jaar in noordelijke richting. Deze getallen kunnen echter wel voor verschillende periodes verschillen wegens gemiddeld sterkere of zwakkere hydrodynamische condities. Voor de 3 verschillende situaties verschilt het sediment transport aan de tip van de zuidelijk golfbreker (de bypassing van de golfbrekers) nauwelijks.



Figuur 3.3 Indicatie jaargemiddelde sediment transport over periode Juli'12-Juli'14 voor de situatie na aanleg Zandmotor van 2011 (boven) met ingezoomde boxen rondom haven Scheveningen voor situaties voor aanleg kustversterking (2008), na kustversterking (2009) en na aanleg Zandmotor (2011). Rode pijlen geven de richtingen van de jaargemiddelde netto sediment transporten weer voor weergegeven transecten met getallen in  $10^3 \text{ m}^3/\text{jaar}$ .

Deze sediment transporten zorgen over lange tijdschalen voor flinke bodemveranderingen en verschillen tevens voor de situaties met/zonder kustversterking en met/zonder Zandmotor. Deze sommen zijn gedraaid voor een periode van 5 jaar en geven inzicht in de ontwikkeling van de verschillende situaties. Hieronder worden de bodemhoogtes en berekende sedimentatie-erosie patronen weergegeven voor 1)



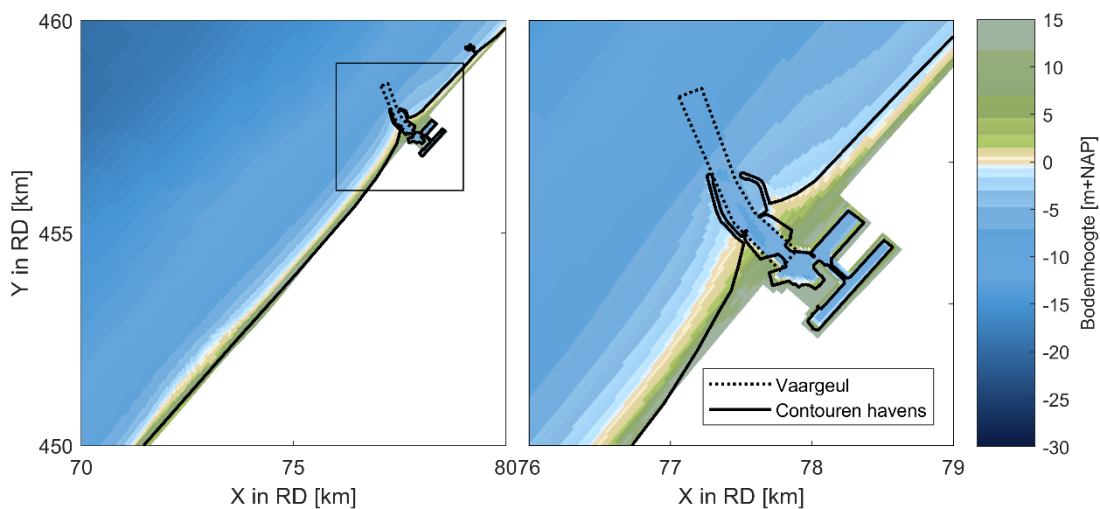
de situatie voor de kustversterking 2009, 2) de situatie na de kustversterking in 2010 3) de situatie na aanleg van de Zandmotor in Augustus 2011 en 4) de ontwikkeling in 5 jaar zoals gemeten.

### Situatie 2008 zonder kustversterking

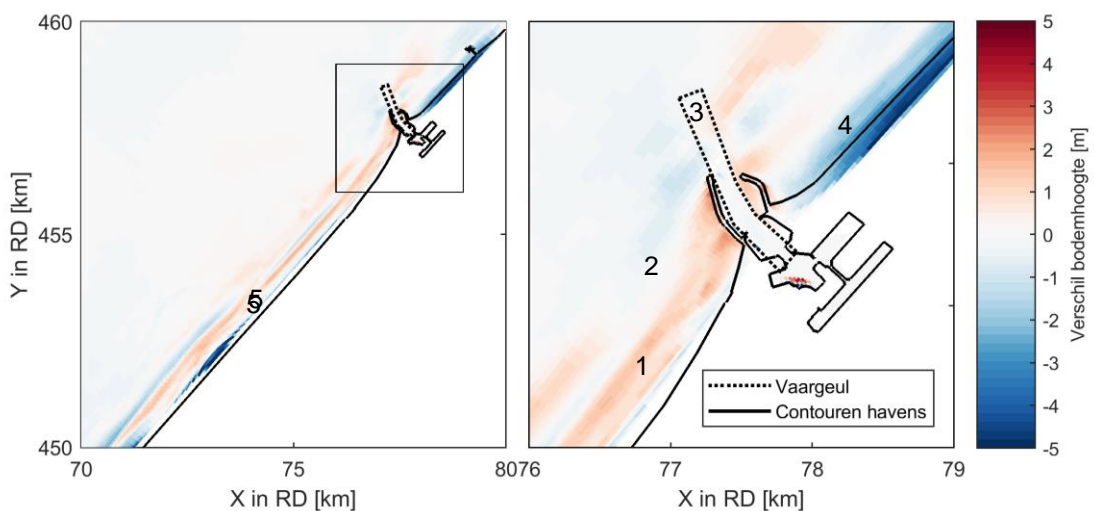
Een kwalitatieve inspectie van de berekende morfologische veranderingen bij Scheveningen voor de situatie zonder kustversterking (in 2008) laat een aantal karakteristieke patronen van erosie en sedimentatie zien (zie Figuur 3.5), namelijk:

1. Sedimentatie voor de kust in ondiep water, waardoor de waterlijn zeewaarts is geschoven.
2. Lichte erosie van de zone net buiten de brandingszone (NAP -5m).
3. Lichte sedimentatie in de vaargeul (opvulling tot -7m NAP).
4. Erosie van het strand van Scheveningen.
5. Erosie dichtbij de kust waar nu de Zandmotor ligt.

De aanvoer van sediment door de golfgedreven stroming wordt verantwoordelijk gehouden voor de aanzanding zuidelijk van de haven. Aan de noordzijde lijkt de golfgedreven stroming juist erosie te bewerkstelligen op het strand. De aanzanding (en/of erosie) in de geul daarentegen zijn hoogstwaarschijnlijk gerelateerd aan de getijstroming langs de kust, en in iets mindere mate ook aan de golfgedreven stroming tijdens extreme condities.



Figuur 3.4 Bodemhoogte model voor situatie 2008 voor kustversterking na 5 jaar.

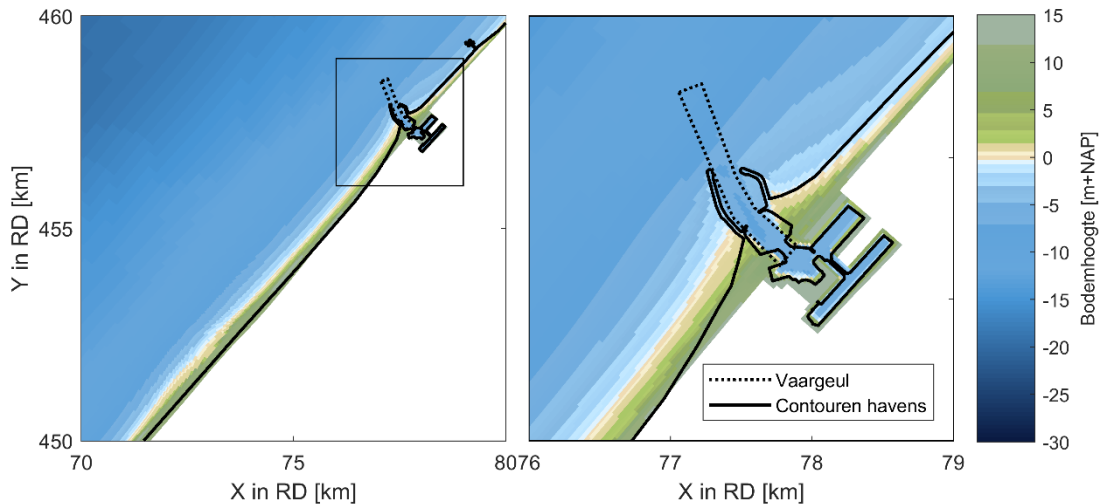


Figuur 3.5 Verandering bodem model voor situatie 2008 voor kustversterking na 5 jaar.

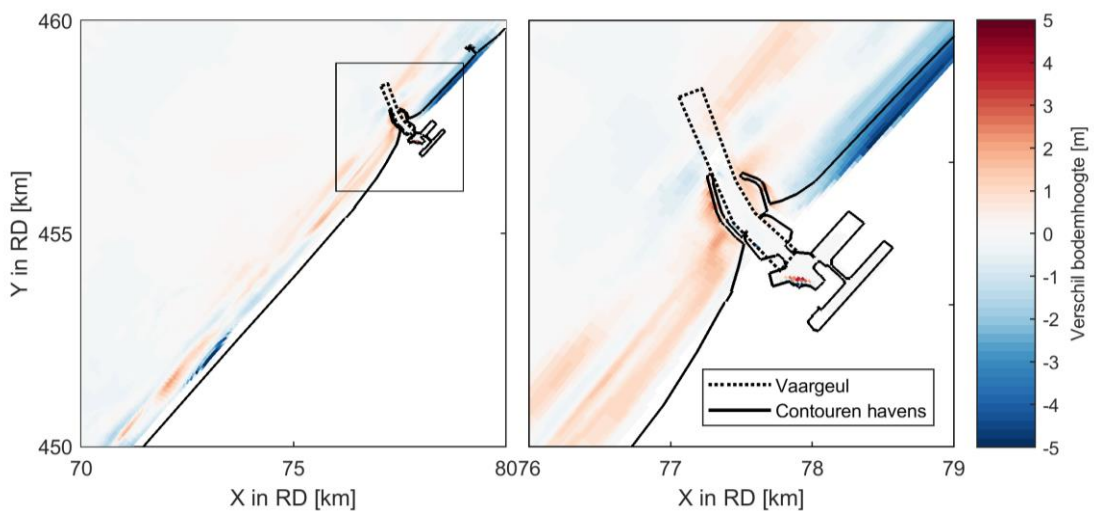


### Situatie 2010 na kustversterking

De patronen van sedimentatie/erosie zijn na de kustversterking erg vergelijkbaar met de situatie ervoor. Alleen dicht tegen de kust ter hoogte van Monster is er minder erosie te zien (want kust is uitgebouwd door suppleties). Ter plaatse van waar nu de Zandmotor ligt is de erosie in ondiep water (MSL tot MSL-1m) ten opzichte van de situatie voor de kustversterking kleiner. Door de uitbouw van het strand vind de erosie meer zeewaarts plaats.



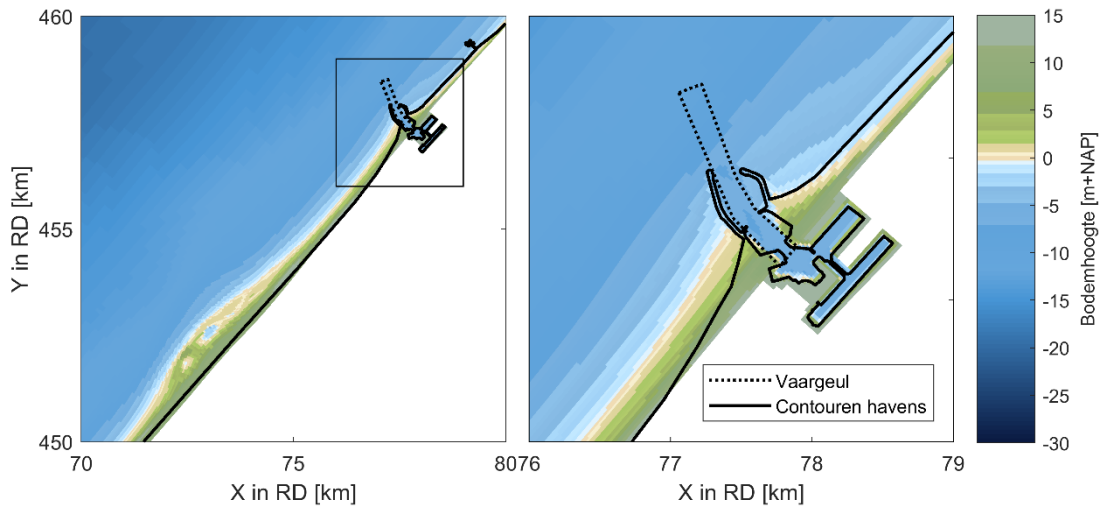
Figuur 3.6 Bodemhoogte model voor situatie 2010 met kustversterking na 5 jaar.



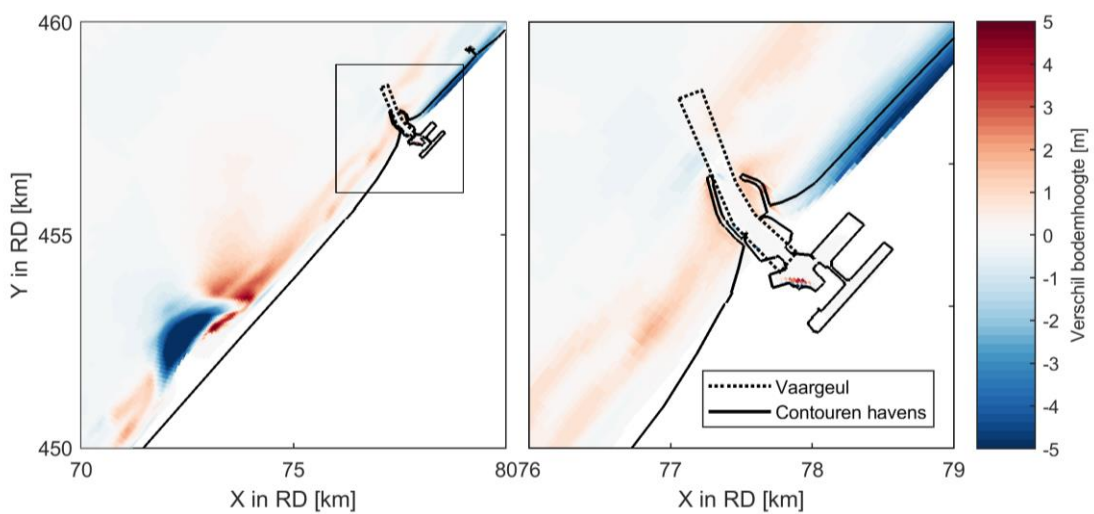
Figuur 3.7 Verandering bodem model voor situatie 2010 met kustversterking na 5 jaar.

### Situatie 2011 na aanleg Zandmotor

Voor de simulatie van 2011 (na aanleg) is er uiteraard rondom de Zandmotor een sterk erosie/sedimentatiepatroon te zien. Echter, rondom de haven van Scheveningen zijn de verschillen ten opzichte van de situaties zonder de Zandmotor klein (i.e. simulaties van 2008 en 2010 met/zonder kustversterking). Zuidelijk van de golfbrekers is iets minder erosie te zien.



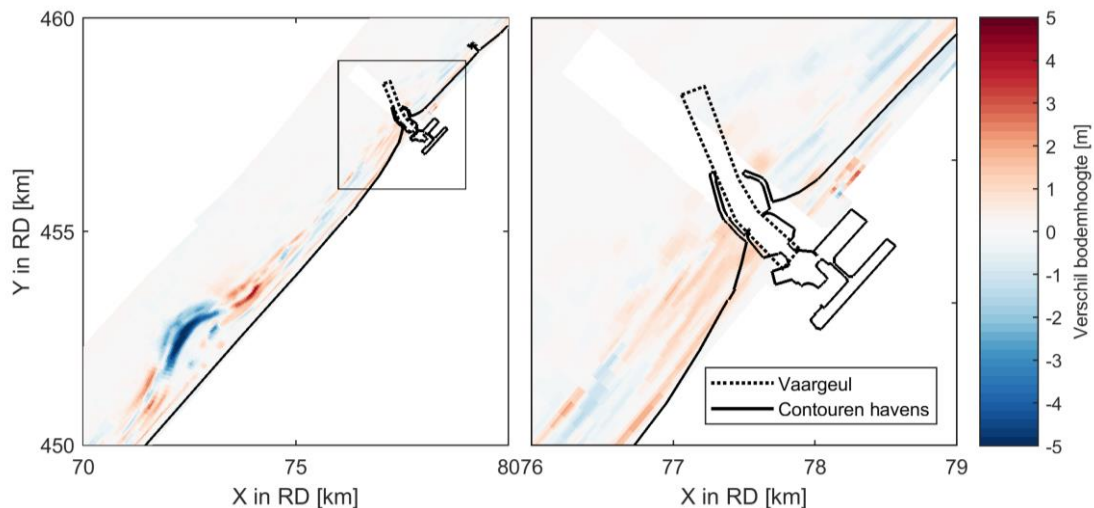
Figuur 3.8 Bodemhoogte model voor situatie 2011 met Zandmotor na 5 jaar.



Figuur 3.9 Verandering bodem model voor situatie 2011 met Zandmotor na 5 jaar.

### Gemeten

De getoonde erosie/sedimentatie-patternen kunnen vergeleken worden op basis van daadwerkelijk gemeten bodems (Figuur 3.10). De aanzanding zuidelijk van de haven van Scheveningen is in werkelijkheid iets sterker geweest dan gemodelleerd en de erosie noordelijk van de haven veel minder sterk. Rondom de Zandmotor is de erosie/sedimentatie iets minder homogeen als in het model. De globale patronen van erosie en sedimentatie zijn echter vergelijkbaar.



Figuur 3.10 Gemeten bodem veranderingen voor duur simulatie

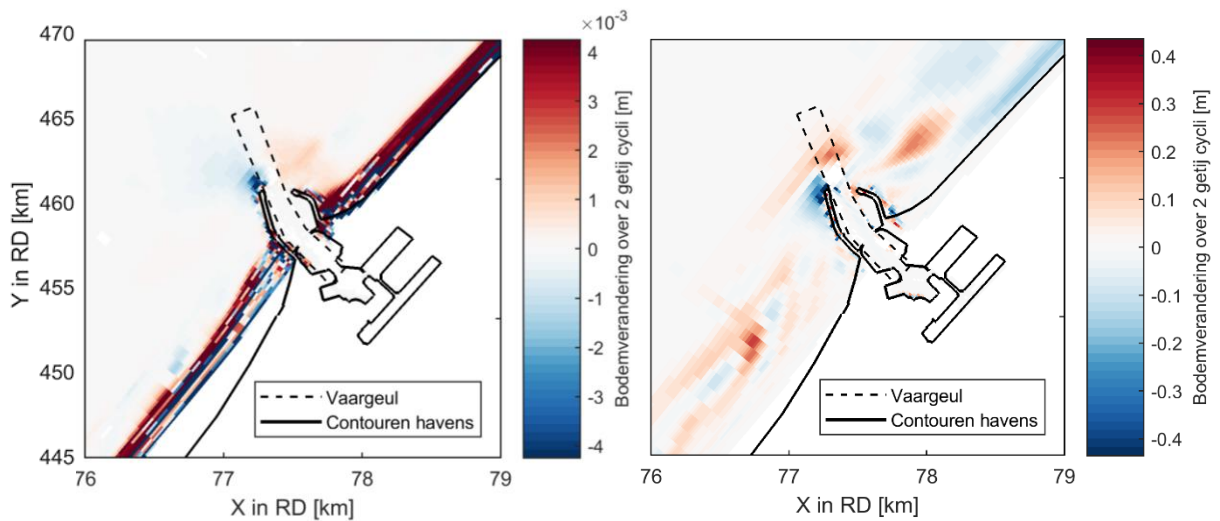
Op basis van deze resultaten lijken de erosie en sedimentatiepatronen voor de drie verschillende situaties sterk op elkaar. Als gevolg is er op basis van een kwalitatieve analyse van de morfologische veranderingen bij Scheveningen geen indicatie van een invloed van de Zandmotor op de verzanding van de vaargeul van Scheveningen. De berekende erosie- sedimentatie patronen komen redelijk overeen met de werkelijk opgetreden patronen. In de volgende paragraaf worden de veranderingen in de vaargeul gekwantificeerd.

### 3.4 Snelheid van invulling havengeul Scheveningen in relatie tot golfcondities

De snelheid waarmee aanzanding van de vaargeul plaats vindt is bepaald in relatie tot de optredende golfcondities. Dit is gedaan door 72 representatieve condities te bepalen (zie paragraaf 2.4.5) waarvoor het effect op de aanzanding van de vaargeul van Scheveningen over een korte periode is doorgerekend. Op basis hiervan kan per conditie bepaald worden wat een representatieve snelheid van invullen van de vaargeul is

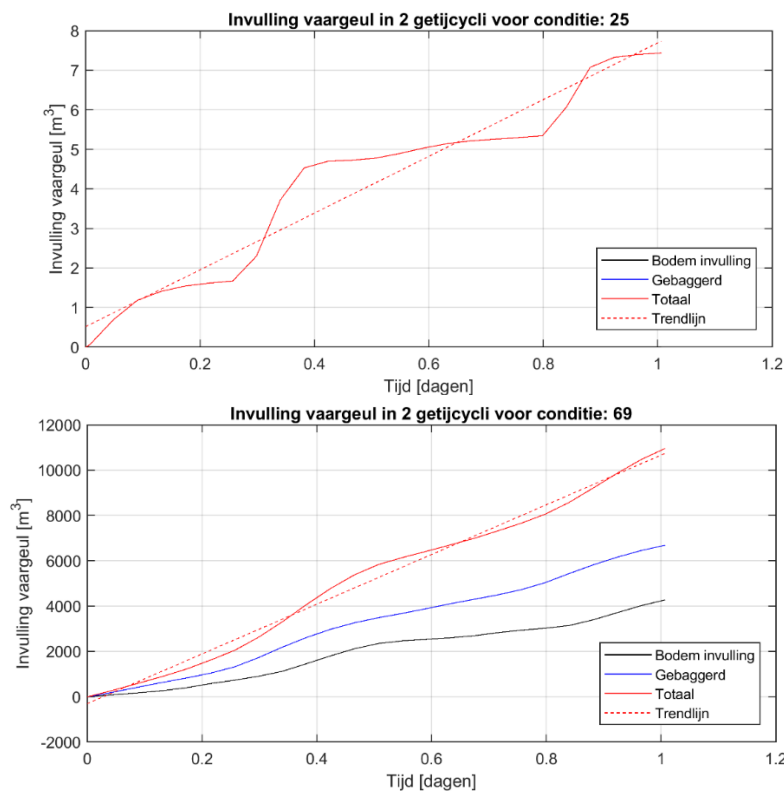
Voor deze 'initieel transport' simulaties zijn de randvoorwaarden constant in de tijd opgelegd. Alleen de getijstrooming varieert in de tijd, maar is hetzelfde voor alle condities. Hiervoor is een morfologisch getij gebruikt met een duur van twee getijcycli. Om inspeleeffecten te voorkomen is de bodem eerst een half jaar ingespeeld met het morfologische model. De gemodelleerde baggervolumes zijn representatief voor de gesimuleerde conditie. De morfologische schaalfactor (morfac) staat op 1.

Per conditie wordt er berekend wat de bodeminvulling is in de polygoon van de vaargeul, en ook wordt er bijgehouden hoeveel sediment is weggebaggerd in het model. Een voorbeeld van de respons van een minder intense conditie (# 25) is gegeven in Figuur 3.11 (Links). Voor deze condities zijn de bodemveranderingen in de orde grootte van millimeters. Bij de vaargeul is er alleen aan de rand van de linker golfbreker wat erosie te zien (ontgronding) ten gevolge van stroomcontractie. De aanzanding van de vaargeul over de tijd is voor twee getijcycli getoond in De aanzanding is voor deze conditie sterk gedomineerd door het getij. De totale aanzanding bestaat hier alleen uit de gebaggerde hoeveelheden die met het getij mee in de tijd variëren.



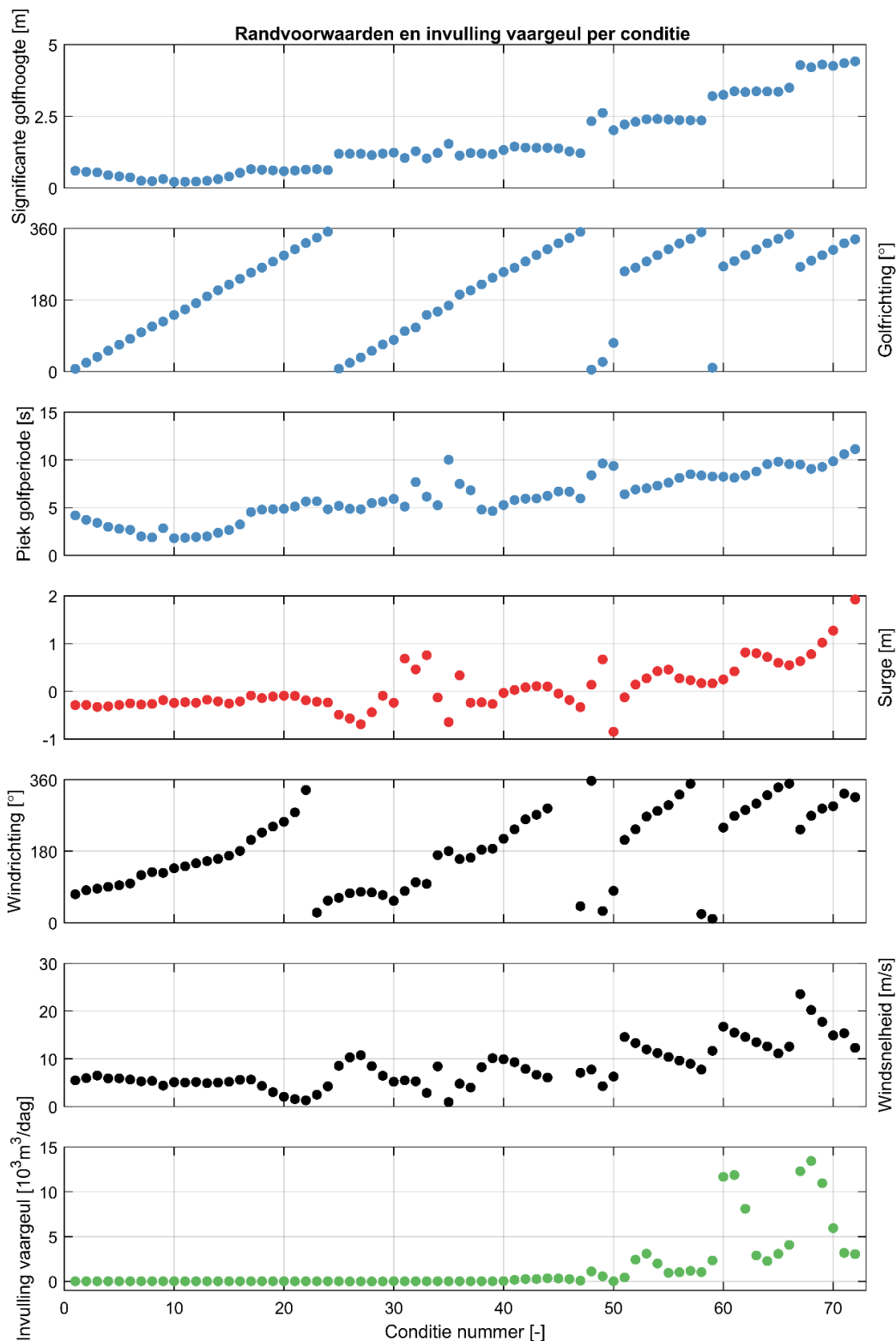
Figuur 3.11 Verandering bodem model voor conditie 25 en 69 na 2 getijcycli. Links : rustige conditie 25; Rechts : extreme golfconditie 69.

Een voorbeeld van de respons van een zwaardere conditie (# 69) is gegeven in Figuur 3.11. Er is te zien dat er in dit geval sedimentatie is in de vaargeul buiten de golfbrekers. Het betekent overigens niet dat al dit sediment ook weggebaggerd is. Als de bodem aldaar tijdens de simulatie onder de baggerhoogte blijft wordt er geen sediment weggehaald. De invulling van de vaargeul over de tijd wordt voor twee getijcycli getoond in Figuur 3.12. De invulling verloopt in dit geval aardig constant in de tijd, al is er wat variatie in de tijd vanwege de getijstrooming. Dit betekent dat de golf-gedreven stroming in dit geval dominant is over de getij-gedreven stroming, wat men ook zou verwachten vanwege de hogere golfhoogte.



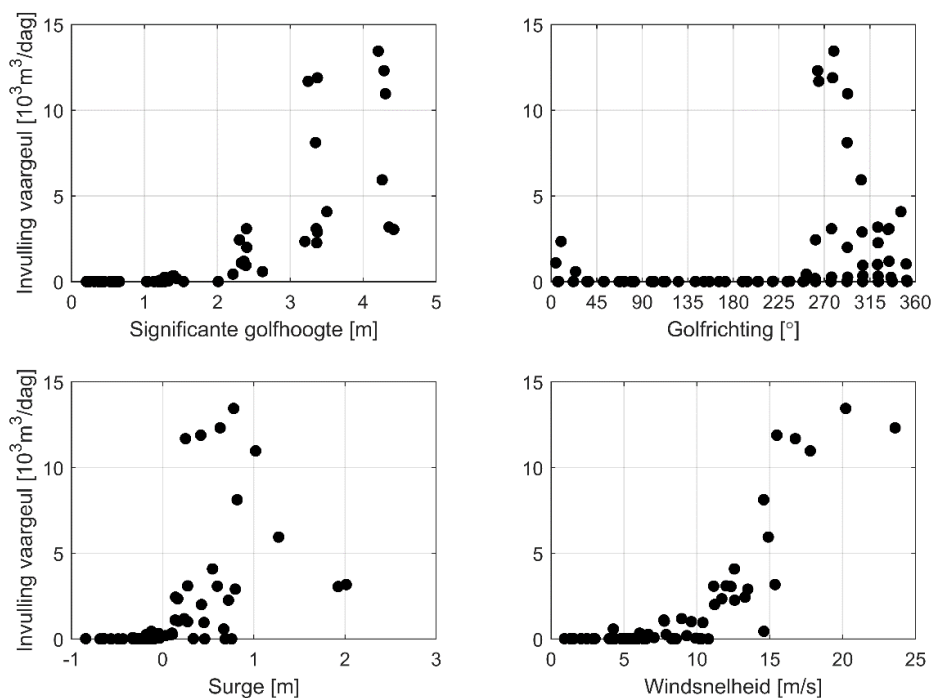
Figuur 3.12 Invulling vaargeul Scheveningen in model voor conditie 25 en 69 tijdens 2 getijcycli (boven : rustige conditie 25; onder: zware golfconditie 69).

Op basis van de totale invulling wordt een trendlijn bepaald wat de invulsnelheid geeft voor die conditie. De snelheden voor alle condities tezamen zijn weergegeven in Figuur 3.13. Hierbij is te zien dat de meeste invulling voorkomt voor de condities met meer extreme condities en specifieke golfrichtingen.

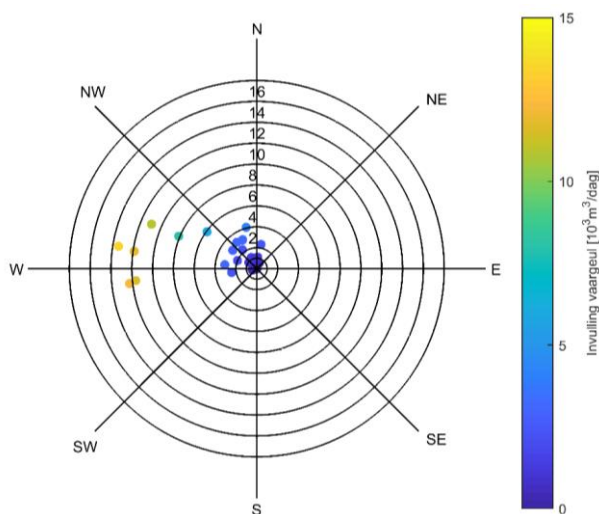


Figuur 3.13 Gebruikte condities met golf hoogte, golfrichting, golf periode, windopzet (surge), windrichting, windsnelheid en resulterende invulling van de vaargeul.

De variatie in de mate van invulling en de relatie met verschillende parameters is verder geïllustreerd in Figuur 3.14. Hieruit valt op te maken dat de mate van invulling het meest gevoelig is voor de golfhoogte en golfrichting. Een hogere windopzet (surge) leidt niet per se tot een grotere invulling. Opgemerkt moet worden dat de windsnelheid een correlatie heeft met de golfhoogte, waardoor beide parameters een vergelijkbaar patroon laten zien. Bij de golfhoogte is het tevens opvallend dat er voor een vergelijkbare golfhoogte toch nog een spreiding is van een factor 3 in de aanzandingsvolumes per tijdseenheid. Dit komt door de grote gevoeligheid voor de richting van de golven, wat verduidelijkt wordt in Figuur 3.15. De meeste invulling komt voor bij golven uit het westen tot westnoordwesten. Deze noordwester stormen komen van over de hele Noordzee (i.e. vanuit de richting van Noorwegen of Schotland) en hebben daarom een grote strijklengte. Deze incidentele stormen kunnen een groot effect hebben op de invulling van de vaargeul. Belangrijk is dus dat de invulling niet alleen wordt bepaald door sediment-bypassing langs de golfbrekers tijdens veel voorkomende (rustige) vanuit het zuiden komende condities, maar ook door de af en toe voorkomende zware golfcondities uit het noorden.



Figuur 3.14 Illustratie afhankelijkheid invulling vaargeul van golfhoogte, golfrichting, windopzet (surge) en windsnelheid.



Figuur 3.15 Illustratie afhankelijkheid invulling vaargeul voor golfrichting

## 3.5 Aanzanding van de vaargeul

De aanzanding van de vaargeulen van Scheveningen en Rotterdam wordt berekend middels numerieke modellering (Paragraaf 3.5.1 en 3.5.2). De mogelijke invloed van de Zandmotor op de spuilocatie van het J.J.J.M. van der Burg gemaal wordt beargumenteerd op basis van de historische en verwachte veranderingen in kustpositie (Paragraaf 3.5.3).

### 3.5.1 Aanzanding vaargeul van Scheveningen

De aanzanding van de vaargeul (voor zand) is berekend op basis van initiële gemodelleerde 'aanzandingssnelheden' voor de golfconditiematrix (elk van de 72 condities) en met behulp van een model met morfologische updates van de bodem.

- ➔ Met de methode op basis van initiële transporten ('conditiematrix') kan de invloed op de aanzandingssnelheid eenvoudig worden uitgerekend voor de opgetreden tijdserie van golfcondities voor verschillende jaren (2011 tot en met 2018). De tijdserie van aanzandingssnelheden in de vaargeul wordt herleidt door op elk tijdstip de 'berekende aanzandingssnelheid' voor de meest vergelijkbare golfconditie uit de conditiematrix te kiezen. Hierbij zijn de 72 condities als opzoektabel gebruikt waarbij er per tijdstap in de 7-jarige tijdserie de meest vergelijkbare conditie gebruikt wordt als in de eerder uitgevoerde classificatie. In deze methode wordt de aanzanding die door de tijd heen verwacht wordt bij Scheveningen echter niet meegenomen, terwijl deze lokale kustvoortgang na verloop van tijd mogelijk zou kunnen leiden tot een grotere snelheid van aanzanding.
- ➔ Bij de middellange termijn morfodynamische berekeningen met bodemveranderingen wordt de mogelijke voortgang van de kust bij Scheveningen wel meegenomen, maar is het moeilijk om een langere periode te beschouwen. Data voor de randvoorwaarden met de BFM-methode waren beschikbaar voor de periode van Juli 2011 tot eind 2015.

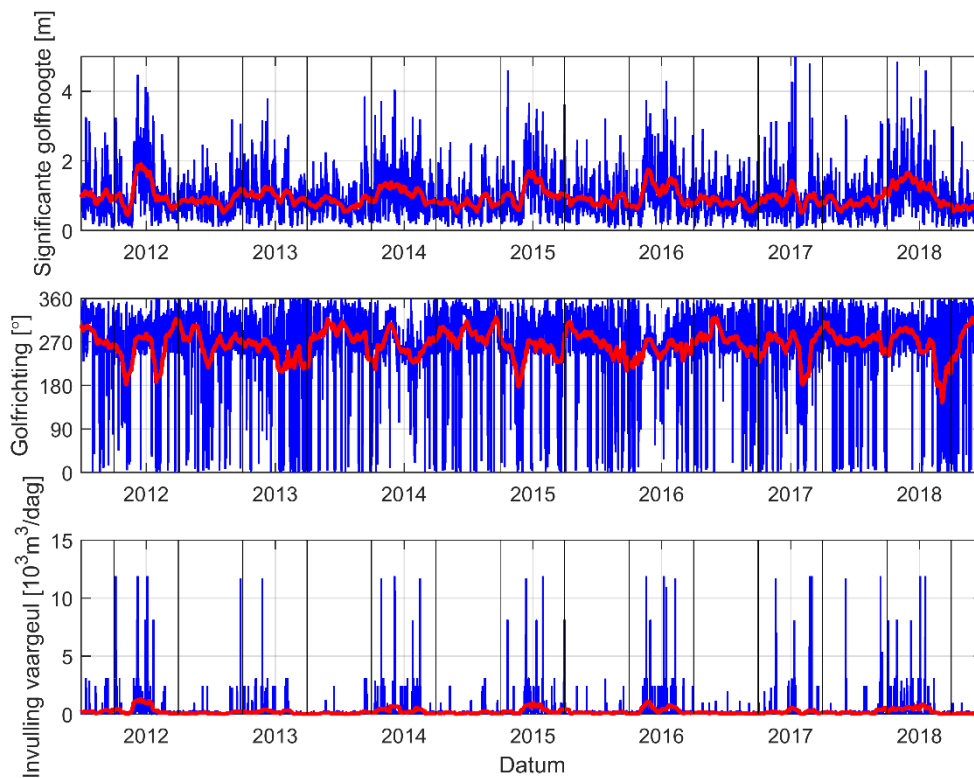
De resultaten van beide methoden worden hier gepresenteerd.

#### Initiële transporten

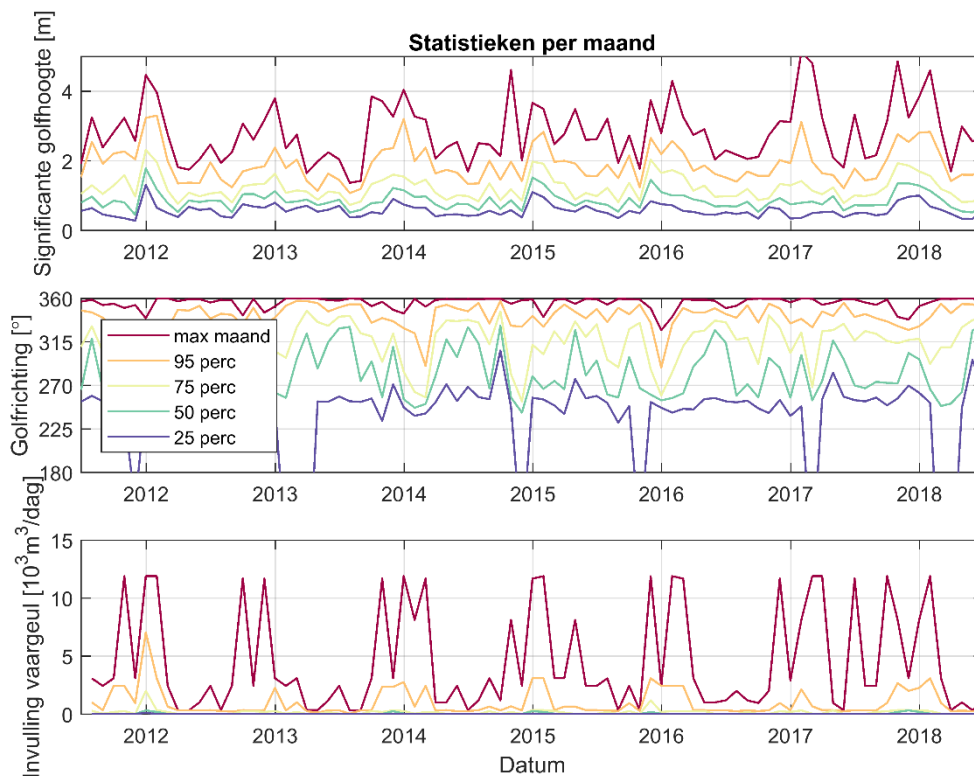
Allereerst kan de ontwikkeling van vertaling van hydrodynamische condities naar initiële transporten en aanzanding van de vaargeul gedaan worden op basis van de conditiematrix. Het resultaat is weergegeven in Figuur 3.16. Hierin is te zien dat sterke invulling in de vaargeul samenvalt met periodes van verhoogde gemiddelde golfhoogte. Tevens is de seizoensafhankelijkheid te zien met grotere invulling van de vaargeul in de wintermaanden. Ook is de variatie over de verschillende jaren te zien.

Dit laatste is verder weergegeven in Figuur 3.17 wat een impressie geeft van onder andere variaties in de gemiddelde golfhoogte en -richting over de verschillende maanden alsmede de resulterende invulling van de vaargeul. Hierbij is het niet zozeer de maximale invulling die sterk varieert over de jaren, maar meer de 95 percentiel (representatief voor of het een maand met sterke invulling is of niet). Bijvoorbeeld begin 2012 is de invulling veel sterker dan in de winter van 2013. Dit is ook terug te zien in de percentielen van de golfhoogtes. Het vergelijken van de golfrichtingen tussen de verschillende jaren levert niet direct eenzijdige conclusies op.





Figuur 3.16 Significante golfhoogte en golfrichting in diep water en gerelateerde invulling van de vaargeul variërend in de tijd (blauw) met lange tijdsgemiddelde trend in rood. Verticale zwarte lijnen geven een indicatie van de seizoensafscheidingsen.



Figuur 3.17 Significante golf hoogte en golfrichting in diep water en gerelateerde invulling van de vaargeul variërend in de tijd met maximum en 95/75/50/25 percentiel per maand.

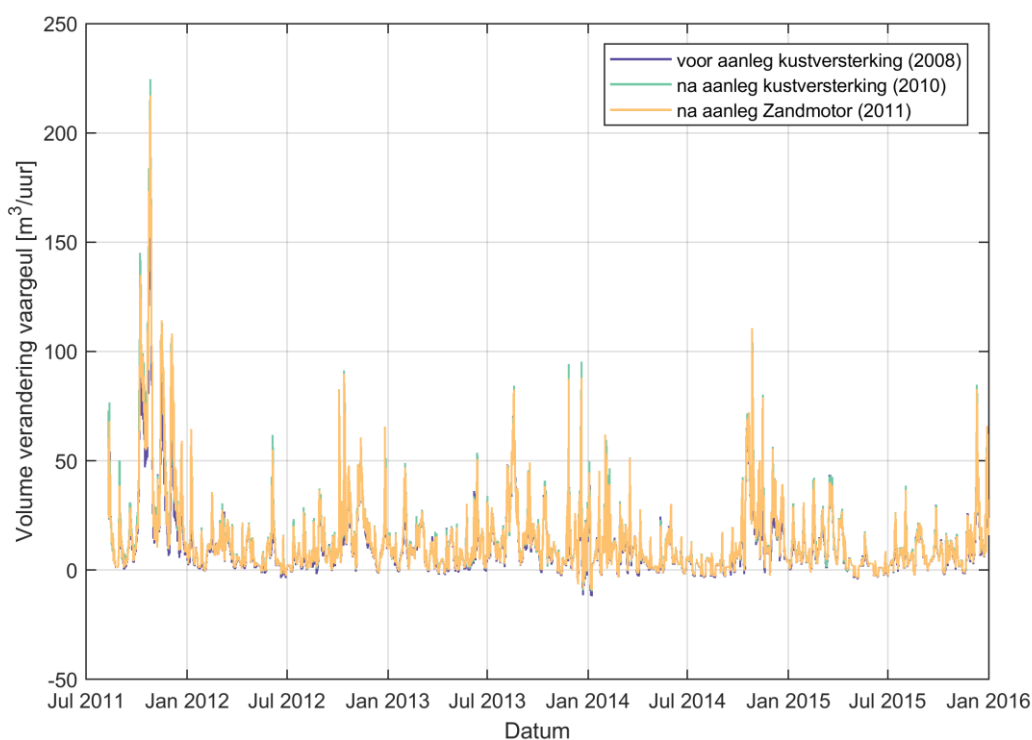


Uit deze resultaten valt op te maken dat de invulling van de vaargeul van Scheveningen het sterkst is bij langere periodes van stormcondities met hogere golfhoogtes. Tevens is de variatie van golfhoogtes over de jaren is ook terug te zien in de invulling van de vaargeul. De invulling varieert als verwacht over de seizoenen maar varieert ook per jaar. In bijvoorbeeld begin 2012 is er veel meer invulling dan een jaar later. Deze jaarlijkse variatie heeft ook zijn weerslag op hoeveel er jaarlijks gebaggerd moet worden door het havenbedrijf.

### Morfologische berekeningen

In aanvulling op de met de conditiematrix bepaalde invulling van de vaargeul over de tijd, zijn ook middellange termijn morfologische berekeningen met bodemveranderingen gemaakt. In deze berekeningen wordt ook een mogelijk indirect effect van aanzanding bij Scheveningen meegenomen. Hierdoor zou de invulling van de vaargeul namelijk groter kunnen worden over de tijd.

In het Delft3D model wordt continu gebaggerd als de bodemhoogte in de vaargeul te ondiep wordt. Dit betekent dat niet alle invulling in de bodemveranderingen zelf terug te zien zijn. Als de berekende gebaggerde volumes ook meegenomen worden geeft dit het beeld van invulling van de vaargeul als in Figuur 3.18. Er is te zien dat er een grote variabiliteit is in de invulling is over de verschillende jaren. Er is bijvoorbeeld een veel sterkere invulling in het begin van de simulatie. Dit zou theoretisch ook door inspeleffecten van het Delft3D model kunnen komen, maar de cumulatieve veranderingen in de vaargeul op basis van de conditiematrix toont hetzelfde beeld van sterke aanzanding tegen het einde van 2011 Figuur 3.19.



Figuur 3.18 Volume verandering in vaargeul voor bodems van 2008, 2010 en 2011.

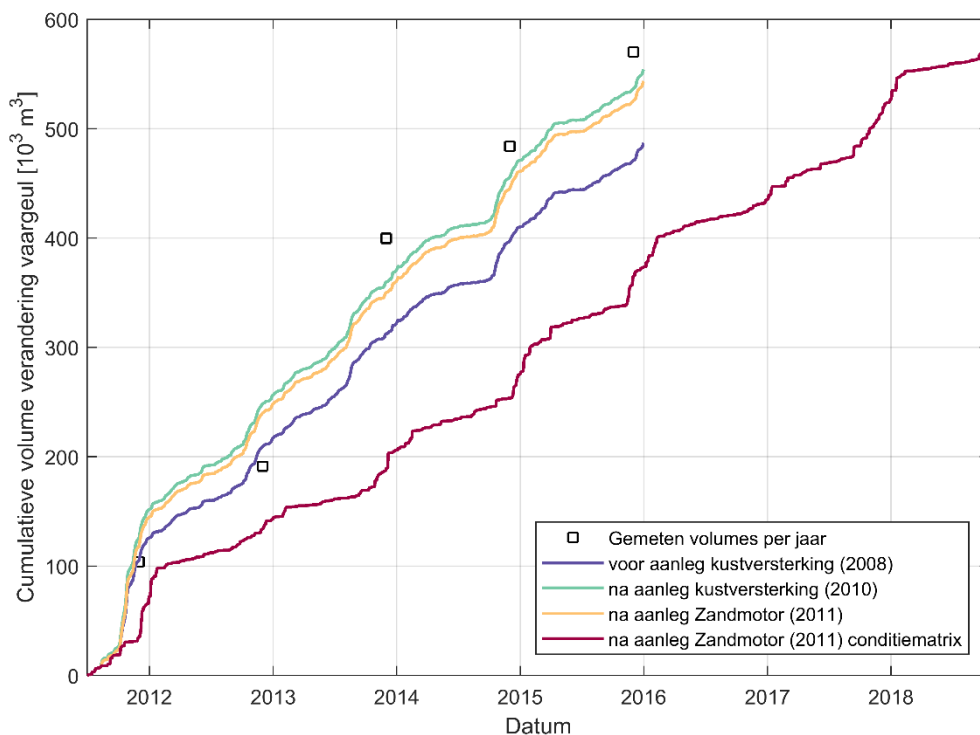
Figuur 3.19 laat zien dat de patronen van de cumulatieve aanzandingsvolumes vergelijkbaar zijn voor de drie situaties (voor/na kustversterking en na aanleg Zandmotor). In de eerste 5 jaar is er nauwelijks een verschil te zien door de toevoeging van de Zandmotor in het model. De invulling is zelfs een beetje lager dan de situatie zonder de Zandmotor, maar dit komt waarschijnlijk door initiële bodemverschillen rondom de haven van Scheveningen. Deze verschillen zijn duidelijk nog een factor kleiner dan de impact door de

toevoeging van de kustversterking, wat een groter effect heeft (toename totale invulling eind 2015 van ongeveer 65.000 m<sup>3</sup> ten opzichte van 15.000 m<sup>3</sup> voor toevoeging Zandmotor). Deze kustversterking zorgt voor een meer zeewaartse positie van de kust dichtbij Scheveningen waardoor sediment de havendammen makkelijker kan bypassen, en daarmee ook voor meer invulling van de haven zorgt.

De variatie van de aanzanding in de tijd (i.e. met name in het stormseizoen) is zowel te zien voor de morfologische berekeningen als voor de resultaten die herleidt zijn op basis van de conditiematrix (Figuur 3.19). Opvallend is dat op basis van de conditiematrix met initiële sedimentatie-erosie berekeningen de invulling wordt onderschat in vergelijking met de metingen in tegenstelling tot de middellange-termijn morfodynamische berekeningen over 5 jaar. Dit toont aan dat het meenemen van morfologische veranderingen van de bodem belangrijk is voor de sedimentatie in de vaargeul. Met de doorgevoerde verbeteringen zijn de gesimuleerde aanzandingsvolumes in vergelijkbare orde grootte als de metingen.

Overgebleven verschillen dienen gezocht te worden in het bezinken van fijn sediment in de vaargeul in werkelijkheid. Dit is echter niet meegenomen in de berekeningen, aangezien verwacht mag worden dat de beschikbaarheid van fijn sediment (o.a. silt en klei) weinig veranderd is na aanleg van de Zandmotor. Er zal na het uitspoelen van het suppletiezand in de eerste jaren na aanleg daarna ook fijn materiaal vrijkomen wat een klein effect zou kunnen hebben.

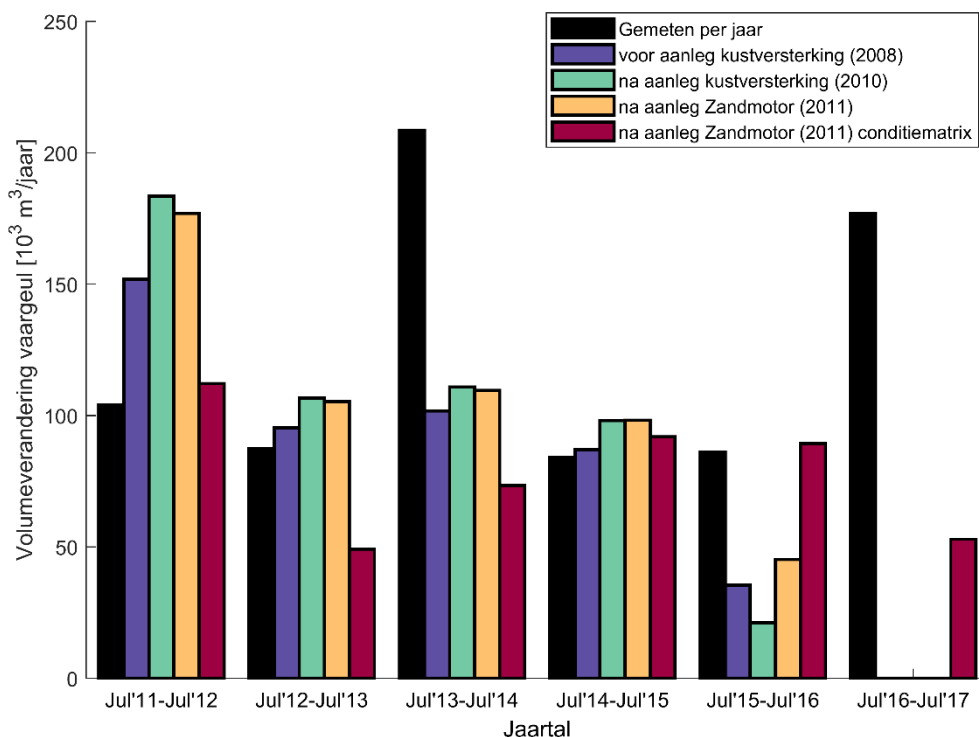
De sterke aanzanding in het begin van de simulatie heeft te maken met de zwaardere golfcondities die zijn opgetreden in de eerste winter na aanleg van de Zandmotor ten opzichte van de navolgende jaren. Dit betreft dus geen inspeeeffect, wat ook wordt bevestigd door de resultaten die op basis van de conditiematrix zijn verkregen waarvoor een zelfde beeld optreedt (voor meer informatie zie paragraaf 3.4).



Figuur 3.19 Cumulatieve volume verandering in vaargeul zoals gemeten (vak 1,2,3 minus 1A), voor bodems van 2008, 2010 en 2011 met middellange termijn morfodynamische berekeningen en voor bodem 2011 op basis van conditiematrix.

Het cumulatieve volume van de aanzanding in de vaargeul van Scheveningen kan ook per jaar worden gevisualiseerd (Figuur 3.20). De hoeveelheid invulling is in alle drie de situaties vergelijkbaar. Het grootste verschil zit tussen de bodems met/zonder kustversterking. Tevens is de hoeveelheid aanzanding niet altijd

in dezelfde orde grootte als de daadwerkelijk gebaggerde hoeveelheden. Dit komt ook door gemaakte beslissingen om sommige jaren meer of minder te baggeren (of meer dan 1 keer). Ook is duidelijk dat er een flinke variabiliteit is in de jaarlijks te baggeren hoeveelheden tussen de 50.000 en 200.000 m<sup>3</sup> per jaar.



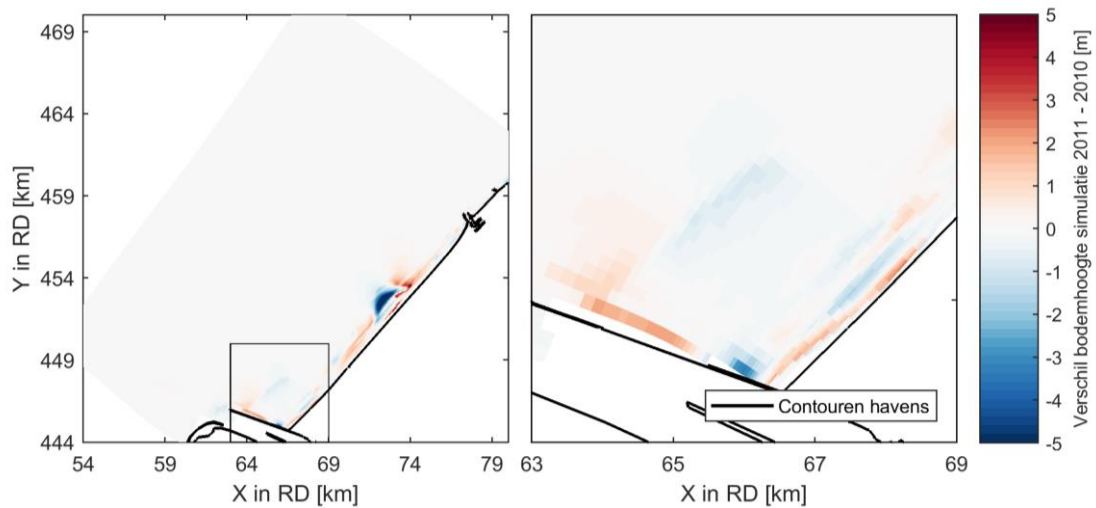
Figuur 3.20 Cumulatieve volume verandering in vaargeul per jaar zoals gemeten (vak 1,2,3 minus 1A), voor bodems van 2008, 2010 en 2011 met middellange termijn morfodynamische berekeningen en voor bodem 2011 op basis van conditiematrix.

Uit deze resultaten valt dus op te maken dat er geen duidelijk effect is van de aanleg van de Zandmotor op de aanvoer van zand naar de vaargeul van Scheveningen. Het effect van de verbreding van de kust tijdens de kustversterking na 2008 is duidelijk te zien. Tevens zijn de onderlinge verschillen tussen de 3 situaties kleiner dan de jaarlijkse variabiliteit in aanzanding van de veergeul.

### 3.5.2 Aanzanding haven Rotterdam

Voor het kijken naar het effect van de Zandmotor op de aanzanding van de haven van Rotterdam worden de eerder besproken simulaties nader bekeken voor dit gebied. In Figuur 3.7 en Figuur 3.9 is eerder al getoond wat het verschil in bodemhoogte is na 5 jaar voor de simulaties zonder en met de Zandmotor. Om naar mogelijke aanzanding van de haven van Rotterdam te kijken wordt hier nu naar dit gebied ingezoomd.

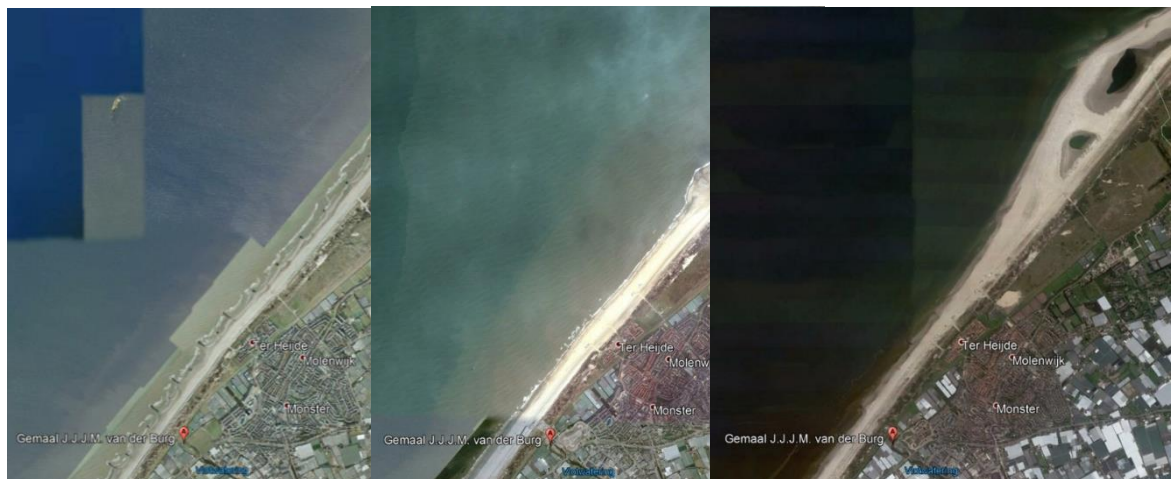
Om eerlijk te vergelijken wat het effect van de zandmotor is, zijn de relatieve verschillen (bodem na 5 jaar – initieel) voor de situaties met bodem met/zonder Zandmotor van elkaar afgetrokken (Figuur 3.21). De figuur laat zien dat er naast kleine verschuivingen van de banken voor Hoek van Holland hier geen extra sedimentatie optreedt door de aanleg van de Zandmotor. Het duidt erop dat op deze tijdschaal geen extra aanzanding te verwachten is ten toedoen van de Zandmotor. Daarbij komt nog dat het door het netto noordwaarts gerichte sediment transport langs de Hollandse kust onwaarschijnlijk is dat dit sediment daarbij in de vaargeul van Rotterdam zou kunnen komen.



Figuur 3.21 Relatieve bodem verschil tussen initiële bodem en na 3 jaar afgetrokken voor bodem situatie 2011 met Zandmotor en situatie 2010 zonder Zandmotor maar met kustversterking.

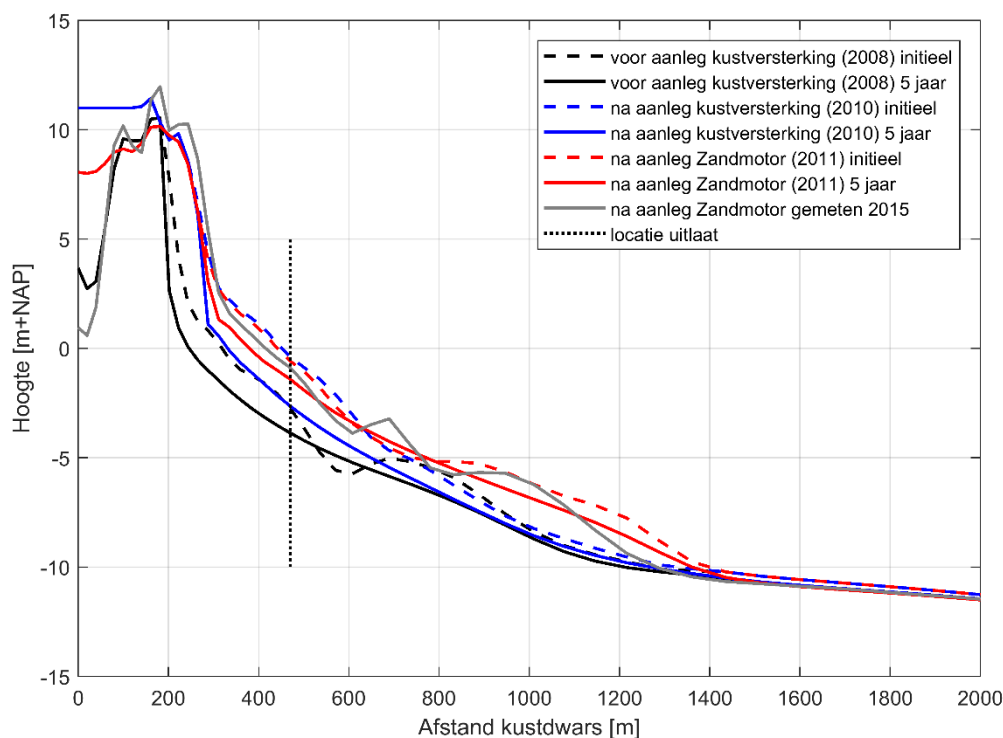
### 3.5.3 Beoordeling verzanding uitlaat Van der Burg gemaal

De uitlaat van de het J.J.J.N. van der Burg gemaal ligt op het strand bij Vlotwatering, net westelijk van Monster (Figuur 3.22). Ten tijde van voor de kustversterking was de kust duidelijk minder breed en waren de strekdammen nog zichtbaar. Na de kustversterking zijn deze helemaal bedolven, ook is hier net het begin van de aanleg van de Zandmotor te zien. Na aanleg van de Zandmotor ziet de kust er boven water vergelijkbaar uit als ervoor, al is het duidelijk dat de Zandmotor erg dichtbij ligt. Dit is zo'n 2,5 km tot het begin van de Zandmotor en zo'n 4 km tot het midden. Het is dus waarschijnlijk dat een deel van het langs de kust verspreide sediment van de Zandmotor ook voor de uitlaat van het gemaal zal geraken. Op basis van de in paragraaf 3.3 getoonde resultaten is dit ook te zien.



Figuur 3.22 Luchtfoto Delflandse kust ter plaatse van het J.J.J.M. Van der Burg gemaal (Google Earth). Links: 2008; Midden : 2011; Rechts : 2018.

Uit de berekende en gemeten kustprofielen in een dwarsprofiel ter hoogte van de uitlaat van het gemaal is zien dat de kustversterking een grote invloed op het profiel heeft gehad (Figuur 3.23). Het duin is door de versterking zo'n 60 m naar voren gekomen (blauwe ten opzichte van zwarte lijnen). De precieze hoogte van de uitlaat is niet bekend maar zal rond 0 m NAP liggen. Voor de 5-jarige modelsimulatie met de bodems van 2008 en 2010 is te zien dat de bodem dichtbij de kust afgevlakt wordt tussen NAP+3 m en -7 m doordat het profiel zich aanpast aan de nieuwe situatie. Bij de initiële bodem van 2011 is in dieper water duidelijk de invloed van de daar geplaatste vooroever suppletie te zien. Hiernaast kan er ook al sediment van de Zandmotor deze locatie bereikt hebben. Na 5 jaar blijft het profiel in tegenstelling tot de simulatie met de bodem van 2010 wel grotendeels stabiel. Dit duidt op extra sediment toevoer wat deels door de vooroeversuppletie maar waarschijnlijk ook deels door de Zandmotor geleverd wordt. Dit profiel komt in grote lijnen overeen met wat er in het veld gemeten is in dezelfde periode (grijze lijn). Het is niet bekend of de zeewaartse kustverplaatsing effect heeft op de spuicapaciteit.



Figuur 3.23 Verandering bodem in 5 jaar volgens modelberekening voor situatie voor en na aanleg Zandmotor, in grijs is een gemeten bodem uit midden 2015 weergegeven evenals de locatie van de uitlaat van het gemaal..

### 3.6 Discussie

In deze modelstudie is er vergeleken wat de morfologische impact is van de Zandmotor op de vaargeul van Scheveningen. De gebruikte opzet van het model is adequaat voor de uitgevoerde simulaties, maar hierbij zijn wel enkele discussiepunten te benoemen. Ten opzichte van de opzet van (Luijendijk et al., 2019) zorgt de toevoeging van meerdere sediment fracties (in feite het meenemen van variatie in korrelgrootte in de mix van bodemsediment) ervoor dat er meer sediment transport is op dieper water. Tevens is de invulling van de vaargeul groter doordat fijner zand makkelijker getransporteerd wordt. Het verfijnen van het rekenrooster rondom de haven zorgt ervoor dat de bodem hier beter gerepresenteerd wordt en er minder scherpe gradiënten en erosie in de haven optreden.

Echter zijn er ook een aantal aannames gedaan. Zo is er bij het gebruik van de multi-fractie berekeningen voor gekozen om de sediment samenstellingen van de Zandmotor ruimtelijk uniform toe te passen. Dit is een versimpeling van de werkelijkheid omdat deze samenstelling kustdwars varieert. Volgens Huisman et al. (2018) zijn de korrelgroottes dicht bij de kust grover dan op dieper water. Omdat de bodemsamenstelling niet voor het hele gebied bekend is, is ervoor gekozen deze ruimtelijk uniform te houden. De verwachting is dat hierdoor de grootte van het transport enigszins kleiner zou kunnen zijn dan in werkelijkheid waarin er op de vooroever iets fijner zand ligt. De conclusies over onderlinge verschillen voor de situaties (met/zonder kustversterking en na aanleg Zandmotor) en jaarlijkse variabiliteit zal dit niet beïnvloeden. Hetzelfde geldt voor de keuze om niet 3D maar 2DH te rekenen en ook wordt niet verwacht dat dichtheidsgedreven stromingen het relatieve verschil in aanzanding voor de situatie met en zonder de Zandmotor sterk beïnvloeden.

In het Delft3D model wordt continu sediment weggebaggerd terwijl dit in de werkelijkheid één of twee keer per jaar gebeurt. Hierdoor is de diepte in het model iets constanter dan in werkelijkheid het geval is, aangezien er in de praktijk 'overdredging' plaats vindt om een buffergebied te maken voor de komende periode. Echter verwacht wordt dat hierdoor geen grote verschillen in sedimentatie zullen optreden, aangezien de dieptevariatie door 'overdredging' klein is ten opzichte van de algemene verdieping ter plaatse van de geul. De aanvoer van zand wordt meer bepalend geacht voor de aanzanding dan de precieze diepte van de geul.

Het is verder opvallend dat de berekende volumes voor de cumulatieve invulling van de vaargeul van Scheveningen lager liggen dan de gemeten opgegeven gebaggerde volumes. Verwacht wordt dat dit gerelateerd is aan de sedimentatie van slib die niet is meegenomen in de gekozen modellering. Ook ligt het in de mogelijkheden dat de kalibratie van het model (met een transportkalibratie van 50%), die is uitgevoerd op basis van de verspreiding van zand vanaf de Zandmotor, niet per se de beste afstelling is om de aanzanding van een vaargeul op dieper water door te rekenen. En verder zou de eerder benoemde ruimtelijk uniforme korrelgrootte verdeling van invloed kunnen zijn op de absolute grootte van het transport op de vooroever ter plaatse van de vaargeul. Echter al van deze oorzaken hebben geen invloed op de relatieve vergelijking die in deze studie gemaakt wordt tussen de verschillende situaties (met/zonder kustversterking en na aanleg Zandmotor) of tussen jaarlijks variërende condities.

De effecten op tijdschalen van decennia zijn niet bekeken door de hoge vereiste rekenkracht van gebruikte simulaties. Er wordt hierbij aangenomen dat de getoonde kleine verschillen tussen de situaties dan nog steeds gelden. In de praktijk zal het verschil mogelijk oplopen in de tijd (o.a. door verspreiding van zand vanaf de Zandmotor naar Scheveningen). Over de beschouwde periode van vijf jaar kon hier nog geen invloed van worden waargenomen, waardoor deze vergroting door de tijd heen waarschijnlijk ook op langere tijdschalen beperkt zal zijn. Echter het ligt voor de hand dat er in de komende decennia nog veel zal veranderen aan de kustlijn van Nederlands, waardoor het ook niet perse zinvol is om naar zeer lange-termijn effecten te kijken van een individuele maatregel.



## 4 Conclusies en toetsing evaluatievragen

### 4.1 Conclusies

Deze studie onderzoekt het relatieve belang van de Zandmotor voor de aanzanding in de havengeulen van Rotterdam en Scheveningen, alsmede de verwachte invloed ter plaatse van het J.J.J.M. van der Burg gemaal in Monster. Hieruit komt naar voren dat:

- De aanzanding van de vaargeul van Scheveningen door zandig sediment sterk bepaald wordt door jaarlijkse en seizoens-variaties in golfcondities. Eind 2011 is er bijvoorbeeld veel meer invulling met zand dan eind 2012 door gemiddeld hogere golfhoogtes.
- Met name stormcondities uit het westen of noordwesten met significante golfhoogtes groter dan 2 meter zorgen voor sterke aanzanding. Hierbij is het systeem gevoeliger voor de golfrichting dan de golfhoogte. In feite overheerst tijdens deze condities de invulling van de vaargeul door de golf-gedreven stroming die van de getij-gedreven stroming.
- De toegepaste kustversterkingen (Zandmotor en kustversterking) dragen weinig bij aan de aanzanding van de vaargeul in de eerste 5 jaar na aanleg van de Zandmotor. Op lange-termijn kan er enige bijdrage zijn, maar de invloed hiervan wordt kleiner ingeschat dan de impact van de jaarlijkse variabiliteit in de golfcondities.
- De verbreding van de kust door de kustversterking Delflandse kust had een groter effect op de aanzanding van de vaargeul van Scheveningen dan de Zandmotor (65.000 om 15.000 m<sup>3</sup> na 5 jaar).
- Er is geen waargenomen effect van de aanleg van de Zandmotor op de hoeveelheid aanzanding van de vaargeul van Rotterdam.
- De aanleg van de kustversterking in 2009 en de zuidwestelijke vooroeversuppletie van de Zandmotor hebben geleid tot een zeewaartse verplaatsing van de kustlijn ter plaatse van de uitlaat van het Van der Burg gemaal. De uitlaat is echter nog steeds vrij.

### 4.2 Toetsing evaluatievragen

De analyses in deze rapportage dragen bij aan de evaluatie van (mogelijke) ongewenste effecten op de natte infrastructuur als gevolg van de realisatie van de Zandmotor (EF4-5):

*EF4-5: Zijn er ongewenste effecten van de Zandmotor voor de natte infrastructuur en kunnen deze worden voorkomen met beheersmaatregelen?*

Deze vraag wordt beantwoord door eerst de invloed te beschouwen op de aanzanding van de vaargeulen van Rotterdam en Scheveningen (EF4-5a). Daarnaast worden de veranderingen in de kustpositie bij het J.J.J.M. van der Burg gemaal gebruikt voor een kwalitatieve beoordeling van de invloed van de Zandmotor op deze spuilocatie (EF4-5b). Daarnaast is de spin-off van kennis voor toekomstige projecten van belang, aangezien op basis van deze studie kan worden vastgesteld waarop gelet moet worden bij toekomstige maatregelen (EF2-3a).

#### 4.2.1 Evaluatievraag EF4-5a : Aanzanding toegangsheuven havens

*EF4-5a: Is er extra aanzanding van de toegangsheuven van de havens van Rotterdam en Scheveningen die aan de Zandmotor toegeschreven kan worden?*

Door de aanleg van de Zandmotor is de aanzanding van de havengeul van Rotterdam niet veranderd en is de aanzanding van de vaargeul van Scheveningen in de eerste vijf jaar na aanleg vrijwel niet toegenomen (EF4-5a). De invloed van de kustversterking Delflandse kust op de aanzanding van de

vaargeul van Scheveningen was groter dan de invloed van de Zandmotor. Opgemerkt dient echter te worden dat de jaarlijkse variaties in golfcondities er voor zorgen dat er grote jaarlijkse verschillen zijn in de mate van aanzanding van de geulen. Deze invloed van de natuurlijke condities op de jaarlijkse aanzanding in de vaargeul van Scheveningen is aanzienlijk groter dan de invloed van de kustversterking of Zandmotor. Deze hoeveelheid varieert tussen de 50.000 en 200.000 m<sup>3</sup> per jaar afhankelijk van de jaarlijkse condities, ten opzichte van de 15.000 en 65.000 m<sup>3</sup> ten gevolge van de Zandmotor en Kustversterking over een periode van 5 jaar. Op de langere termijn (orde 20 jaar) wordt verwacht dat er enige uitbouw kan zijn van de kustlijn zuidelijk van Scheveningen als gevolg van suppletiezand van de Zandmotor, maar hiervan is op dit moment nog geen sprake. Ook zal de Zandmotor dermate uitgespreid zijn dat het effect op de aanvoer van zand dan naar verwachting beperkt zal zijn. Verwacht wordt dat het effect niet groter zal zijn dan dat van de versterking van de Zwakke schakels én kleiner dan de jaarlijkse variabiliteit.

Naast zand bezinkt er echter ook slib in de vaargeul van de haven van Scheveningen. Deze hoeveelheid zou kunnen veranderen als de hydrodynamica lokaal sterk veranderd. Een verandering in de hydrodynamica bij de haven van Scheveningen als gevolg van de Zandmotor kon echter niet worden waargenomen, waardoor het niet in de verwachting ligt dat er een invloed is van de Zandmotor op de sedimentatie van slib in de vaargeul van Scheveningen. Verwacht wordt dat de variatie in aanvoer van fijn sediment vanuit de Nieuwe Waterweg een belangrijkere parameter is voor sedimentatie van slib in de vaargeul.

#### **4.2.2 Evaluatievraag EF4-5b : Verzanding uitlaat Van der Burg gemaal**

*EF4-5b: Is er verzanding van de uitlaat van het J.J.J.M. van der Burg gemaal die aan de Zandmotor toegeschreven kan worden?*

Er is verzanding rondom de uitlaat van het Van der Burg gemaal die aan de aanleg van met name de vooroeversuppletie naast de Zandmotor toegeschreven kan worden. De kustlijnpositie bij het gemaal stabiel over de eerste vijf jaar na aanleg van de Zandmotor. Op het strand en in de duinen is de zeewaartse verplaatsing met name toe te schrijven aan de kustversterking Delflandse kust. Het wordt niet verwacht dat de Zandmotor ter plaatse van het gemaal voor veel extra uitbouw van de kust zal zorgen, maar eerder zal dit dan komen door nieuwe suppleties bij Hoek van Holland, 's Gravenzande of Ter Heijde. Overigens is niet bekend of de spuicapaciteit beïnvloed wordt door de huidige kustligging.

#### **4.2.3 Evaluatievraag EF2-3a : Spin-off kennis**

*EF2-3a: In hoeverre is de ontwikkelde kennis en methodologie breder toepasbaar voor het ontwikkelen van zandige strategieën en innovaties daarin?*

De uitgevoerde studie verbeterd de kennis op het gebied van het modelleren van middellange termijn morfologie ten behoeve van kustonderhoud. Het gebruik van meerdere sedimentfracties is belangrijk is voor een accurate voorspelling van zandtransporten op de vooroever ten behoeve van de kwantificatie van de aanzanding van vaargeulen. Tevens is er kennis opgedaan over het gedetailleerd implementeren van havens in lange termijn morfologische simulaties. Hierdoor ligt er nu een verbeterd model voor de Delflandse kust. Ten slotte is er kennis opgedaan over de condities die sterke aanzanding in de vaargeul van Scheveningen veroorzaken en dat er voor toekomstige maatregelen rekening gehouden moet worden met de jaarlijkse variabiliteit in deze aanzanding van de vaargeul.



## Referenties

- De Boer B.V. (2017), Baggertotalen onderhoudsbaggerwerk Scheveningen, Baggerbedrijf de Boer B.V.
- De Boer B.V. (2019), Kaart onderhoudsbaggeren Scheveningen, Baggerbedrijf de Boer B.V.
- Huisman, B.J.A. (2018). Herziening evaluatievragen Zandmotor monitoring 2017-2021. Deltares Memo 11201431-001-ZKS-0004, In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. 23 april 2018.
- Huisman, B.J.A., Quataert, E., Alvarez Antolinez, J.A. (2019). Sedimentbalans Delflandse kust. Analyse van morfologische verandering en sedimenttransport rond de Zandmotor in de periode 2011 tot 2018. Deltares rapport 11201431-001-ZKS-0008. Mei 2019.
- Huisman B.J.A., Walstra D.J.R., Radermacher M, de Schipper M.A., Ruessink B.G. Observations and Modelling of Shoreface Nourishment Behaviour (2019b). *Journal of Marine Science and Engineering* : 7(3):59.
- Radermacher, M., De Schipper, M.A., Price, T.D., Huisman, B.J.A., Aarninkhof, S.G.J., Reniers, A.J.H.M. (2018). Behaviour of subtidal sandbars in response to nourishments. *Geomorphology* 313, pp. 1–12.
- Lesser, G.R., Roelvink, J.A., van Kester, J.A.T.M., Stelling, G.S. (2004). Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coast. Eng.* 51, 883–915. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.014>
- Luijendijk, A., Huisman, B., De Schipper, M. (2015). IMPACT OF A STORM ON THE FIRST-YEAR EVOLUTION OF THE SAND ENGINE. *Proc. Coast. Sediments 2015*, World Sci.
- Luijendijk, A.P., Ranasinghe, R., de Schipper, M.A., Huisman, B.A., Swinkels, C.M., Walstra, D.J.R., Stive, M.J.F. (2017). The initial morphological response of the Sand Engine: A process-based modelling study. *Coast. Eng.* 119, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.09.005>
- Luijendijk, A.P., de Schipper, M.A., Ranasinghe, R. (2019). Morphodynamic acceleration techniques for multi-timescale predictions of complex sandy interventions. *J. Mar. Sci. Eng.* 7. <https://doi.org/10.3390/jmse7030078>
- PZH (2010). Projectnota/ MER. Aanleg en zandwinning Zandmotor Delflandse kust. Auteur: Provincie Zuid-Holland. Februari 2010, definitief.
- Ranasinghe, R., Swinkels, C., Luijendijk, A., Roelvink, J.A., Bosboom, J., Stive, M.J.F., Walstra, D.J.R. (2011). Morphodynamic upscaling with the MorFac approach: dependencies and sensitivities. *Coastal Engineering* 58, 806–811. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.03.010>.
- Taal, M.D., B. Arens, K. Kuijper, P.K. Tonnon, L. van der Valk, C.T.M. Vertegaal, J.W.M. Wijsman (2017). Uitvoeringsprogramma Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor, Fase 3: periode 2017 t/m 2021.
- Tonnon, P.K., Van der Valk, L., Holzhauser, H., Baptist, M.J., Wijsman, J.W.M., Vertegaal, C.T.M. en Arens, S.M. (2011). Uitvoeringsprogramma Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor. Deltares/IMARES. Rapport 1203519-000.

- Tonnon, P.K., Huisman, B.J.A., Stam, G.N. and Van Rijn, L.C. (2018). Numerical modelling of erosion rates, life span and maintenance volumes of mega nourishments. *Coastal Engineering*, Vol. 131, pp. 51-69.
- Van Rijn, L.C. (1995). Sand budget and coastline changes of the central coast of Holland between Den Helder and Hoek van Holland, period 1964-2040. H2129 Deltares (WL).
- Van Rijn, L. C. (2007a). Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6):649–667.
- Van Rijn, L. C. (2007b). Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves II: Suspended Transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6):668–689.
- Van Rijn, L. C. (2007c). Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves III: Graded Beds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(7):761–775.
- Wijnberg, K.M. (2002). Environmental controls on decadal morphologic behaviour of the Holland coast. *Mar. Geol.* 189, 227–247. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00480-2](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00480-2).
- Zijl, F., Verlaan, M., Gerritsen, H. (2013). Improved water-level forecasting for the Northwest European Shelf and North Sea through direct modelling of tide, surge and non-linear interaction. Topical Collection on the 16th biennial workshop of the Joint Numerical Sea Modelling Group (JONSMOD) in *Bre. Ocean Dyn.* 63, 823–847. <https://doi.org/10.1007/s10236-013-0624-2>.

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

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)