

Eindrapport Quick Reaction Force 2020

Samenvatting van activiteiten, voorbeeldresultaten en aanbevelingen voor stormseizoen 2021



Eindrapport Quick Reaction Force 2020

Samenvatting van activiteiten, voorbeeldresultaten en aanbevelingen voor stormseizoen 2021

Auteur(s)

Bart Grasmeijer

Joana van Nieuwkoop

Eindrapport Quick Reaction Force 2020

Samenvatting van activiteiten, voorbeeldresultaten en aanbevelingen voor stormseizoen 2021

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer Gerrit Burgers
Referenties	KPP-Versterking Onderzoek Waterveiligheid (VOW)
Trefwoorden	Quick Reaction Force

Documentgegevens

Versie	1.2
Datum	22-12-2020
Projectnummer	11205235-006
Document ID	11205235-006-ZWS-0005
Pagina's	27
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Bart Grasmeijer	
	Joana van Nieuwkoop	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.1	Bart Grasmeijer 	Ellen Quataert 	Toon Segeren 	
	Joana van Nieuwkoop			

Samenvatting

Het doel van de Quick Reaction Force (QRF) is om waterveiligheidskennis te verbeteren door betere acquisitie, ontsluiting en gebruik van velddata rondom stormen en hoogwaterstanden. Om dit te bereiken, biedt de QRF een structuur voor een betere afstemming tussen de betrokken stakeholders over de ontsluiting van velddata, het inwinnen van (eventueel extra) metingen en voor het opstellen van gemeenschappelijke rapportages door de verschillende partijen tijdens stormen, en zo de samenwerking tussen Rijkswaterstaat, waterschappen, universiteiten en Deltares te bevorderen. Dit met als uiteindelijk doel om de kennis van waterveiligheid continue te blijven ontwikkelen. Een voorbeeld is de kennisontwikkeling van XBeach voor het Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium (BOI) Zandige Keringen. Dit rapport beschrijft de beoogde en uitgevoerde QRF werkzaamheden in 2020, voorbeeldresultaten en aanbevelingen voor het seizoen 2021.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond en doelstelling QRF	6
1.2	Doel en inhoud van dit document	7
2	Activiteiten, voorbeeldresultaten en aanbevelingen	8
2.1	Activiteiten QRF-kust	8
2.1.1	Beoogde en uitgevoerde activiteiten	8
2.1.1.1	Studiegebied Egmond aan Zee	8
2.1.1.2	Metingen	9
2.1.1.3	XBeach-model	11
2.1.1.4	Interreg North Sea Region Building with Nature	11
2.1.2	Voorbeeldresultaten XBeach model	12
2.1.2.1	Inleiding	12
2.1.2.2	Stormcondities	13
2.1.2.3	Morfologische veranderingen	14
2.1.2.4	Modelopzet en simulaties	15
2.1.2.5	Resultaten	16
2.1.3	Aanbevelingen voor QRF-kust in 2021	19
2.2	Activiteiten QRF rivieren	21
2.2.1	Beoogde en uitgevoerde activiteiten	21
2.2.2	Voorbeeldresultaten	21
2.2.2.1	Kwantitatieve vergelijking golfpatronen	21
2.2.2.2	Stappenplan QRF rivieren	23
2.2.2.3	Metingen 2020	23
2.2.3	Aanbevelingen	24
	Referenties	25

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doelstelling QRF

Door het Delta Programma Waddengebied is aanbevolen een Quick Reaction Force (QRF) op te stellen, waarin Rijkswaterstaat, waterschappen, universiteiten en Deltares samenwerken bij het inwinnen, delen en ontsluiten van data van fysische processen tijdens extreme natuurlijke gebeurtenissen (stormen; cf. IMARES, 2014). Dit om voor, tijdens en na stormen zo optimaal mogelijk kennis te vergaren voor het beantwoorden van beheedersvragen en het adresseren van kennisleemtes op het gebied van waterveiligheid.

Vanuit verschillende beheerders (Rijkswaterstaat, Waterschappen Noorderzijlvest en Hollands Noorderkwartier) is de behoefte geuit om snel na een storm een analyse te kunnen maken over het effect ervan op de toestand van het beheerareaal. Beheerders hebben behoefte aan een adequate informatievoorziening (die soms van verschillende partijen moet komen) na een storm, en willen inzicht hebben of het daadwerkelijke effect ervan aansluit op de verwachtingen. Deze verwachtingen zijn gebaseerd op enerzijds de ervaring van de beheerder, anderzijds op basis van de beschikbare modellen.

Afgezien dat extra monitoring nodig kan zijn om acute risico's in te schatten (cf. dijkwachter door de waterschappen), geeft het, bijvoorbeeld tijdens stormen, meer inzicht in het onder extreme omstandigheden functioneren van het morfodynamisch systeem. Vanuit Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving (RWS-WVL), Deltares en de kennisinstituten is er behoefte aan validatie van kennis over waterveiligheid. Bijvoorbeeld t.b.v. het toetsen, ontwerpen en onderhouden van waterkeringen en behoefte aan adequate informatie over de impact van de storm in het kader van de landelijke informatie voorziening.

Door de jaren heen is veel kennis ontwikkeld over de effecten van stormen op de kust. Deze kennis wordt direct toegepast bij de toetsing van de kust als waterkering. Echter, het grootste deel van deze kennis is afkomstig uit laboratoriumproeven, onder andere in de Deltagoot van WL|Delft Hydraulics (nu Deltares). Er is maar beperkt validatiemateriaal beschikbaar dat gebaseerd is op veldmetingen.

Het doel van de Quick Reaction Force (QRF) is om waterveiligheidskennis te verbeteren door betere verwerving, ontsluiting en gebruik van velddata rondom stormen. Om dit te bereiken, biedt de QRF een structuur voor een betere afstemming tussen de betrokken stakeholders over ontsluiting van velddata, de verwerving van (eventueel extra) metingen en voor het opstellen van gemeenschappelijke rapportages door de verschillende partijen rondom stormen, en zo de samenwerking tussen partijen te bevorderen.

Binnen de QRF zijn vier onderzoeksthema's gedefinieerd:

1. Gedrag kustfundament en plaat-geul interacties;
2. Dynamiek strand, duinen, kwelders en overwash gebieden;
3. Voorspelbaarheid hoogwater Delfzijl.
4. Golfhoogtes in uiterwaarden van rivieren

Vanwege samenwerking met twee langlopende projecten en om het beschikbare budget zo efficiënt mogelijk in te zetten, heeft de QRF zich in 2020 gericht op onderzoeksthema's 2 en 4.

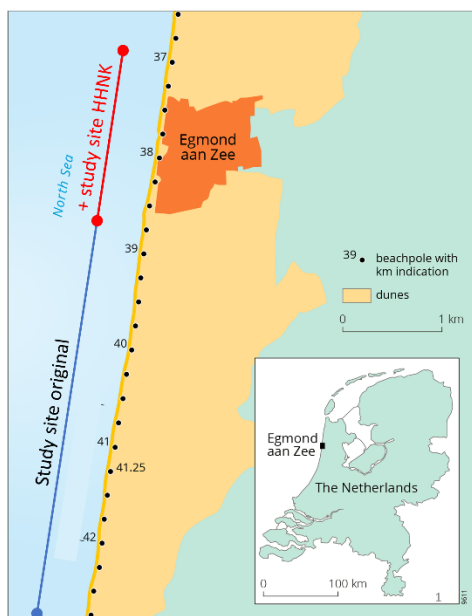
1.2 Doel en inhoud van dit document

Dit rapport beschrijft kort de beoogde en uitgevoerde QRF werkzaamheden in 2020, de voorbeeldresultaten en aanbevelingen voor het jaar 2021. De kust-gerelateerde activiteiten worden beschreven in paragraaf 2.1 en de rivieren-gerelateerde onder paragraaf 2.2.

2 Activiteiten, voorbeeldresultaten en aanbevelingen

2.1 Activiteiten QRF-kust

Voor het jaar 2020 stond uitbreiding van samenwerking met de Universiteit Utrecht centraal in een langlopend project bij Egmond aan Zee. Binnen deze samenwerking was beoogd om snel golfhoogtegegevens en 3D-ruimtelijke gegevens in te winnen en te vergelijken met een voor dit gebied opgezet XBeach-model. Figuur 2.1 toont het studiegebied. In het originele studiegebied zijn metingen beschikbaar in hoge temporele en ruimtelijke resolutie vanaf 2013 (Ruessink, 2019). In 2020 is het studiegebied uitgebreid met het interessegebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). In 2020 is eveneens samenwerking gestart met het Interreg North Sea Region Building with Nature (BwN) project.



Figuur 2.1 Locatie van het studiegebied met RSP-nummering. De oorsprong van het hier gebruikte lokale coördinatensysteem is strandpaal 41.25, met respectievelijk positieve x en y in de zeewaartse en zuidelijke richting. In 2020 is het studiegebied uitgebreid met het interessegebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK).

2.1.1 Beoogde en uitgevoerde activiteiten

2.1.1.1 Studiegebied Egmond aan Zee

Egmond aan Zee ligt aan de ongeveer 120 km lange Noord-Zuid georiënteerde Hollandse kust (Figuur 2.1). Het is een door golven gedomineerde kustlocatie. De jaargemiddelde offshore significante golfhoogte H_{m0} en periode T_{m02} zijn respectievelijk ongeveer 1,3 m en 4,5 s. Tijdens de winter is de maandelijkse gemiddelde H_{m0} aanzienlijk hoger dan in de zomer (1,8 versus 0,9 m). Tijdens noordwestelijke stormen kan H_{m0} oplopen tot meer dan 7 m. Het getij heeft een doottij- en springtijbereik van respectievelijk ongeveer 1,4 en 1,8 m. Stormvloed en kunnen de waterstand met meer dan 1 m verhogen, vooral wanneer de wind uit noordwestelijke tot noordelijke richting komt. De meest voorkomende winden komen echter uit het zuidwesten. Het intergetijdestrand is flauw hellend (1:40). Landwaarts van het hoogwaterniveau wordt het profiel steiler en op een hoogte van ongeveer 3 m boven het

gemiddelde zeeniveau (MSL), verandert het in een steile helling (1: 2.5) van het voorduin. Op 14 tot 17 m + NAP, vertoont het profiel een abrupte verandering in helling en gaat verder naar de top van het voorduin op een hoogte van 20 tot 25 m +NAP. Vooral dit laatste, meer zacht glooiende deel van de voorduin is dicht bedekt met Europees helmgras (*Ammophila arenaria*). De steile voorduinelling is het gevolg van eerdere duinerosiegebeurtenissen, waarbij de verandering in helling de locatie markeert waarnaar het voorduin is geërodeerd door afglijding. De variabiliteit langs de kust in de vorm en hoogte van het voorduin is klein. Gedurende meerdere jaren zonder duinerosie, kunnen embryodünen zich ontwikkelen aan de teen van het voorduin. Het goed gesorteerde zand (weinig variatie in korrelgrootte) heeft een gemiddelde korrelgrootte van 250 - 300 µm, met een neiging om in de landwaartse richting af te nemen.

2.1.1.2 Metingen

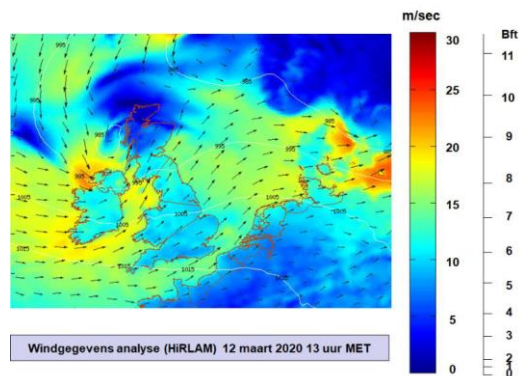
Voorafgaand aan het stormseizoen 2020 is op 8 november 2019 de bathymetrie van de vooroever bij Egmond aan Zee ingemeten met RTK-GPS gecombineerd met een single beam echosounder gemonteerd op een jetski, en op 10 november 2019 het strand en de duinen met mobile terrestrial laser scanning (MLS). De metingen zijn beschreven door Shore Monitoring (2019). We noemen dit een pre-storm survey. Ook zijn vijf golfhoogtemeters op het strand geplaatst met voldoende batterijen om het gehele stormseizoen 2020 te meten.

Vanaf zondag 8 maart gaven de lange-termijn verwachtingen een indicatie dat langs de kust verhoogde waterstanden op zouden gaan treden (Rijkswaterstaat, 2020). Vanaf dinsdagavond 10 maart gaven ook de korte termijnverwachtingen deze verhoogde waterstanden aan.

Donderdagmorgen 11 maart stond in het noorden een stormachtige westenwind (8 Bft) en in het zuiden was deze krachtig tot hard (6-7 Bft). In de loop van 12 maart kromp de wind naar zuidwest en nam in het noorden af naar hard.

In de middag van 12 maart trok een trog met buien oostwaarts over Nederland. Deze buienstoring viel samen met het hoogwater van Vlissingen. Figuur 2.2 toont de windgegevens 12 maart 2020 13.00 uur. Op vrijdag 13 maart bleef de wind overwegend hard (7 Bft) uit westelijke richtingen met in de nacht en ochtend in het noordelijk kustgebied deels stormachtig (8 Bft). Later in de ochtend en in de middag van vrijdag nam de wind sterk af (3-4 Bft) en ruimde naar noordelijke richtingen.

De krachtige tot stormachtige zuidwestenwind in de ochtend van 12 maart zorgde voor stormopzet langs de gehele kust, in het zuidwesten viel de opzet samen met laagwater, in het noorden werd bij Delfzijl een opzet van 1,33 m bereikt. Het middaghoogwater liet in het zuidwesten van de Nederlandse kust verhogingen van rond een halve meter zien, later ook bij afnemende windkracht in het waddengebied. De buienfront die in de middag van 12 maart overtrok zorgde voor iets hogere waterstanden bij Vlissingen en Hoek van Holland dan de modellen oorspronkelijk aangaven.



Figuur 2.2 Windgegevens 12 maart 2020 13.00 uur

Op 14 en 16 maart 2020 is de bodemhoogte van vooroever, strand en duinen bij Egmond aan Zee opnieuw en op dezelfde wijze ingemeten. Dit noemen we een post-storm survey. Figuur 2.3 toont een foto van de erosie van het voorduin als gevolg van de storm op 12 maart 2020.



Figuur 2.3 Erosie van het voorduin bij Egmond aan Zee als gevolg van storm op 12 maart 2020 © 2020 Foto door Shore Monitoring & Research.

Alle QRF-metingen bij Egmond aan Zee, inclusief de offshore golfddata en waterstanden zijn opgenomen in de QRF database¹. Ruessink et al. (2019) beschrijft de meerjarige dataset van de topografie van strand en voorduin en externe forceringen voor deze locatie.

¹ QRF database: <http://repos.deltares.nl/repos/QuickReactionForce>, zie ook <https://publicwiki.deltares.nl/display/QRF/Quick+Reaction+Force+Home>

2.1.1.3 XBeach-model

Een XBeach model (versie XBeachX release²) is opgezet voor het gebied ten zuiden van Egmond aan Zee, bij RSP-raai 41.25 met een grootte van 4.5 km kustlangs en 2.5 km in kustdwarse richting. Het rekenrooster heeft kustlangs een constante celgrootte van 5 m en in kustdwarse richting een variërende celgrootte van 1 tot 25 m. Voor de initiële bodem in het model is de topografische LiDAR bodemmeting van het strand en duinen op 7 januari 2019 samengevoegd met de (meest recente) bodemhoogtemeting van de vooroever in november 2018.

De hydraulische randvoorwaarden die zijn toegepast in de berekeningen zijn afkomstig uit de MATROOS database (<http://noos.matroos.rws.nl/>), en zijn gebaseerd op de observaties in de IJ-geul op een diepte van 20 m. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een periode van 36 uur van 8 januari 2019 00:00 tot 9 januari 2019 12:00 uur. Gedurende deze periode was er een maximale waterstand van 2.1 m t.o.v. NAP, golfperiode (T_p) van 14.5 s en golfhoogte (H_{m0}) van 5 m. De gemiddelde golfrichting varieert van 270 tot 340 graden t.o.v. Noord. Voor de modelinstellingen voor hydrodynamische en morfologische processen zijn de gekalibreerde instellingen voor de Hollandse kust gebruikt (WTI instellingen; Deltares, 2015). Om het effect van de (twee) zandbanken op de hydrodynamica en morfodynamica te testen, zijn er twee berekeningen uitgevoerd: 1) met morfodynamische zandbanken, en 2) morfostatische zandbanken. Bij 2) worden de zandbanken in het model vastgelegd (niet erodeerbaar), waardoor er geen bodemveranderingen kunnen optreden in het gebied van de zandbanken. Bij 1) kan er in het gehele domein bodemveranderingen plaatsvinden. De modelresultaten worden gevalideerd met de topografische LiDAR bodemmeting van het strand en duinen op 10 januari 2019. Ook zijn er metingen van waterstanden en golfhoogten beschikbaar om de hydrodynamica in het model te valideren.

2.1.1.4 Interreg North Sea Region Building with Nature

Het Interreg North Sea Region Building with Nature (BwN) project wordt gefinancierd door de Europese Unie en heeft tot doel kennis te ontwikkelen over Building with Nature door middel van proefprojecten om de toepassing van dit concept door Europese regeringen te stimuleren. In het BwN-project werken partners uit Nederland, Duitsland en Denemarken samen. Er zijn zeven kustlocaties geselecteerd ('levende laboratoria') om de evidence-based kennis te genereren die momenteel ontbreekt om bouwen met natuuro oplossingen op te nemen in nationaal beleid en investeringsprogramma's. Bergen-Egmond is een van de geselecteerde locaties en hier is het doel inzicht te krijgen in het gedrag van kust- en strandsuppleties met betrekking tot de zandige kustbeheerstrategie en kustkenmerken.

Binnen het BwN-project zal de Source-Pathway-Receptor (SPR) benadering worden gebruikt om te begrijpen waar sediment vandaan komt (de bron), wat de algemene netto-route is en waar deze sedimenten uiteindelijk bezinken (receptor). Dit geeft inzicht in de slimme toepassing van natuur gebaseerde oplossingen in het licht van de totale systeemverandering, zoals zeespiegelstijging. Van juni 2020 tot juni 2021 zal het project zich richten op het effect van Building with Nature-technieken op het beïnvloeden van de SPR voor stormvloedgebeurtenissen. XBeach zal worden gebruikt om te beoordelen hoe (voor elk geselecteerd lab) de Source Pathway en Receptor voor water en sediment zodanig kunnen worden beïnvloed dat er voordelen voor de samenleving of het ecosysteem (receptoren) kunnen worden behaald. Dit omvat:

1. Validatie van verwachte duinerosie tijdens stormvloedgebeurtenissen.
2. Uitvoeren van scenario's voor de strategische plaatsing van suppleties om de vermindering van duinerosie op korte termijn als gevolg van "ontwerp" stormvloeden te beoordelen.

² XBeach wiki: <https://publicwiki.deltares.nl/display/XBEACH/XBeach>

Om taak 1 (XBeach-validatie) te voltooien, zijn observaties van storm-impact op de kust van de labs nodig. Het BwN-project werkt hiertoe samen met de Quick Reaction Force. De ingewonnen dataset zal worden gebruikt om het XBeach-model in Bergen-Egmond te valideren met behulp van de XBeach-versie en gekalibreerde instellingen voor de Nederlandse kust; het Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium (BOI) voor primaire waterkeringen.

2.1.2 Voorbeeldresultaten XBeach model

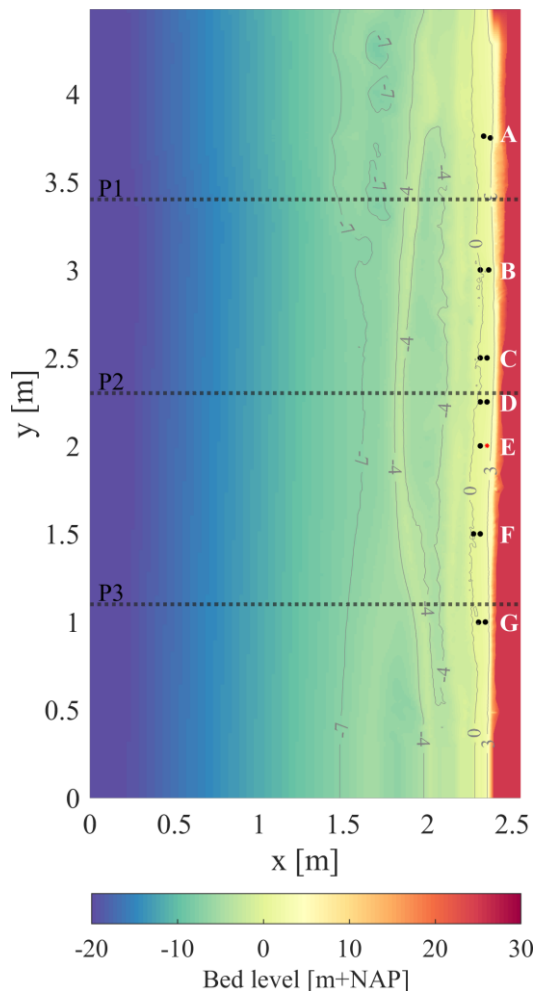
2.1.2.1 Inleiding

Verskillende onderzoeken laten zien dat XBeach locatie-specifieke kalibratie vereist (Splinter et al., 2011; Splinter en Palmsten, 2012; Callaghan et al., 2013; Simmons et al., 2019; Kalligeris et al., 2020).

De Winter et al. (2015) hebben een kalibratiestudie uitgevoerd voor de locatie bij Egmond aan Zee door de pre- en post-storm duinerosievolumes te vergelijken met de uitkomst van een XBeach-model. De studie suggereert dat de variatie langs de kust in de duinerosievolumes voornamelijk het gevolg is van variabiliteit in de initiële duintopografie en dat de (natte) bathymetrie minder invloed had. Echter, de complexe morfologie van bijvoorbeeld een intergetijde zandbank kan de golfdissipatie van de surfzone veranderen, wat op zijn beurt de golf-gedreven opzet, swash en runup aan de kustlijn zal veranderen (Cohn en Ruggiero, 2016). Bovendien, de golftransformatie, dissipatie en sedimenttransport worden expliciet gemodelleerd door XBeach en daarom is de kustnabije bathymetrie belangrijke invoer (Splinter en Palmsten, 2012). Schupp et al. (2006), Claudino-Sales et al. (2007) en Houser et al. (2008) suggereerden dat de kustlangse variabiliteit in bathymetrie de voornaamste oorzaak was van de verschillen in duinerosie langs de kust.

Voor de QRF-toepassing van XBeach en voor verder onderzoek naar strand- en duinerosie bij Egmond is het daarom van belang om de gevoeligheid van XBeach voor de kustnabije bathymetrie te evalueren. Dat is gedaan door metingen rond één enkele storm te vergelijken met de uitkomsten van het XBeach-model voor verschillende schematisaties van de kustnabije bathymetrie (Hoegen, 2020).

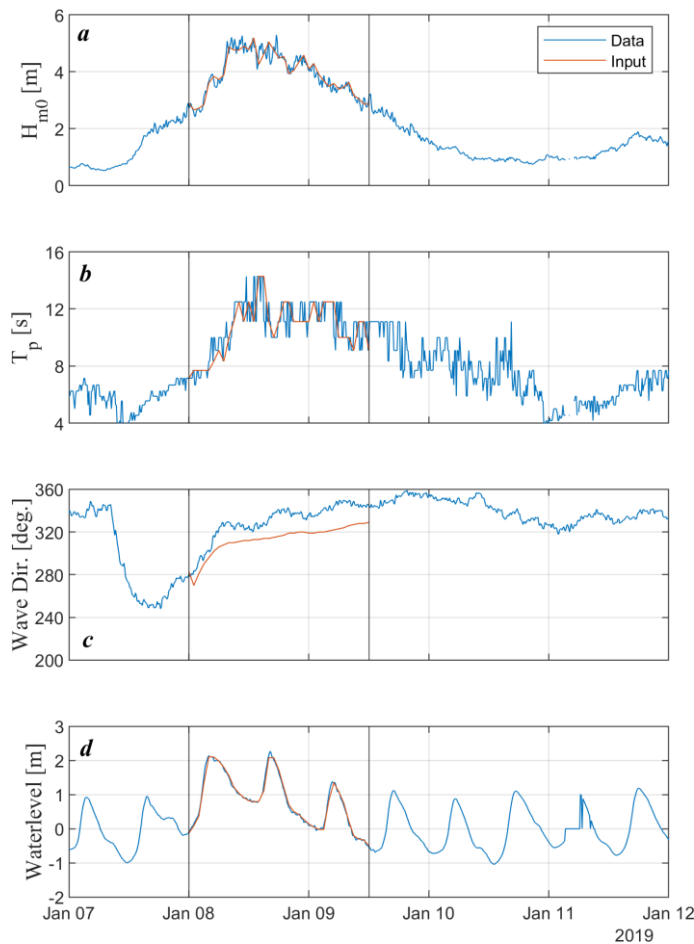
Gemeten en berekende golfhoogtes voor verschillende locaties op het strand. Gemeten en berekende bodemhoogteveranderingen vergelijken we in drie kustdwarse raaien. Figuur 2.4 toont de bathymetrie van het studiegebied met raaien P1 tot P3 aangegeven met de stippellijnen. De druksensoren worden aangegeven door de zwarte stippen met labels A tot G.



Figuur 2.4 De bathymetrie van het studiegebied met raaien P1 tot P3. De druksensoren worden aangegeven door de zwarte stippen met labels A tot G. De kleine rode ster geeft de argus-videotoren aan.

2.1.2.2 Stormcondities

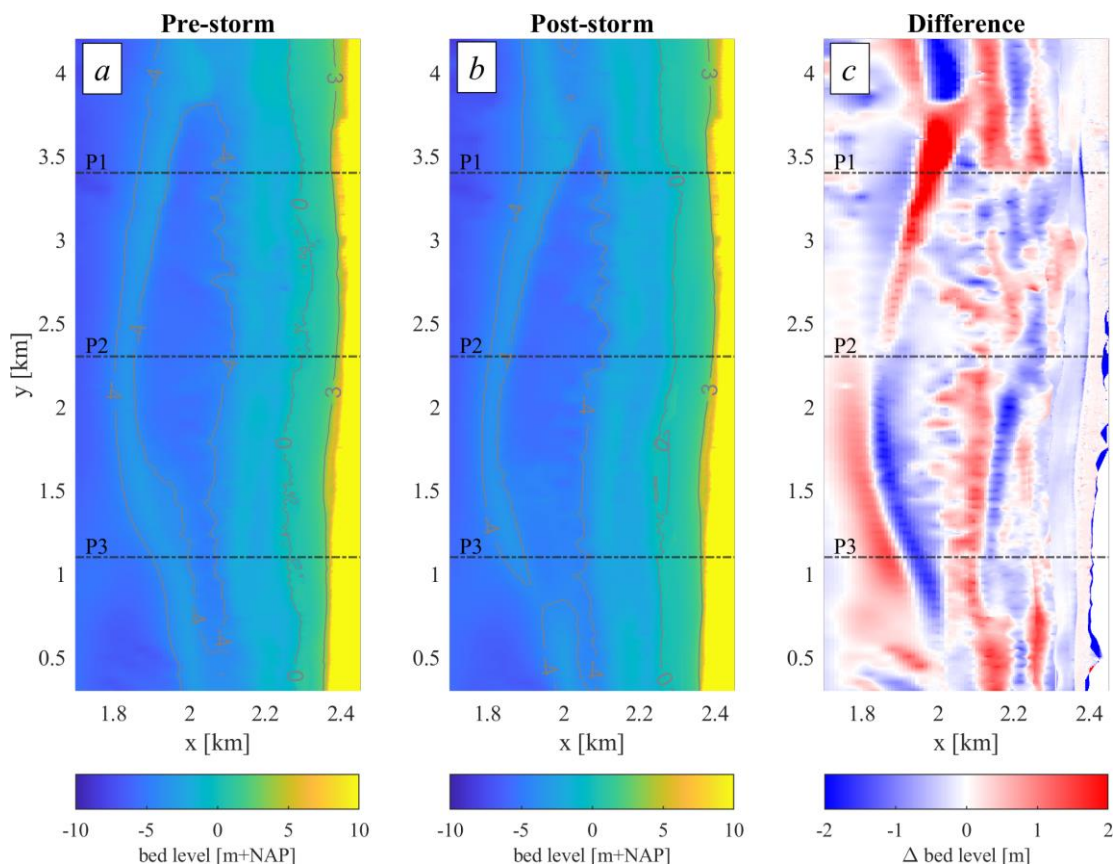
Figuur 2.5 toont de golfgegevens en waterstanden zoals gebruikt als invoer voor het XBeach model. De storm vond plaats van 7 januari tot 10 januari 2019, de offshore significante golfhoogte (H_s) piekte net onder de 6 in de nacht van 8 op 9 januari en was constant boven de 2 m. De offshore piekperiode (T_p) volgde een soortgelijk patroon als de H_s en bereikte tijdens de piek van de storm periodes van 15 s. De golven vielen schuin in vanuit het west-zuidwesten in het begin van de storm en de richting veranderde naar het noordwesten voor de rest van de storm. De waterstand op een diepte van NAP-20 m bereikte waarden van meer dan NAP+2 m, wat ruwweg een stormopzet van 1 m impliceert. Bijna de hele storm stond de waterstand ruim boven NAP+0 m.



Figuur 2.5 De golfgegevens en waterstanden zoals gebruikt als invoer voor het XBeach model. Het gesimuleerde deel van de storm wordt aangegeven door de verticale zwarte lijnen.

2.1.2.3 Morfologische veranderingen

Figuur 2.6 toont de gemeten pre- en post-storm morfologie (a en b) en het verschil tussen beide (c.), hierbij duidt rood op sedimentatie en blauw op erosie. Het strand en de duinen zijn enigszins geërodeerd, terwijl de brandingszone kustlangs variatie vertoont in morfodynamiek. De buitenste brandingsbank bewoog in het noorden (bovenkant van de figuur) naar de kust, terwijl hij offshore migreerde in het zuiden van het studiegebied. Dit geeft aan dat de beweging van de buitenste bank waarschijnlijk werd gedomineerd door kustlangs sedimenttransport. De binnenste brandingsbank is bijna langs het gehele modeldomein uit de kust bewogen, met uitzondering van het gebied tussen P1 en P2. De voet van de duinen (+3 m + NAP) is bijna over het hele traject geërodeerd, met de sterkste erosie in de noordelijke helft van het gebied. Dit wordt geïllustreerd door de dunne donkerblauwe lijn die langs de kust loopt tussen $x = 2,3$ en $2,4$ km.



Figuur 2.6 Gemeten pre- en post-storm morfologie en het verschil tussen beide waarbij rood duidt op sedimentatie terwijl blauw duidt op erosie.

2.1.2.4 Modelopzet en simulaties

Deze studie maakt gebruik van XBeach (XBeachX-versie) in surfbeat-modus om de invloed van de bathymetrie op de hydrodynamica, het zandtransport en de resulterende duinerosie tijdens een enkele storm te onderzoeken. De topografie en bathymetrie zijn verwerkt en samengesteld door overlappende gegevenspunten te matchen en op het rekenrooster te interpoleren. De kustlangse gradiënt van de laterale randen is op nul gezet, terwijl de offshore-grens een zwak reflecterende rand vormt die alleen schuin invallende en schuin gereflecteerde golven doorlaat. Het model maakt echter gebruik van cyclische randvoorwaarden op de laterale begrenzungen van het raster (x-as) dat werkt alsof de twee grensgebieden fysiek met elkaar zijn verbonden om het ontstaan van schaduwzones te voorkomen. Tenslotte maken we gebruik van de WTI ('Wettelijk Toets Instrumentarium') standaardinstellingen. Deze WTI-instellingen zijn gekalibreerd op verschillende studielocaties in Nederland en gootexperimenten, dus het model is niet hydrodynamisch gekalibreerd is voor deze studie.

De golfcondities van de basisrun worden gecreëerd op basis van het JONSWAP-spectrum dat is gemaakt met behulp van de waarnemingen. Om dezelfde golfconditie voor elk van de verschillende runs te forceren, wordt het golfspectrum van de basisrun hergebruikt in de daaropvolgende simulaties.

Er zijn 3 verschillende simulaties gedaan om de invloed van de kustnabije bathymetrie op de hydrodynamica en de duinerosie tijdens de storm te testen (Tabel 3.1). De dynamische simulatie is de basisrun waarbij de hydrodynamica, het sedimenttransport en de morfologische volledig worden gemodelleerd. De pre-storm statische en post-storm statische simulaties hebben een extra niet-erodeerbare laag die op de kustnabije bathymetrie is gelegd. Hierdoor

is de kustnabije bathymetrie vastgelegd en zijn allen het strand en de duinen morfologisch actief. Voor de pre-storm statische simulatie wordt de kustnabije bathymetrie gebruikt zoals voorafgaand aan de storm gemeten. Voor de post-storm statische simulatie wordt de kustnabije bathymetrie gebruikt zoals na de storm gemeten.

	Initiële Bathymetrie	Initiële topografie strand en duinen	Statisch/dynamisch
Dynamisch	Voor de storm	Voor de storm	Alles dynamisch
Pre-storm statische	Voor de storm	Voor de storm	Vooroever statisch, strand en duinen dynamisch
Post storm statische	Na de storm	Voor de storm	Vooroever statisch, strand en duinen dynamisch

2.1.2.5 Resultaten

Waterstanden en golfhoogtes

Figuur 2.7 toont de gemeten en gesimuleerde waterstanden en golfhoogtes tijdens de storm voor de verschillende meetlocaties uit Figuur 2.4. In de eerste kolom worden de waterstanden getoond, in de tweede kolom de korte golven en in de derde kolom de lange golven.

Allereerst valt in Figuur 2.7 op dat de waterstandsmetingen op locaties C en F afwijken van de andere drie locaties en dat de gemeten korte golfhoogtes op locaties D en F pieken vertonen die op de andere drie locaties niet zichtbaar zijn. Deze verschillen tussen de locaties worden mogelijk veroorzaakt door een meetfout of een fout in de verwerkingen van de metingen. Een controle hierop is noodzakelijk.

Deze onvolkomenheden in de metingen buiten beschouwing gelaten, komen de gesimuleerde waterstanden en korte golven goed overeen met de metingen. De lange golven worden door het model echter onderschat op alle meetlocaties. Andere onderzoeken laten ook zien dat de individuele bijdrage van o.a. de lange golven aan de golfploop door XBeach niet correct wordt gesimuleerd (Stockdon et al., 2014; Palmsten en Splinter, 2016). Roelvink et al. (2018) beschrijven een verbeterd numeriek schema en een andere manier om de groepen van korte golven en daarmee de resulterende lange golven beter te voorspellen. In XBeach wordt dit numerieke schema geactiveerd door de optie single-dir en verbetert niet alleen de voorspellingen van de lange golfhoogte, maar leidt het ook tot een verkorting van de rekentijd (Roelvink et al., 2018).

Morfologie

Figuur 2.8 toont de gemeten en berekende morfologie in de drie geselecteerde raaien P1, P2 en P3. De panelen aan de linkerkant tonen de brandingsbanken, het strand en de duinen terwijl de panelen aan de rechterkant inzoomen op het strand en de duinvoet.

De linker panelen in deze figuur laten zien dat de brandingsbank in de metingen in raai P1 naar de kust toe migreert, in raai P2 op zijn plaats blijft en in raai P3 van de kust af migreert (Zie ook Figuur 2.6). De dynamische simulaties laten in Figuur 2.8 een iets ander gedrag zien met vooral een overschatting van het landwaarts transport. Het model vlakt de brandingsbank daardoor in raai P1 iets uit en laat de bank in raai P2 en P3 naar de kust toe migreren.

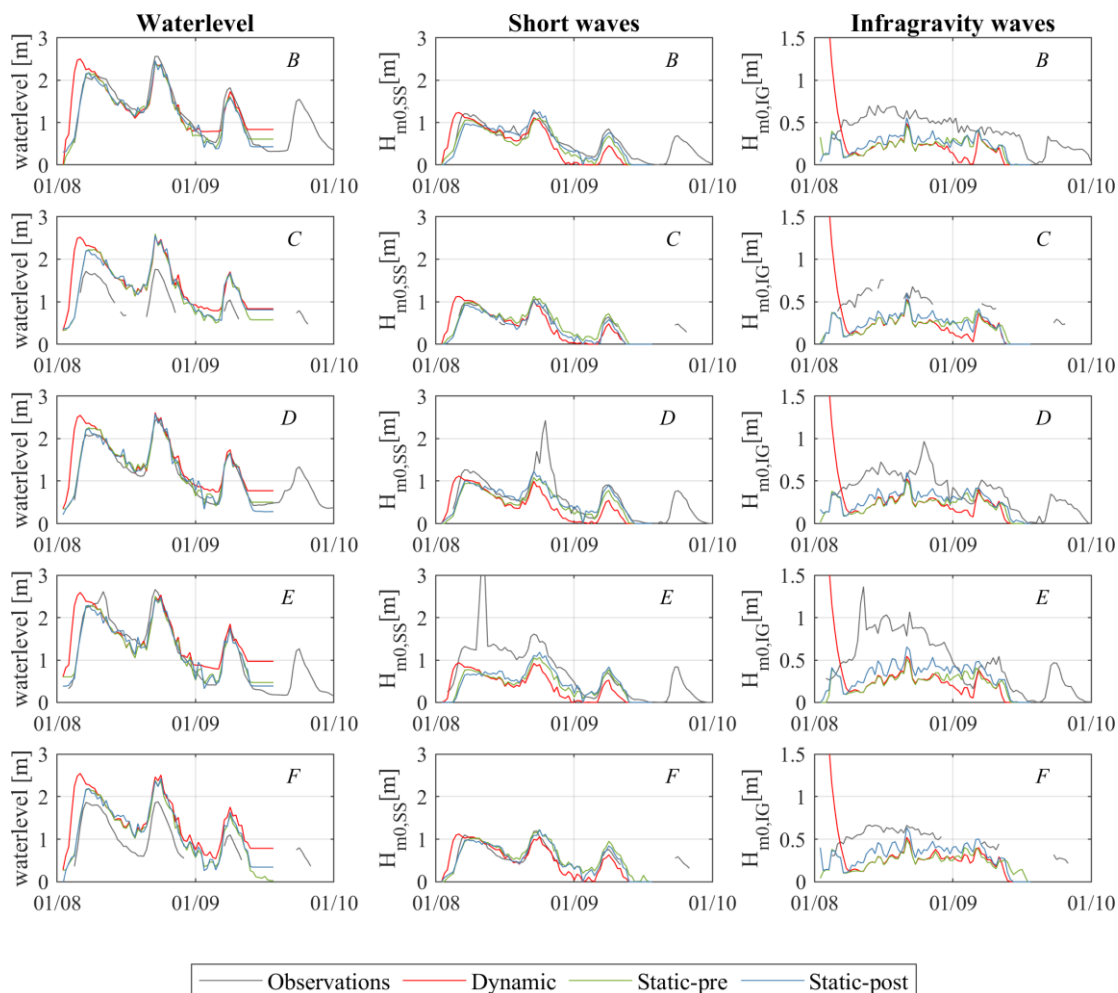
De rechter panelen in Figuur 2.8 laten zien dat de gemeten strand- en duinerosie het grootst is in raai P1 en iets minder in raai P2 en P3. Alle simulaties laten sedimentatie van het strand zien. De dynamische simulatie toont over het algemeen de meeste strandsedimentatie door een overschatting van het landwaarts transport. Alle simulaties laten ook erosie van de duinen zien. De simulatie met statische post-storm vooroever toont over het algemeen de meeste

duinerosie. Die met de statische pre-storm vooroever toont de minste duinerosie en komt daardoor het minst goed overeen met de waarnemingen. De simulatie met de statische post-storm vooroever vergelijkt het best met de waargenomen strand- en duinerosie, hoewel de duinerosie soms wordt overschat.

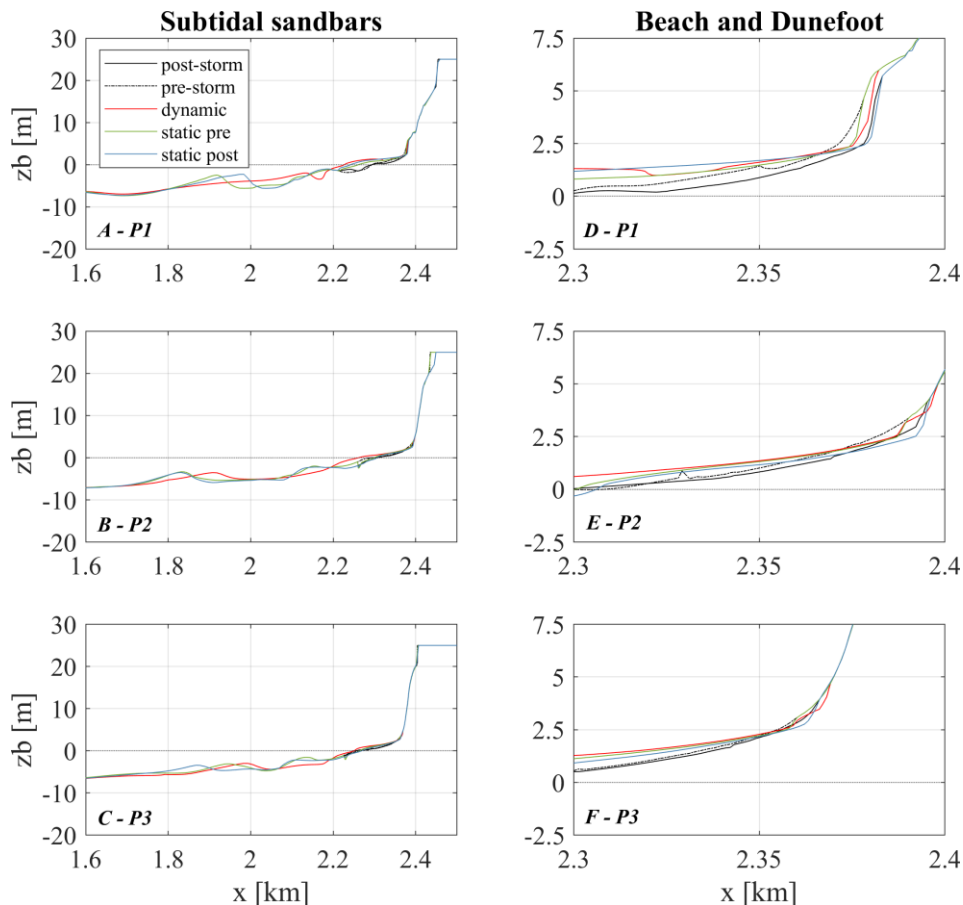
Het model dat we hier hebben toegepast is niet gekalibreerd op de waarnemingen bij Egmond. Andere studies laten zien dat een locatie-specifieke kalibratie wel bevorderlijk is voor verbeteringen in modelprestaties (Splinter et al., 2011; Splinter en Palmsten, 2012; Callaghan et al., 2013; Simmons et al., 2019; Kalligris et al., 2020).

Kalibratie van golfhoogtes is voor de locatie bij Egmond eerder gedaan door De Winter et al. (2015). Hierbij werden twee parameters gevarieerd die van invloed zijn op de kans op het breken van golven namelijk de parameters n en γ . De Winter et al. (2015) vonden voldoende nauwkeurige golfhoogtevoorspellingen voor standaardwaarden $n=10$ en $\gamma = 0.55$. De optimum waarde voor deze parameters is afgeleid voor een oudere versie van XBeach, en kunnen voor de meer recente XBeach versie afwijken.

Andere studies laten zien dat XBeach-resultaten ook gevoelig zijn voor schalingsfactoren op de *wave asymmetry* A_s en *wave skewness* S_k (Vousdoulas et al., 2011; Vousdoulas et al., 2012; Kalligris et al., 2020). De amplitude van de orbitaalsnelheid V_w wordt in XBeach gemodelleerd volgens $V_w = \gamma_{ua} u_{rms} (S_k - A_s)$ waarin γ_{ua} de invloed van de korte golfeigenschappen op het zandtransport bepaalt. Hogere waarden van γ_{ua} leiden tot meer landwaarts transport terwijl een waarde van 0 ervoor zorgt dat alle transport zeewaarts gericht is (Splinter en Palmsten, 2012).



Figuur 2.7 De waargenomen en gesimuleerde hydrodynamica tijdens de storm. Voor de locatie van de golfhoogtemeters zie Figuur 2.4



Figuur 2.8 Gemeten en berekende morfologie in de drie geselecteerde raaien P1, P2 en P3. De panelen aan de linkerkant tonen de dwarsdoorsnede van de brandingsbanken, het strand en de duinen terwijl de panelen aan de rechterkant inzoomen op het strand en de duinvoet.

2.1.3 Aanbevelingen voor QRF-kust in 2021

Hieronder worden de aanbevelingen naar aanleiding van het uitgevoerde werk in 2020 puntsgewijs samengevat:

1. Op enkele meetlocaties wijken de gemeten waterstanden iets af ten opzichte van het gemiddelde op de andere locaties, of vertonen de gemeten korte golfhoogtes onverklaarbare pieken. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door een meetfout of een fout in de verwerkingen van de metingen. We bevelen aan om de metingen zorgvuldig na te lopen en op deze onvolkomenheden te controleren.
2. Met de zogenaamde WTI-instellingen worden de lange golven door het XBeach-model onderschat. We bevelen aan om de optie single-dir in XBeach toe te passen om dit te verbeteren. Dit leidt ook tot een verkorting van de rekentijd (Roelvink et al., 2018).
3. Met de WTI-instellingen geven de XBeach-simulaties een overschatting van het landwaarts transport. Het model vlagt de brandingsbanken daardoor uit waar ze in werkelijkheid iets naar de kust migreren of laat de brandingsbanken naar de kust migreren waar ze in werkelijkheid blijven liggen of zeewaarts migreren. Ook laat het model sedimentatie op het strand zien waar in werkelijkheid erosie optreedt. Een optie is om het model te kalibreren met behulp van de factor γ_{ua} die de invloed van de korte golfeigenschappen op het zandtransport bepaalt. Hogere waarden van γ_{ua} leiden tot meer landwaarts transport terwijl een waarde van 0 ervoor zorgt dat alle transport zeewaarts gericht is (Splinter en Palmsten, 2012).
4. Aanbevolen wordt het XBeach-model te kalibreren op de storm in 2019 en vervolgens te valideren op de storm in 2020.

5. We bevelen aan het XBeach model uit te breiden met het noordelijker gelegen interessegebied van HHNK om daarna een vergelijking te maken tussen de resultaten voor het noordelijke deel en het zuidelijke deel. Het noordelijke deel is namelijk beïnvloed door vooroeversuppleties terwijl het zuidelijk deel niet verstoord is door uitgevoerde suppleties. Ook staan er strandpaviljoens in het noordelijke deel.
6. In 2021 wordt de ontwikkeling van het XBeach model voor Egmond uitgevoerd in samenwerking met het Interreg BwN-project en het ontwikkelen van XBeach voor het Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium (BOI) Zandige Keringen. De ontwikkelde optimum XBeach settings en XBeach-versie voor de Nederlandse kust binnen BOI-Zandige Keringen zullen worden toegepast voor het Egmond model.

2.2 Activiteiten QRF rivieren

2.2.1 Beoogde en uitgevoerde activiteiten

Voor het bepalen van hydraulische condities in rivieren speelt de vraag hoe goed de kwaliteit van golf- en stromingsberekeningen is met de huidige instrumentaria (bijv. WBI). Echter, er zijn voor rivieren geen of nauwelijks golf- en stromingsmetingen beschikbaar om modelsimulaties en voorspellingen te verifiëren en te verbeteren. Om deze reden zijn drie centrale onderzoeksvragen bepaald:

1. Hoe kan de kwaliteit van stromings- en golfvoorspellingen worden bepaald?
2. Welke gegevens moeten hiervoor worden ingewonnen en hoe kunnen deze voldoende betrouwbaar worden bepaald?
3. Wat is de kwaliteit van stromings- en golfvoorspellingen?

De QRF-rivieren zal bijdragen aan het beantwoorden van een deel van deze onderzoeksvragen. Het korte termijn doel van de QRF is als volgt gedefinieerd:

- Methodes ontwikkelen om golven en stroming op rivieren kwalitatief en kwantitatief te meten, zodat deze ingezet kunnen worden voor rivier toepassingen;
- Een draaiboek ontwikkelen wat te doen wanneer een interessante storm optreedt.

Er zijn verschillende metingen uitgevoerd in 2018, zowel op de Waal en de Westerschelde. Dit waren video opnamen, foto's en C-drone metingen. Daarnaast zijn tijdens de storm Ciara in februari 2020 foto's en video opnamen van waterschappen verzameld via Rijkswaterstaat en zijn webcamera beelden bij Varik opgeslagen.

In 2019 zijn de videobeelden uit 2018 kwalitatief geanalyseerd en vergeleken met beschikbare resultaten uit golf- en stromingsmodellen (Deltares, 2019). Daarnaast zijn de C-drone metingen verder geanalyseerd door Rijkswaterstaat (Sieben, 2019).

Voor 2020 waren de volgende activiteiten voorzien:

1. De analyse van het beeldmateriaal voor het kwantificeren van golven en stroming uitwerken (pilot 2, Deltares 2017). Hiervoor is gekeken naar methodes om golfparameters, stromingsrichting- en grootte uit de beelden te halen.
2. Draaiboek voor de rivieren en andere monitoringsgebieden updaten.
3. Videobeelden en of foto's nemen wanneer de combinatie hoogwater en harde wind optreedt.

2.2.2 Voorbeeldresultaten

2.2.2.1 Kwantitatieve vergelijking golfpatronen

Voor het opzetten van de videoanalyse voor golfpatronen en stroming zijn verschillende videobeelden gebruikt:

- Bath in de Westerschelde, 11 december 2018, 10:38 (drone);
- Zennewijnen op de Waal, 24 januari 2018, 9:26 (drone);
- Veerstijger bij Varik op de Waal, 9 februari 2020, 16:00 (webcam).

De beelden zijn georthorectificeerd zodat een bovenaanzicht verkregen is. Hiervoor is gebruik gemaakt van object tracking. In Figuur 2.9 is te zien dat een aantal oriëntatiepunten (boeilocaties, torens etc.) zijn gemarkeerd waarvan de exacte positie van bekend is. Op basis van deze locaties en een aantal camera specificaties is het beeld getransformeerd naar een bovenaanzicht, zie Figuur 2.10.



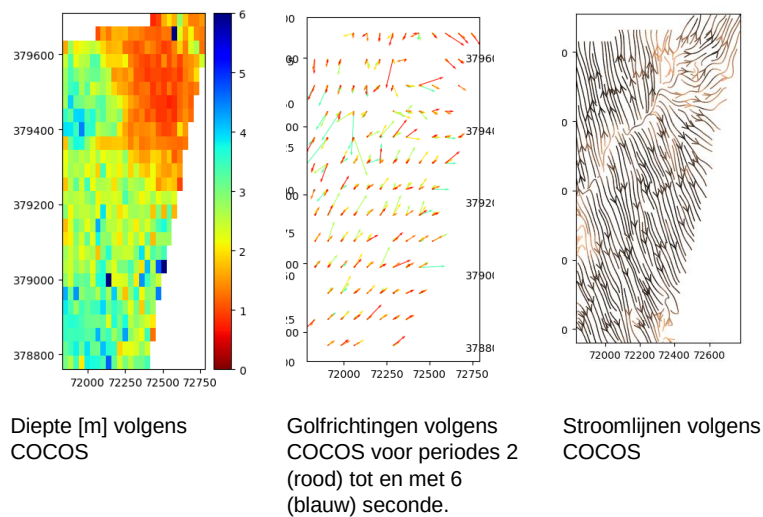
Figuur 2.9 Object tracking voor de Westerschelde op basis van vaste oriëntatiepunten.



Figuur 2.10 Getransformeerd dronebeeld op Google Earth gelegd.

Vervolgens zijn de beelden met behulp van de Coastal Community Drone Laboratory methode (afgekort COCOS, PhD onderzoek Matthijs Gawehn TuDelft) geanalyseerd. Voor meer informatie over de methode wordt verwezen naar Gawehn et al. (2019) en Gawehn et al. (2020).

Met de methode zijn golven geïdentificeerd (golfrichting en golfperiode) en is de stroming berekend, zie Figuur 2.11.



Figuur 2.11 Resultaten COCOS

2.2.2.2 Stappenplan QRF rivieren

In Deltares (2019) is een draaiboek opgesteld dat in 2020 is aangevuld met de inzichten uit de video en drone analyses. Het draaiboek heeft als doel om een stappenplan te geven wanneer we QRF-metingen willen verrichten van golf-stroom interactie. Dit om bij te dragen aan de doelstellingen van Pilot 1 en 2 (Deltares, 2017)³.

Het draaiboek beschrijft de volgende aspecten:

- Welke gebieden; bijvoorbeeld op de Waal het traject Tiel-Waardenburg, de Westerschelde of Eemshaven-Delfzijl.
- Wanneer; windsnelheden, golfrichtingen, afvoer, meteo.
- Wat en hoe monitoren, meetmethodes en relevante info.
- Analyse, benodigde gegevens en modellen.

De aanvullingen in het stappenplan van 2020 zijn voornamelijk van toepassing op de meetgebieden en de manier waarop videobeelden genomen moeten worden. Tijdens zowel de kwalitatieve als de kwantitatieve analyse van de videobeelden zijn een aantal punten naar voren gekomen die handig zijn om mee te nemen wanneer nieuwe videobeelden gemaakt worden.

Het draaiboek is een werkdocument en zal na veldmetingen worden bijgewerkt om de meest recente inzichten te kunnen meenemen.

2.2.2.3 Metingen 2020

In 2020 zijn geen gerichte veldmetingen of dronemetingen uitgevoerd. Wel zijn door RWS video opnames en foto's tijdens de Ciara storm (februari 2020) ingewonnen via waterschappen, zie bijvoorbeeld Figuur 2.12. Daarnaast zijn webcam beelden opgenomen tijdens deze storm. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 2.13.



Figuur 2.12 Video van de Zwolse IJsseldijk, gemaakt door Waterschap Drents Overijsselse Delta

³ Pilot 1: "eerste scan golven" gericht op een kwalitatieve bepaling van ruimtelijke patronen in golfhoogten. Pilot 2: Modelverificatie en testen van data-inwintechieken op een alternatieve testlocatie.



Figuur 2.13 Webcam beelden bij de steiger bij Varik op 9 februari 2020.

2.2.3

Aanbevelingen

Voor 2021 wordt aanbevolen om de analysetechnieken van video analyse en c-drone te valideren in het veld in situaties waarbij zowel golven als stroming voorkomen. Hiervoor worden gerichte metingen uitgevoerd op een nader te bepalen meetlocatie. Ter voorbereiding wordt een meetplan opgesteld. Als alternatief wordt gekeken naar laboratorium proeven, waarbij de omstandigheden gecontroleerd worden.

Referenties

- Callaghan, D. P., Ranasinghe, R., & Roelvink, D. (2013). Probabilistic estimation of storm erosion using analytical, semi-empirical, and process based storm erosion models. *Coastal Engineering*, 82, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.08.007>
- Claudino-Sales, V., Wang, P., & Horwitz, M. H. (2008). Factors controlling the survival of coastal dunes during multiple hurricane impacts in 2004 and 2005: Santa Rosa barrier island, Florida. *Geomorphology*, 95(3–4), 295–315. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.004>
- Cohn, N., & Ruggiero, P. (2016). The influence of seasonal to interannual nearshore profile variability on extreme water levels: Modeling wave runup on dissipative beaches. *Coastal Engineering*, 115, 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.01.006>
- Deltares (2019). Kwalitatieve vergelijking golfpratronen op rivieren met golfmodellen. Deltares memo 11203682-011-ZWS-0006, november 2019.
- De Winter, R. C., Gongriep, F., & Ruessink, B. G. (2015). Observations and modeling of alongshore variability in dune erosion at Egmond aan Zee, the Netherlands. *Coastal Engineering*, 99, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.02.005>
- Gawehn, M., De Vries, S., Aarninkhof, S. (2019). Depth and surface current inversion on the fly: a new video based approach using the dynamic mode decomposition. *International Conference on Coastal Sediments 2019*, Mei 2019.
- Gawehn, M., van Dongeren, A., De Vries, S., Swinkels, C., Hoekstra, R., Aarninkhof, S., Friedman, J. (2020). The application of a radar-based depth inversion method to monitor near-shore nourishments on an open sandy coast and an ebb-tidal delta. *Coastal Engineering* (159), April 2020.
- Hoegen, R. (2020). On the parameterization of the nearshore bathymetry of the XBeach model for Egmond aan Zee. MSc thesis, Utrecht University, September 2020.
- Houser, C., & Greenwood, B. (2005). Hydrodynamics and sediment transport within the inner surf zone of a lacustrine multiple-barred nearshore. *Marine Geology*, 218(1–4), 37–63. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.02.029>
- Kalligeris, N., Smit, P. B., Ludka, B. C., Guza, R. T., & Gallien, T. W. (2020). Calibration and assessment of process-based numerical models for beach profile evolution in southern California. *Coastal Engineering*, 158(September 2018), 103650. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103650>
- Palmsten, M. L., & Splinter, K. D. (2016). Observations and simulations of wave runup during a laboratory dune erosion experiment. *Coastal Engineering*, 115, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.01.007>
- Rijkswaterstaat (2020). Stormvloedflits 2020-06 van 12 maart 2020. Rijkswaterstaat, Watermanagementcentrum Nederland.

- Roelvink, D., McCall, R., Mehvar, S., Nederhoff, K., & Dastgheib, A. (2018). Improving predictions of swash dynamics in XBeach: The role of groupiness and incident-band runup. *Coastal Engineering*, 134(February 2017), 103–123. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.07.004>
- Ruessink, G., Schwarz, C. S., Price, T. D., & Donker, J. J. A. (2019). A multi-year data set of beach-foredune topography and environmental forcing conditions at Egmond aan Zee, the Netherlands. *Data*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/data4020073>
- Schupp, C. A., McNinch, J. E., & List, J. H. (2006). Nearshore shore-oblique bars, gravel outcrops, and their correlation to shoreline change. *Marine Geology*, 233(1–4), 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.08.007>
- Shore Monitoring (2019). Integrale survey Egmond November 2019. Rapport N201911-01. Shore Monitoring & Research, November 2019, Den Haag, Nederland.
- Sieben, A. (2019). Test interpretatie golven en stroming uit drone metingen. Notitie, d.d. 13-11-2019 Arjan Sieben RWS-WVL.
- Simmons, J. A., Splinter, K. D., Harley, M. D., & Turner, I. L. (2019). Calibration data requirements for modelling subaerial beach storm erosion. *Coastal Engineering*, 152(June 2018), 103507. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103507>
- Splinter, K. D., & Palmsten, M. L. (2012). Modeling dune response to an East Coast Low. *Marine Geology*, 329–331, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.09.005>
- Splinter, K. D., Strauss, D., Tomlinson, R. B. (2011). Can we reliably estimate dune erosion without knowing pre-storm bathymetry? 20th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference 2011 and the 13th Australasian Port and Harbour Conference 2011, COASTS and PORTS 2011, 650-65
- Stockdon, H. F., Thompson, D. M., Plant, N. G., & Long, J. W. (2014). Evaluation of wave runup predictions from numerical and parametric models. *Coastal Engineering*, 92, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.06.004>
- Vousdoukas, M. I., Almeida, L. P., Ferreira, Ó., Vousdoukas, M. I., Almeida, L. P., & Ferreira, Ó. (2011). Modelling storm-induced beach morphological change in a meso-tidal , reflective beach using XBeach. *Journal of Coastal Research*, (64), 12–17.
- Vousdoukas, M. I., Ferreira, Ó., Almeida, L. P., & Pacheco, A. (2012). Toward reliable storm-hazard forecasts: XBeach calibration and its potential application in an operational early-warning system. *Ocean Dynamics*, 62(7), 1001–1015. <https://doi.org/10.1007/s10236-012-0544-6>

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