

Eindrapport Quick Reaction Force 2023



Eindrapport Quick Reaction Force 2023

Auteur(s)

Bart Grasmeijer
Joana van Nieuwkoop
Timothy Price
Madelief Doeleman
Frans Buschman

Eindrapport Quick Reaction Force 2023

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer G. Burgers
Referenties	SITO-PS Versterking Onderzoek Waterveiligheid (VOW)
Trefwoorden	Quick Reaction Force, Kust, Rivieren

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	20-12-2023
Projectnummer	11209262-007
Document ID	11209262-007-ZWS-0003
Pagina's	22
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Bart Grasmeijer	
	Joana van Nieuwkoop	
	Timothy Price	
	Madelief Doeleman	
	Frans Buschman	

Samenvatting

Het doel van de Quick Reaction Force (QRF) is om waterveiligheidskennis te verbeteren door betere verwerving, ontsluiting en gebruik van velddata rondom stormen en hoogwaters. 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

Dit rapport beschrijft kort de beoogde en uitgevoerde QRF werkzaamheden in 2023. Voor QRF-kust zijn golfhoogtemetingen en bodemhoogtemetingen van vooroever, strand en duinen uitgevoerd. Tevens is een eenvoudig systeem opgezet waarmee de invoer voor het XBeach-model voorafgaand aan een storm snel, d.w.z. binnen enkele minuten, opgezet kan worden op basis van voorspellingen van operationele modellen. Voor QRF-rivieren is een meetvoorstel opgesteld om meer inzicht te krijgen in het gedrag van windgolven op rivieren. Hierin worden meerdere meetlocaties op de rivier de Waal voorgesteld met een vaste videocamera voor het ruimtelijk beeld en één of meerdere in situ metingen. Daarnaast is aangegeven hoe QRF-rivieren bij kan dragen aan het beter in beeld brengen van afvoeren in rivieren.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond en doelstelling	6
1.2	Doel en inhoud van dit document	7
2	QRF-kust	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Beoogde en uitgevoerde activiteiten QRF-kust	8
2.2.1	Studiegebied Egmond aan Zee	9
2.2.2	Metingen	10
2.2.3	XBeach-model	11
2.3	Aanbevelingen voor QRF-kust in 2024	14
3	QRF-rivieren	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Beoogde en uitgevoerde activiteiten	16
3.2.1	Meetvoorstel windgolven op rivieren	16
3.2.2	Afvoeren in uiterwaarden	18
3.3	Aanbevelingen voor QRF-rivieren in 2024	19
4	Conclusies	20
4.1	QRF-kust	20
4.2	QRF-rivieren	20
5	Referenties	21

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doelstelling

Door het Delta Programma Waddengebied is aanbevolen een Quick Reaction Force (QRF) op te stellen, waarin meerdere partijen 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. Kennis van natuurlijk herstel in de rustige periode tussen stormen is daarbij ook van belang.

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 beheerders is er behoefte aan validatie van kennis over waterveiligheid, bijvoorbeeld voor het beoordelen, ontwerpen en onderhouden van waterkeringen. Ook is er behoefte aan adequate informatie over de impact van stormen in het kader van de landelijke informatie voorziening.

Door de jaren heen is veel kennis ontwikkeld over de effecten van stormen op Nederlandse waterkeringen. Deze kennis wordt direct toegepast bij de beoordeling van waterkeringen. 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 en afvoeren 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 2023 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 2023 (i.e. een soort “notulen” van werkzaamheden), enkele voorbeeldresultaten van analyses en aanbevelingen voor het jaar 2024. De kust-gerelateerde activiteiten (Onderzoeksthema 2) worden beschreven in Hoofdstuk 2 en de rivieren-gerelateerde (Onderzoeksthema 4) in Hoofdstuk 3.

2 QRF-kust

2.1 Inleiding

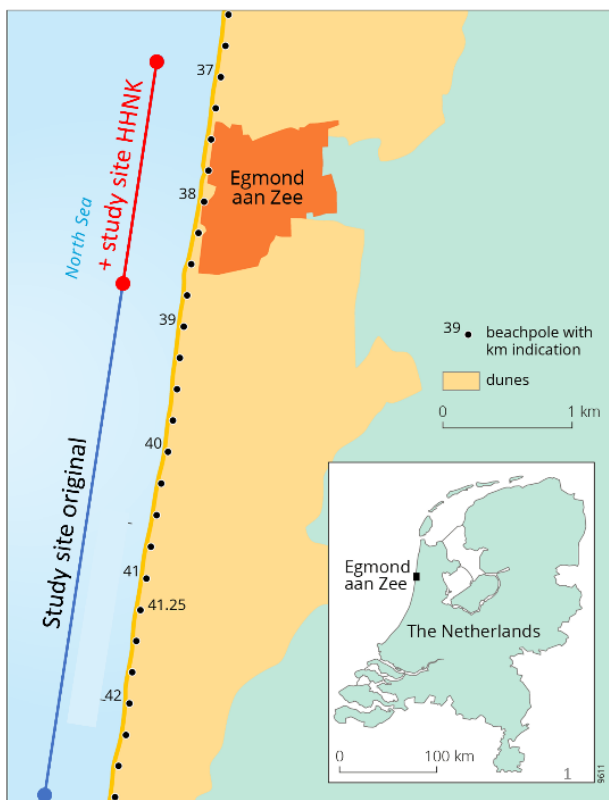
Dit hoofdstuk beschrijft de QRF-kust activiteiten in het jaar 2023, voorbeeldresultaten en aanbevelingen voor Onderzoeksthema 2: “Dynamiek strand, duinen, kwelders en overwash gebieden”. Vanuit verschillende beheerders (Rijkswaterstaat, Waterschappen Noorderzijlvest en Hollands Noorderkwartier) is de behoefte geuit om snel na een storm een analyse te kunnen maken over het effect ervan op toestand van het beheerareaal. Beheerders hebben behoefte aan een adequate informatievoorziening na een storm, en willen inzicht in of het daadwerkelijk effect ervan aansluit op de verwachtingen op basis van ervaring van de beheerder of op basis van de beschikbare modellen. Doel van QRF-kust is verwerving, ontsluiting en gebruik van velddata rondom stormen en hoogwaters om deze waterveiligheidskennis te verbeteren.

2.2 Beoogde en uitgevoerde activiteiten QRF-kust

In Noord-Holland worden door QRF op het strand en in de duinen bodemhoogtemetingen en golfhoogtemetingen uitgevoerd in samenwerking met Universiteit Utrecht (UU). De bodemhoogtemetingen worden vooral uitgevoerd met een zogenaamde Terrestrial Laser over een strandgebied van 4 km kustlangs vanaf december 2013 tot op heden. De metingen zijn aanvullend op KustLiDAR door Rijkswaterstaat. Naast de Terrestrial Laser wordt ook de zogenaamde Structure for Motion (SfM) techniek toegepast. Naast bodemhoogtemetingen worden door de UU op het strand van Egmond tijdens het stormseizoen ook golfhoogtemetingen uitgevoerd met 14 druksensoren.

Op basis van gezamenlijk ingewonnen meetgegevens is door QRF en UU in 2019 een XBeach-model opgezet. Het model werd in 2020 geëvalueerd op zijn gevoeligheid voor de bodemhoogte van de vooroever tijdens een storm. Het model werd hierbij niet gekalibreerd maar ingezet met de zogenaamde WTI ('Wettelijk Toets Instrumentarium') basisinstellingen. De QRF-metingen van bodemhoogte van vooroever, strand en duinen en golfhoogtes op het strand werden in 2021 gebruikt om de prestaties van het model tijdens een storm te verbeteren.

In de periode tot en met 2023 is de samenwerking met UU verder voortgezet. Er worden golfhoogtegegevens en 3D-ruimtelijke gegevens ingewonnen en vergeleken met een voor dit gebied opgezet XBeach-model. In het originele studiegebied zijn metingen beschikbaar in hoge temporele en ruimtelijke resolutie vanaf 2013 (Ruessink, 2019). Het studiegebied is in 2020 uitgebreid met het interessegebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), zie Figuur 2-1.



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 HHNK (rood).

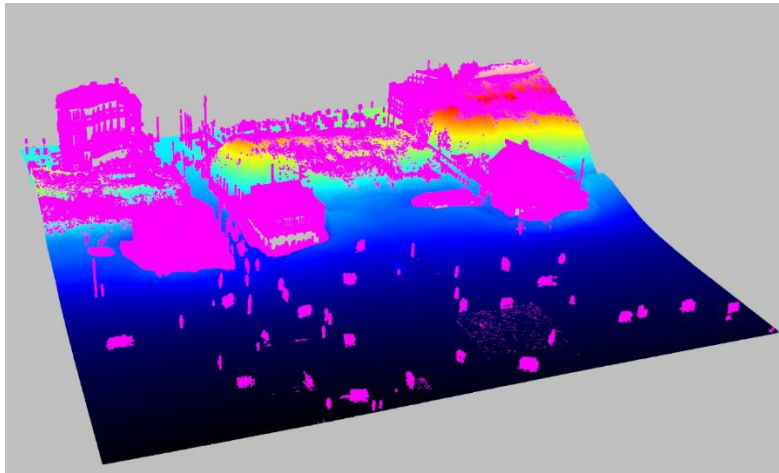
2.2.1 Studiegebied Egmond aan Zee

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 (ongeveer gelijk aan NAP), verandert het in een steile helling (1: 2.5) van het voorduin. Op NAP + 14–17 m, vertoont het profiel een abrupte verandering in helling en gaat verder naar de top van het voorduin op een hoogte van NAP + 20–25 m. 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 lichte afname in de landwaartse richting.

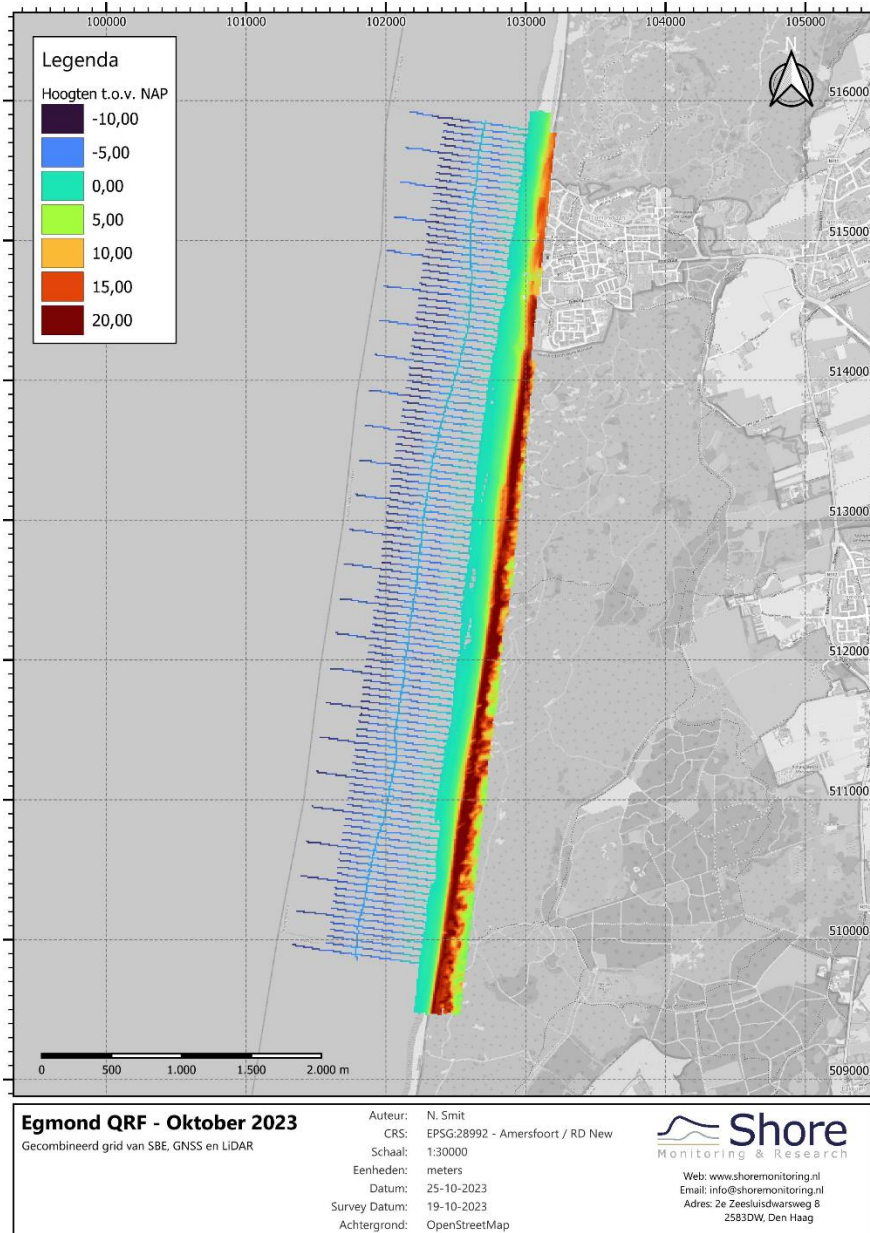
2.2.2 Metingen

Stormseizoen 2022/2023 was betrekkelijk rustig. Op zaterdag 14 oktober trok een stormdepressie over zuidelijke Scandinavië en veroorzaakte verhoogde waterstanden aan de Nederlandse kust (Watermanagementcentrum, 2023). In de loop van zaterdag trok het lage-drukgebied verder in noordoostelijk richting. Buien zorgden in sector Delfzijl voor een nog iets hogere waterstand. Langs de Westkust hadden de buien weinig invloed op de hoogwaterstanden.

Tijdens het stormseizoen zijn vijf golfhoogtemeters op het strand geplaatst met voldoende batterijen om het gehele stormseizoen 2022/2023 te meten. Voorafgaand aan het stormseizoen 2023/2024 zijn op 19 oktober 2023 het strand en de duinen bij Egmond aan Zee ingemeten met mobile terrestrial laser scanning (MLS) en de bathymetrie van de vooroever met RTK-GPS gecombineerd met een single beam echosounder gemonteerd op een jetski. De metingen zijn beschreven door Shore Monitoring (2023). Figuur 2-2 toont een detail van de puntenwolk gemeten door middel van MLS. Figuur 2-3 toont de bodemligging langs de survey tracks. Na de stormdepressie van 14 oktober is geen bodemhoogtemeting uitgevoerd, omdat er op basis van het QRF protocol voor meetlocatie Egmond aan Zee (Grasmeijer, 2020) de waterstanden niet voldoende hoog waren.



Figuur 2-2 Detail LiDAR puntenwolk. Magenta zijn de verwijderde objecten (strandtenten, mensen, paaltjes).



Figuur 2-3 Bodemligging langs de surveytracks. Resultaat van SBES (punten), GNSS-loop (punten), MBES (grid) en LiDAR (grid) op een OSM achtergrond.

2.2.3 XBeach-model

In 2020 is een XBeach model (versie XBeachX release¹) opgezet voor het gebied ten zuiden van Egmond aan Zee, bij RSP-raai 41.25 met een grootte van 4.5 km kustlans en 2.5 km in kustdwarse richting. Het rekenrooster heeft kustlans een constante celgrootte van 5 m en in kustdwarse richting een variërende celgrootte van 1 tot 25 m.

Ten opzichte van het oorspronkelijke model uit 2020 zijn er in 2021 verschillende optimalisaties getest. Voor de modelinstellingen voor hydrodynamische en morfologische processen werden voorheen de WTI instellingen (Deltares, 2015) gebruikt. Als onderdeel van het nationale programma BOI ('Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium') is XBeach op meerdere fronten ontwikkeld. Relevant voor deze studie zijn met name het afleiden van nieuwe standaard instellingen (Deltares/Arcadis, 2021) en optimalisatie van rekentijden

¹ XBeach wiki: <https://publicwiki.deltares.nl/display/XBEACH/XBeach>

(Deltares, 2021e). De (voorlopige) nieuwe instellingen zijn getest in combinatie met een volgens BOI richtlijnen opgezet grid. Bovendien wordt met het oog op het operationeel draaien van het model gekeken of de rekentijd ingekort kan worden. Hiervoor worden zowel optimalisaties van het 2D grid in overweging genomen als een 1D aanpak. De modelresultaten werden gevalideerd met de topografische LiDAR bodemmeting van het strand en duinen op 10 januari 2019 (Deltares, 2021). Metingen van bodemhoogte, waterstanden en golfhoogten zijn beschikbaar voor verschillende jaren om het model verder te verbeteren.

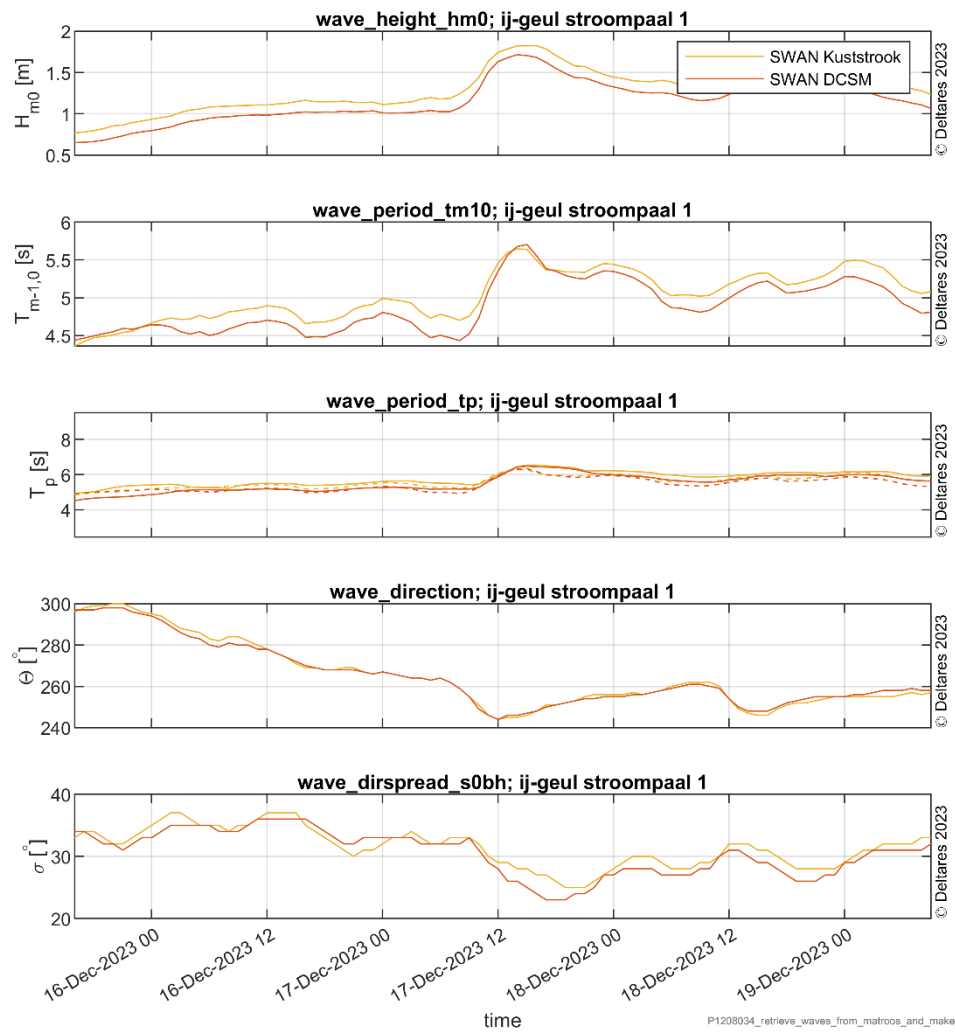
In 2022 werd een eenvoudig systeem opgezet waarmee de invoer voor het XBeach-model voorafgaand aan een storm snel, d.w.z. binnen enkele minuten, opgezet kan worden op basis van voorspellingen van operationele modellen. Dit is mogelijk met de volgende MATLAB-scripts die gereed staan in de QRF repository²:

- P11208034_retrieve_waves_from_matroos_and_make_xbeach_input.m
- P11208034_retrieve_waterlevels_from_matroos_make_xbeach_input.m

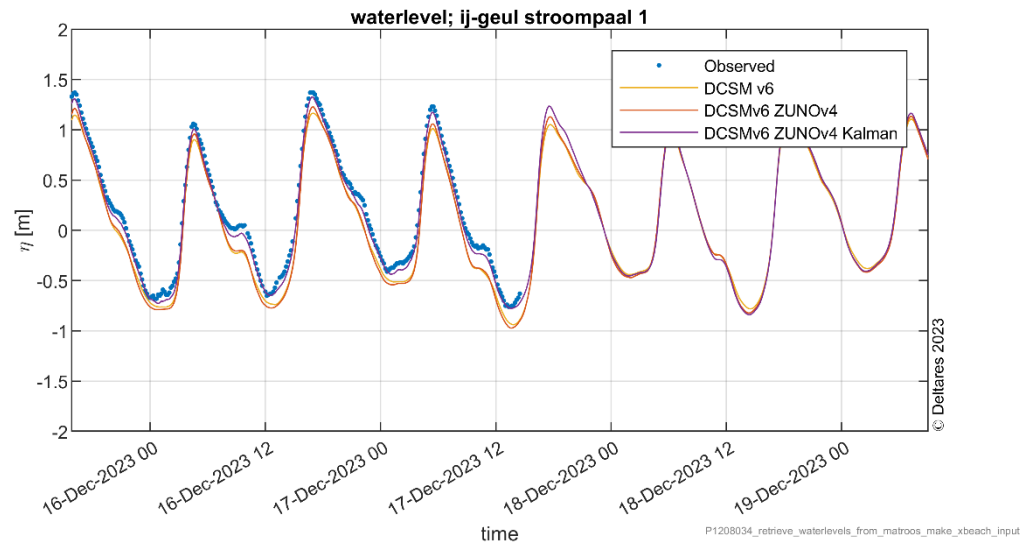
In het script voor golven kan een keuze gemaakt worden uit de stations Europlatform, IJ-geul stroompaal 1 en Platform K13a. Figuur 2-4 toont een voorbeeld voor IJ-geul stroompaal 1. In het script voor de waterstanden (bijlage A2) wordt standaard IJ-geul stroompaal 1 gehanteerd. Figuur 2-5 toont een voorbeeld van de waterstanden. Voorwaarde voor zinvolle toepassing van dit systeem is dat het XBeach model altijd gereed staat met de meest recente ingemeten bodem.

Na de stormsequentie Corrie van 29 tot 31 januari 2022 en de drielingstormen Dudley, Eunice en Franklin van 18 t/m 21 februari 2022 ontstond de vraag wat de invloed is van stormsequenties in verhouding tot één enkele maatgevende storm. In 2023 is daarom een oriënterend onderzoekstraject gestart naar de impact van stormen die deel uitmaken van een opeenvolging van stormen. In een eerste fase van dit traject is dit onderzocht op basis van modelsimulaties waarin drie verschillende stormen uit het verleden werden gebruikt, namelijk die uit grote storm uit 1953, middelgrote storm uit 2006 en kleine storm uit 2019 (Van Eck, 2023). Deze stormen werden kunstmatig in verschillende volgorde tot een sequentie samengevoegd. Uit de berekeningsresultaten bleek allereerst dat de hoeveelheid erosie en sedimentatie logischerwijs afhangt van de omvang van de storm. De grote storm uit 1953 veroorzaakte de meeste morfologische veranderingen. Wanneer deze storm in een stormsequentie voorkwam dan had deze storm de meeste impact tijdens deze sequentie. Daarnaast bleek de duur en de volgorde van de stormen belangrijk. Stormsequenties waarbij de grootste storm aan het eind kwam, veroorzaakten meer erosie dan wanneer de grootste storm aan het begin van de sequentie kwam. Met name de duur van de hoogwaterstand van de storm speelt hierin een grote rol. Of de berekende effecten ook in werkelijkheid zo optreden moeten de QRF-metingen (in de toekomst) nog uitmaken.

² QRF repository: <https://repos.deltares.nl/repos/MCS-AMO/trunk/matlab/projects/P11208034-quick-reaction-force>



Figuur 2-4 Voorbeeld van XBeach invoer voor golven, gegenereerd op basis van operationele modeluitvoer. In de golfperiode-grafiek is de getrokken lijn de piekperiode T_p uit het golfspectrum en de gestippelde lijn de T_p vertaald uit T_{m10} .



Figuur 2-5 Voorbeeld van XBeach invoer voor waterstand, gegenereerd op basis van operationele modeluitvoer.

2.3 Aanbevelingen voor QRF-kust in 2024

In navolging op het afgelopen stormseizoen wil QRF aanvullend op de stormmetingen door UU tenminste twee keer per jaar metingen uitvoeren van de bodemhoogte van de ondiepe vooroever en van strand en duinen. Dit is nodig voor de validatie van kennis over waterveiligheid, bijvoorbeeld voor het beoordelen, ontwerpen en onderhouden van waterkeringen en geeft adequate informatie over de impact van stormen in het kader van de landelijke informatie voorziening

De metingen worden hierbij in samenwerking met HHNK uitgebreid. Het interessegebied ligt kustlans tussen RSP 37.000 en 43.000 (dus 6 km) en kustdwars tussen de duinvoet en 1 km zeewaarts van de duinvoet.

Doel van het QRF-werk bij Egmond aan Zee is om de metingen zoals vanaf 2013 ingewonnen door de UU samen met HHNK en met het SITO-PS project - Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium (BOI) voor Primaire Waterkeringen te bestendigen en toe te passen. Ook voor het deel van de kust bij Egmond met bebouwing (Niet Waterkerende Objecten: NWO's), als de erosie tot daar aan komt.

Doel voor het stormseizoen 2024 is om het model snel toe te passen voor stormscenario's om voorafgaand aan een storm de erosie te kunnen bepalen en daarna de voorspelde erosie te valideren en eventueel het model te verbeteren. De scripts staan klaar om op basis van operationele voorspellingen van de waterbeweging langs de Nederlandse kust XBeach-modelinvoer te generen. Wanneer er een storm wordt verwacht dan kan de invoer snel worden aangepast aan de karakteristieken van de betreffende verwachte storm. Op basis van enkele simulaties kan voorafgaand aan de storm een inschatting worden gemaakt van de verwachte strand- en duinerosie.

Door QRF wordt de volgende inzet voorgesteld:

- Verbeteren XBeach-model Egmond aan Zee. Meer specifiek:
 - De concept BOI instellingen zijn reeds veelbelovend. In de tussentijd zijn er een aantal, met name morfologische, parameters aangepast. Daarom lijkt het ons goed om te kijken of dit ook de modelresultaten positief beïnvloedt wanneer we die aanpassingen meenemen op basis een nieuwe vergelijking met de storm uit 2019.
 - Naar aanleiding van de stormsequentie in 2022 bevelen we aan om de gevoeligheid van XBeach voor stormsequenties bij Egmond aan Zee te onderzoeken en te kwantificeren. Hierbij kunnen de effecten van een normale storm, een grote storm en een hele grote storm in verschillende volgordes na elkaar worden berekend. Daarna zouden we het XBeach-model willen valideren op de werkelijke stormsequentie in 2022 (Corrie van 29 tot 31 januari 2022 en Dudley, Eunice en Franklin van 18 t/m 21 februari 2022) of potentiële stormen in 2023.
 - Er is een begin gemaakt met uitbreiding van het XBeach model met het noordelijker gelegen interessegebied van HHNK. Het is de aanbeveling om 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.
- Meting bathymetrie ondiepe vooroever Egmond (twee keer) in samenwerking met Shore Monitoring en toelevering aan UU en HHNK.

Deltares blijft in QRF samenwerken met de UU en HHNK door:

- uniformeren van dataopslag
- delen van data
- gezamenlijke stormeffectrapportage Egmond aan Zee.

3 QRF-rivieren

3.1 Inleiding

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. BOI). Echter, er zijn voor rivieren geen of nauwelijks windgolf- 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 windgolfvoorspellingen 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 windgolfvoorspellingen?

De QRF-rivieren zal bijdragen aan het beantwoorden van een deel van deze onderzoeksvragen. Het korte termijn doel (2023 en 2024) van de QRF is als volgt gedefinieerd:

- Een meetvoorstel opzetten voor windgolfmetingen op rivieren tijdens hoogwater.
- Methodes ontwikkelen om afvoeren op rivieren te meten, zodat deze ingezet kunnen worden voor rivier toepassingen;

3.2 Beoogde en uitgevoerde activiteiten

Er zijn verschillende metingen uitgevoerd in 2018 en 2021, zowel op de Waal als de Westerschelde. Dit waren video opnamen, foto's en C-drone metingen. Daarnaast zijn tijdens de storm Ciara in februari 2020 via Rijkswaterstaat foto's en video opnamen van waterschappen verzameld en zijn webcamera beelden bij Varik opgeslagen. In de afgelopen jaren zijn verschillende beeldverwerkingstechnieken getest om windgolven en afvoeren uit video-opnamen en Lidar metingen te berekenen.

Voor 2023 waren de volgende activiteiten voorzien:

1. Meetvoorstel windgolven op rivieren
Een meetvoorstel opstellen voor golfmetingen op rivieren om meer inzicht te krijgen in het gedrag van windgolven op rivieren tijdens extreme condities.
2. Afvoeren in de uiterwaard
Verkennen hoe QRF-rivieren bij kan dragen aan het beter in beeld brengen van afvoeren in rivieren.
3. Meten tijdens hoogwater
Het protocol rivieren (Deltares, 2021d) wordt gevolgd wanneer een hoogwater optreedt dat aan de richtlijnen van het protocol voldoet. In 2023 is een dergelijk hoogwater tot medio december niet voorgekomen. Dit onderdeel komt dan ook niet verder terug in deze rapportage.

3.2.1 Meetvoorstel windgolven op rivieren

In het huidige BOI instrumentarium is de rol van windgolven in het rivierengebied belangrijker geworden door aangescherpte normen en het hanteren van faalpaden. Echter, het probleem is dat er weinig kennis is van windgolven op rivieren en er is een gebrek aan golfmetingen. In het huidige instrumentarium worden de windgolven op rivieren met een sterk vereenvoudigd

model berekend, namelijk de golfgroeiformules van Bretschneider. Deze golfgroeiformules zijn niet geschikt om de complexe golfpatronen en de invloed van stroming en obstakels in het rivierengebied te modelleren (zie bijvoorbeeld Figuur 3.1). Daarnaast is de modelonzekerheid relatief groot, met mogelijk het gevolg dat het aandeel van de golven wordt overschat. Een meer complex golfmodel (SWAN) zou hiervoor geschikter zijn, maar golfmetingen ontbreken in de stap naar acceptatie van een dergelijke overstap.

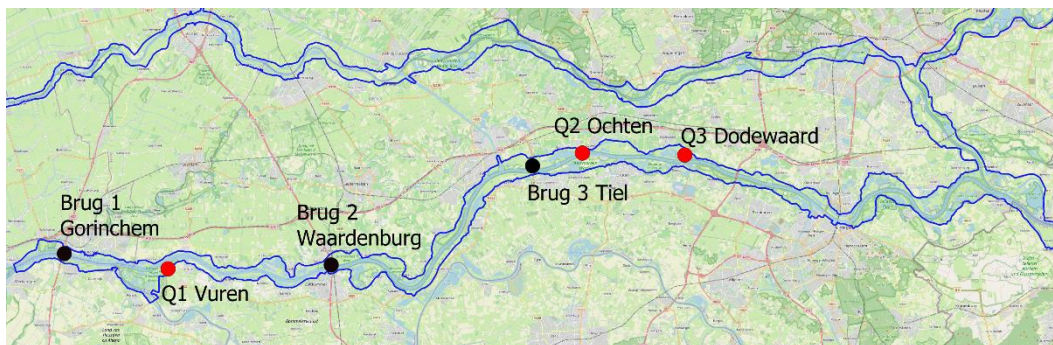


Figuur 3.1 Voorbeeld van golven op de Waal. Links: storm op 18-01-2018, $U_{10} \sim 22$ m/s, westelijke windrichting en dus tegenstroming, afvoer bij Lobith, normaal, 3621 m³/s. Rechts: verhoogde afvoer op de Waal op 24-01-2018, $U_{10} \sim 10$ m/s, zuidwestelijke windrichting en dus tegenstroming, afvoer bij Lobith, verhoogd, 5779 m³/s

Het meetvoorstel (Deltares, 2023) geeft een voorstel voor golfmetingen op rivieren om meer inzicht te krijgen in het gedrag van golven op rivieren. Dit is van belang om:

- de BOI (= Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium) golfresultaten op rivieren te kunnen verifiëren;
- als verificatie te dienen van het alternatief voor de simpele golfgroeiformuleringen van Bretschneider: het geavanceerde SWAN golfmodel bij toepassing op de bovenrivieren.

De rivier de Waal lijkt de meest geschikte rivier om te meten vanwege de relatief grote breedte en daardoor relatief hoge golfhoogtes vergeleken met andere delen van het bovenrivierengebied. Figuur 3.2 geeft een selectie van meetlocaties weer die interessant zijn om golven te meten. Er wordt aanbevolen om in het rivierengebied meerdere meetlocaties in te richten met een vaste videocamera voor het ruimtelijk beeld en één of meerdere in situ metingen. In situ metingen hebben een grotere nauwkeurigheid en dienen als validatie voor de videobeelden en de golfmodellen. De gewenste condities van voldoende hoge afvoer én voldoende wind uit het westen komen gemiddeld circa één keer in de 2 á 3 jaar voor.



Figuur 3.2 Overzicht van de gekozen locaties

De metingen zullen ruimtelijke beelden en tijdseries van waterstandsuitwijkingen opleveren waaruit verschillende parameters zoals golfhoogte en golfperiode kunnen worden afgeleid en zo mogelijk golfrichting en golfspectra.

Het meetvoorstel zal nog nader moeten worden uitgewerkt tot een detailplan door de uitvoerende partij. Dat zou de CIV van Rijkswaterstaat kunnen zijn, maar ook een marktpartij.

Opgemerkt moet worden dat niet alle informatiebehoefte op het gebied van golfmodellering in het rivierengebied ingevuld kunnen worden met dit meetvoorstel. Bepaalde informatiebehoefte worden niet ingevuld in dit meetvoorstel, zoals (1) inzicht in bepaalde fysische processen, zoals de invloed van wind, (2) het gebruik van metingen voor het afleiden van modelonzekerheden en (3) metingen voor modelvalidaties. Er wordt aanbevolen om naar alternatieven voor deze informatiebehoefte te kijken, door bijvoorbeeld gebruik te maken van (bestaande) metingen in een ander gebied (bijvoorbeeld de Waddenzee of Westerschelde), de laboratorium faciliteiten te gebruiken of door toepassing van numerieke modellen.

3.2.2 Afvoeren in uiterwaarden

Hoogwaters vaker lijken te gaan voorkomen in de Rijn en de Maas door klimaatverandering. Een voorbeeld is het hoogwater in 2021 in de Maas met een (erg) hoge afvoerpiek. Helaas is de grootte van de afvoer tijdens (extreem) hoogwater zeer onzeker (afwijking waarschijnlijk > 5%). Voor de Maas bleek ook dat de ADCP metingen uit het hoogwatermeetplan in de periode rond de afvoerpiek in 2021 maar voor een deel konden worden uitgevoerd. Dus data over de grootte van de afvoergolf zijn maar beperkt beschikbaar.

Het probleem is dat de afvoer normaliter bepaald wordt uit stroomsnelheidsmetingen (bijv. ADM), maar deze worden niet meer uitgegeven wanneer de uiterwaarden meestromen. Het aandeel van de afvoer in de uiterwaarden maakt de bepaling van de afvoer onzeker. Bij hoogwater worden wel ADCP metingen ingezet, maar deze metingen zijn niet goed mogelijk bij extreme afvoeren. Om te bepalen hoe groot de afvoer is in de uiterwaarden is binnen QRF-rivieren in 2022 geprobeerd om de afvoer in de uiterwaarde te bepalen met behulp van een overlaatformulering en de waterhoogte uit LiDAR. Echter, aan deze methode zitten nog wat haken en ogen, waaronder de nauwkeurigheid van de afvoerbepaling.

Er zijn wel mogelijkheden om bij extreme afvoeren de afvoer in de uiterwaarden te meten om de afvoerbepaling bij extreme afvoeren nauwkeuriger te maken. Voor de afvoerbepaling kan een locatie gekozen waar de uiterwaarden uiterwaarden afwezig of zeer smal zijn, bijv. bij St. Pieter in plaats van de huidige locatie bij Megen in de Maas. Daarnaast kan gekeken worden om de meettechniek en extrapolatie bij afvoermeetstations te verbeteren:

- Bijv. door naar een stroomsnelheidsmetingen met ADM ook stroomsnelheid aan het oppervlak te bepalen met K-band radar.
- Door innovatieve methoden voor de afvoermonitoring in te zetten, zie Tabel 3.1 voor een overzicht.
- Met behulp van maatwerk per station.

Het is aan te raden om de haalbaarheid van deze opties verder te onderzoeken. Hiervoor wordt een haalbaarheidsstudie voor 2024 aangeraden, zie ook paragraaf 3.3.

Tabel 3.1 Innovatieve methoden voor afvoermonitoring in de Rijnmaasmonding. Overzicht komt uit Buschman (2019).

	Bemeten gedeelte doorsnede	Inschatting kosten installatie	TRL incl. bepaling afvoer	Meetinterval	Overige opmerkingen
ADCP vanaf veerpont	Groot	€€	7	Mist hoge afvoeren en 's nachts	In riviersituatie is correctie door verstoring veerpont mogelijk nodig.
Gefixeerde ADCP	1 verticaal	€€	8 (IVM) 7 (VPM)	Voldoet	Bij voorkeur op laagste punt in doorsnede; variatie in breedte moet constant verondersteld worden
HADCP gefixeerd op een oever	1 horizontaal	€€	9 (IVM) 7 (VPM)	Voldoet	Bij voorkeur laag in de waterkolom, maar niet te dicht op bodem ivm verstoring
Grootschalige PIV	Groot oppervlak, alleen toplaa	€	6	Mogelijk beperking 's nachts	Postprocessing kost wel veel.
Grootschalige PIV met bellenscherm	Erg groot oppervlak	€	5	Mogelijk beperking 's nachts	Postprocessing incl. correctie voor o.a. wind kost wel veel.
Rivierradar vanaf een paal	Groot oppervlak, alleen toplaa	€€€	7	Voldoet	Een vergunning is nodig.
K-band radar	Puntmeting in toplaa	€	9	Vanaf een paal: voldoet	Vaak toegepast vanaf een brug.
Akoestische tomografie	Groot	€€	6	Voldoet	Voor apparaat en postprocessing zijn onderzoekers nodig; Naast afvoer, ook saliniteit te monitoren

3.3 Aanbevelingen voor QRF-rivieren in 2024

Voor 2024 wordt aanbevolen om het meetvoorstel (Deltares, 2023) voor meten van golven op rivieren verder uit te werken. Concreet betekent dit dat de QRF-rivieren zal meedenken samen met RWS-WVL/CIV in de richting van de implementatie van het meetvoorstel. Daarnaast worden SWAN modellen opgezet voor de voorgestelde meetlocaties, zodat meer inzicht kan worden verkregen in de ruimtelijke variatie van de golfcondities in die gebieden. Hiermee kan de plaatsing van instrumenten in de gekozen gebieden verder geoptimaliseerd worden.

Daarnaast is het plan om een haalbaarheidsstudie voor Rijn en Maas uit te voeren met als doel:

- Nagaan hoe de afvoer tijdens een (extreme) hoogwater beter bepaald kan worden op basis van huidige meettechnieken en verwerkingsmethoden.
- Hierbij zal het belangrijk zijn de verdeling in afvoer over tussen winterbed en zomerbed beter te kennen.

Er zal gekeken worden of er met QRF-rivieren aansluiting gevonden kan worden bij het Delta Enigma programma.

4 Conclusies

4.1 QRF-kust

Beheerders hebben behoefte aan een adequate informatievoorziening na een storm, en willen inzicht in of het daadwerkelijk effect ervan aansluit op de verwachtingen op basis van ervaring van de beheerder of op basis van de beschikbare modellen. In Noord-Holland worden daartoe door QRF op het strand en in de duinen bodemhoogtemetingen en golfhoogtemetingen uitgevoerd in samenwerking met Universiteit Utrecht (UU). De bodemhoogtemetingen worden vooral uitgevoerd met een zogenaamde Terrestrial Laser over een strandgebied van 4 km kustlangs vanaf december 2013 tot op heden. De metingen zijn aanvullend op KustLiDAR door Rijkswaterstaat. Naast de Terrestrial Laser wordt ook de zogenaamde Structure for Motion (SfM) techniek toegepast. Naast bodemhoogtemetingen worden door de UU op het strand van Egmond tijdens het stormseizoen ook golfhoogtemetingen uitgevoerd met 14 druksensoren.

Op basis van gezamenlijk ingewonnen meetgegevens is door QRF en UU een XBeach-model opgezet. De QRF-metingen van bodemhoogte van vooroever, strand en duinen en golfhoogtes op het strand werden in 2023 gebruikt om de prestaties van het model tijdens een storm te verbeteren en de gevoeligheid voor stormsequenties te bepalen. In 2024 willen we het model snel toepassen voor stormscenario's om voorafgaand aan een storm de erosie te bepalen en daarna de voorspelde erosie te valideren en eventueel het model te verbeteren. Ook willen we met een nieuwe meetmethode de golfoploop en duinerosie niet alleen voorafgaand en na een storm maar ook tijdens een storm meten.

4.2 QRF-rivieren

Om golf- en stromingsberekeningen op rivieren (bijv. van BOI) te verifiëren en te verbeteren zijn windgolf- en stromingsmetingen nodig. Echter, in het rivierengebied zijn nauwelijks metingen voor stroming en windgolven beschikbaar. De QRF-rivieren heeft als doel om bij te dragen aan het mogelijk maken van golf- en stromingsmetingen in het rivierengebied.

Het werk dat in 2023 is verricht was gericht op het opstellen van een meetvoorstel voor het meten van golven op rivieren. Dit meetvoorstel geeft aan hoe, wat, wanneer en waar te meten. Het meetvoorstel zal nog nader moeten worden uitgewerkt tot een detailplan door de uitvoerende partij. Dat zou de CIV van Rijkswaterstaat kunnen zijn, maar ook een marktpartij.

Voor afvoeren is een plan voor een haalbaarheidsstudie voor Rijn en Maas opgezet. Het idee is om dit plan in 2024 uit te voeren.

5 Referenties

- Deltares/Arcadis, 2021. *XBeach BOI –BOI Standaard instellingen, (her)kalibratie van XBeach(Deel 1 + Deel 2)*. Tech. report 11205758-018-GEO-0006, Delft, The Netherlands: Deltares/Arcadis.
- Deltares, 2015. *XBeachWTI2017, revision 4509. Quality status report*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2017. *Afvoeren in uiterwaarden bepalen met remote sensing technieken, Deltares kenmerk 1230041-003, 2 januari 2017*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2021a. *Eindrapport Quick Reaction Force 2021. Deltares rapport 11206793-007-ZWS-0002, 22 december 2021.*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2021b. *Kwantitatieve analyse videobeeld op rivieren. Deltares memo 11205235-006-ZWS-0004, 11 mei 2021.*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2021c. *Meetplan validatie meettechnieken. Deltares memo 11206793-007-ZWS-0001, 1 oktober 2021.*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2021d. *QRF protocol monitoren op rivieren tijdens hoogwater. Deltares memo 11205235-006-ZWS-0003, 1 oktober 2021, werkdocument.*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2021. *Eindrapport Quick Reaction Force 2021. Rapport 11206793-007-ZWS-0002*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2021e. *XBeach BOI -Approaches to reduce calculation time. Tech. report 11205758-029-GEO-0012*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2022a. *Afvoerbepaling in uiterwaarden uit waterhoogte bepaald met LiDAR. Hoogwater Maas 2021. Deltares rapport 11208034-007-ZWS-0003, 28 november 2022, CONCEPT*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2022b. *Data verwerking metingen Westerschelde. Deltares memo 11208034-007-ZWS-0002, 12 december 2022, CONCEPT.*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2022c. *Golven op rivieren. Deltares powerpoint presentatie. Oktober 2022.*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Deltares, 2023. *Meetvoorstel golven op rivieren, s.l.: Deltares rapport 11209262-007-ZWS-0001*.
- Grasmeijer, 2020. *QRF protocol - Meetlocatie Egmond aan Zee*, Delft, The Netherlands: Deltares.
- Svašek, 2011. *Productieberekeningen Westerschelde voor WTI-2011: rapportage fase 1. Rapport Svašek Hydraulics en HKV. ref PR1874.10, dd februari 2011. Auteurs: M.Klein en A.Kroon*, Rotterdam, The Netherlands: Svašek Hydraulics.
- Van Eck, M., 2023. *Numerical modelling of storm sequences at Egmond aan Zee*, Utrecht, The Netherlands: Utrecht University.
- Watermanagementcentrum, 2023. *Stormvloedflits 2023-01*, Lelystad: Rijkswaterstaat.
- Zijdeveld, A., Verboeket, R., Bosma, B. & Ijpelaar, R., 2022b. *Stormvloedrapport SR100. Stormvloed tijdens stormen Eunice en Franklin van 18 t/m 21 februari 2022*, Lelystad, The Netherlands: Rijkswaterstaat. WMCN Kust.
- Zijdeveld, A. et al., 2022a. *Stormvloedrapport SR99. Storm Corrie van 29 tot 31 januari 2022*, Lelystad, The Netherlands: Rijkswaterstaat. WMCN Kust.

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