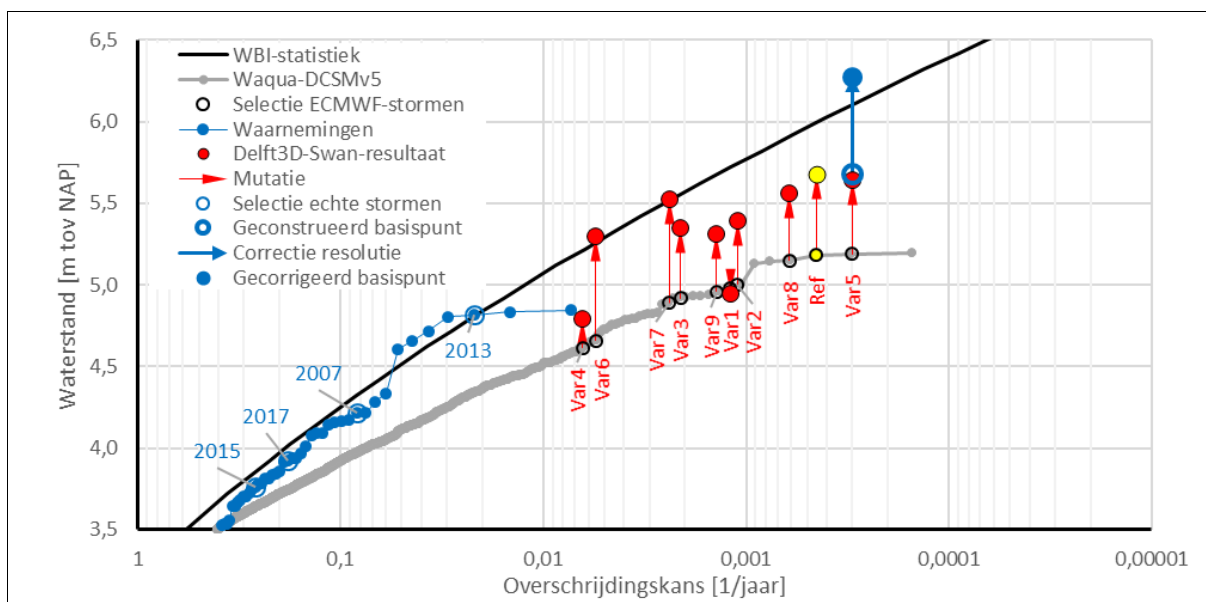


Risicoanalyse HR Modellen (inhoudelijke samenvatting)



Project	POV-Waddenzeedijken
Onderzoek	Risicoanalyse HR Modellen
Projectmanager	Jan Hateboer
Datum	17 december 2019
Versie	Definitief

De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
1.1	POV Waddenzeedijken	3
1.2	Aanpassing WBI	3
1.3	Doelstelling.....	4
2	Aanpak	5
2.1	Oorspronkelijke onderzoeksvragen	5
2.2	Werkzaamheden.....	5
3	Resultaten (inhoud)	6
3.1	Literatuuronderzoek en data-inventarisatie (inclusief verkenning modelonderzoek).....	6
3.1.1	Inleiding	6
3.1.2	Referenties en varianten stromen	7
3.1.3	Resultaten	8
3.2	Resultaten Fase C Modelonderzoek	10
3.2.1	Verdieping vooraf.....	11
3.2.2	Validatie van de toepassing van het modelinstrumentarium	13
3.2.3	Definitie van de karakteristieke stormen	15
3.2.4	Doorrekening voor geselecteerde stormen	17
3.2.5	Analyse en verdieping resultaten	18
4	Conclusies en aanbevelingen	24
4.1	Conclusies en aanbevelingen voor BOI-ontwikkelingstraject en aanpalende onderzoekstrajecten.....	24
	Verwerking van nieuwe modelinzichten	30
4.2	Conclusies en aanbevelingen voor HWBP-projecten	31
4.3	Aanbevelingen MVED	35
4.4	Samenvattende conclusies.....	36

1 Inleiding

Deze rapportage is een inhoudelijke samenvatting van de onderzoeksrapportages van Fase B en C. Alle details zijn beschikbaar in de afzonderlijke rapportages van deze fasen.

1.1 POV Waddenzeedijken

Het onderzoek Risicoanalyse HR is onderdeel van de Projectoverstijgende Verkenning Waddenzeedijken (POV Waddenzeedijken, 2015a). Dit onderzoek moest inzicht geven in het effect van de mogelijke overstap van het huidige naar het toekomstige rekeninstrumentarium op de (toekomstige) versterkingsopgave(n). Kenmerk bij deze overstap is dat er mogelijk geen gebruik meer wordt gemaakt van zowel een extrapolatie van lokale waterstanden bij de dijk (conform de huidige triangulaire interpolatiemethode) als de bestaande WTI2011-database met een reeks basisresultaten van reeds in 2011 uitgevoerde golfberekeningen. In de eventuele nieuwe opzet van het rekeninstrumentarium worden zowel de waterstanden als de golfcondities afgeleid uit de resultaten van rekenmodellen die worden aangestuurd met een offshore forcering en de hierbij behorende statistiek. De mogelijke aanscherping wordt in paragraaf 1.2 nader toegelicht.

1.2 Aanpassing WBI

Het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) is in ontwikkeling (hierna Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI)). In dit onderzoek kijken we naar parameters en uitgangspunten, die nu niet worden meegenomen in de rekenmodellen waarmee beoordeeld en getoetst wordt. Specifiek voor het Waddegebied zijn er situaties waarvan bekend is dat ze effect hebben op de golfcondities, maar die nog niet goed in de modellen en het WBI worden of kunnen worden meegenomen. Belangrijke onderdelen hiervan zijn:

- het gedrag van stormen;
- de geometrie van de zeebodem;
- het gegeven dat wind, golven, stromingen en de bodem effect op elkaar hebben, maar in de modellen apart worden beschouwd;
- kleinere secundaire effecten, zoals ruwheid bodem, laterale toestromingen, golven uit verschillende richtingen enzovoort.

Het is de ambitie om in de toekomst deze parameters en uitgangspunten wel te gebruiken. De vraag is wat dat zou gaan betekenen voor de waterstanden en golfcondities bij de dijk en de bijbehorende versterkingsopgave.

De huidige WBI-belastingen voor getijwateren zijn in sterke mate opgehangen aan historische waterstandmeetreeksen. Dit maakt het lastig om effecten van klimaatverandering (zeespiegelstijging en met name eventuele stormklimaatverandering) goed in het BOI te implementeren. Bovendien kunnen eventuele fysische trendbreuken buiten het huidige meetbereik niet gedetecteerd en verdisconteerd worden en is de statistische onzekerheid groot. Het WBI/BOI wil daarom op termijn de wind als primaire basisstochast gaan hanteren, op basis van vele duizenden jaren KNMI-modeldata. De hydraulische belastingen worden dan berekend met een trein van meteo-, waterbewegings- en golfmodellen.

Het probleem van de huidige situatie is dat die kan leiden tot een minder betrouwbare veiligheidsbeoordeling en tot inefficiënte dijkontwerpen die hun ontwerphorizon niet halen of juist veel te robuust zullen blijken te zijn. Met dit onderzoek ontwikkelen we bouwstenen voor het BOI2023. Daarnaast wordt er gewerkt aan bouwstenen en aandachtspunten voor de HWBP-projecten die in voorbereiding zijn.

1.3 Doelstelling

De studie kent drie hoofdoelstellingen:

- (i) een inzicht in de bepalende factoren en impact op dijkontwerp gebaseerd op de denklijnen van de nieuwe methodiek;
- (ii) een eerste vergelijking van de modelresultaten (denklijnen nieuwe methodiek) met de huidige WBI2017-condities voor een groot aantal locaties langs de Waddenzeedijken;
- (iii) eerste inzichten in effect op het ontwerp van de in voorbereiding zijnde HWBP-projecten langs de Waddenzee.

Ad i) Het eerste doel is het verkrijgen van inzicht in de effecten van een aantal onzekerheden op de hydraulische condities bij de dijk. Deze onzekerheden zijn gegroepeerd rondom een aantal thema's, die te maken hebben met de geometrie, de forcering, de zogenaamde interactie-effecten en de tweede-orde- (overige) effecten. Deze effecten worden gekwantificeerd door de verschillen te bepalen tussen de uitkomsten van een referentiesom en een berekening waarbij er per thema een variant is doorgerekend. Daarbij wordt niet alleen gekeken naar de verschillen in de waterstanden en golfcondities bij de dijk, maar ook naar het effect hiervan op de benodigde kruinhoogte van de achterliggende dijk.

Ad ii) In aanvulling op deze verkenning wordt voor elk van de uitgevoerde berekeningen ook een eerste vergelijking gemaakt tussen de bij de dijk berekende golfhoogte en de WBI2017-waarde, zoals deze is opgenomen in de thans vigerende WTI2011-database. Hiertoe wordt voor de lokale waterstand en windcondities de bijbehorende golfconditie via interpolatie uit deze database onttrokken.

Ad iii) In Fase C is een gerichte vertaling gemaakt naar het ontwerp van HWBP-projecten die in voorbereiding zijn.

2 Aanpak

2.1 Oorspronkelijke onderzoeksvragen

Voor een goede invulling van de doelstelling zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Hoe groot is de invloed van de geometrie van de zeebodem op de golfcondities?
2. Hoe groot is de invloed van stormen op de golfcondities?
3. Hoe groot is de invloed van de interactie tussen wind, golven, stromingen en de bodem op de golfcondities?
4. Hoe groot is de invloed van de secundaire effecten op de golfcondities?
5. Hoe groot is de invloed van voorgaande onderzoeksvragen op de randvoorwaarden bij de dijk?
6. Wat betekent dat alles voor de veiligheidsbeoordelingen en de dijkontwerpen?

2.2 Werkzaamheden

In dit onderzoek zijn drie fasen doorlopen:

1. Fase A: Startfase (verkenning)
2. Fase B: Literatuuronderzoek en data-inventarisatie (inclusief verkenning modelonderzoek)
3. Fase C: Modelonderzoek

In Fase A is een zeer gerichte verkenning uitgevoerd, die heeft geleid tot een goed inzicht in kennishiaten en benodigd onderzoek. Dit is vertaald naar een plan van aanpak voor Fase B. Deze fase is steviger opgepakt dan de eerste formulering. Een eerste inzicht in het functioneren van de modellen is in deze fase toegevoegd. Dit werd als zeer waardevol beschouwd, omdat het hierdoor mogelijk was in Fase C tot een gerichtere invulling te komen. Fase C is een verdieping van Fase B en moet bouwstenen opleveren voor HWBP-projecten in voorbereiding en voor het nieuwe BOI in ontwikkeling. Om dit te bereiken is ervoor gekozen om heel gericht in te zoomen op drie HWBP-projecten (Koehool-Lauwersmeer (twee deelgebieden), Vierhuizergat-Lauwersoog en de Brede Groene Dijk). Door de reeds gekozen modelbenadering en nadere verdieping in deze fase ontstaan dan ook passende bouwstenen voor het nieuwe WBI.

Voor goede inzichten in de impact op de HWBP-projecten zijn betrouwbare modellen nodig. In Fase B zijn enkele gewenste aanscherpingen naar voren gekomen. Hierop heeft eerst een verdieping plaatsgevonden, waarna meerdere rekenexercities voor HWBP-projecten hebben plaatsgevonden. Voorgaande denklijn heeft geresulteerd in de volgende fasering in Fase C:

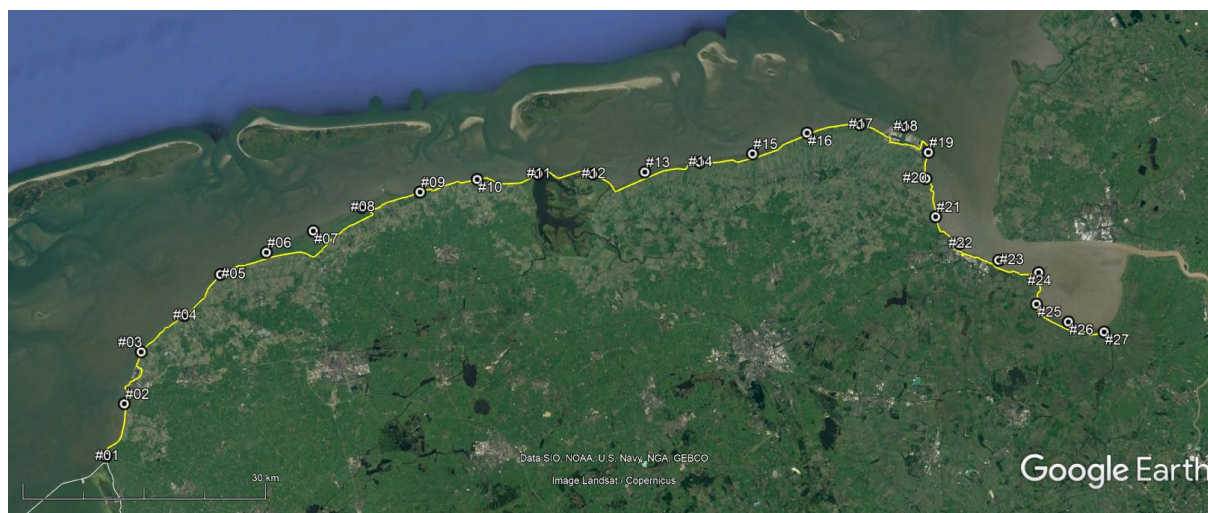
- C1 Aanvullende analyses en onderbouwing (nadere validatie modellenterrein stap 1)
 - i. analyses discrepanties ECMWF-dataset;
 - ii. karakterisering van de opgelegde forceringen;
 - iii. inbouwen beschuttingseffecten Eems-Dollard.
- C2 Validatie gehanteerde rekenmodel
- C3 Nadere duiding statistische kenmerken forcering
- C4 Varianten doorrekenen per HWBP-project
 - i. eerst werkelijke stormen (validatie stap 2);
 - ii. vervolgens extremen met bekende statistiek;
 - iii. vertaling naar dijkontwerp (conform Fase B);
 - iv. vergelijking huidige WBI en nieuwe methodiek (onder andere golfstatistiek).
- C5 Resultaten vertalen naar HWBP-projecten en BOI2023

3 Resultaten (inhoud)

3.1 Literatuuronderzoek en data-inventarisatie (inclusief verkenning modelonderzoek)

3.1.1 Inleiding

Na een gerichte verkenning en definiëring van het onderzoek is een gerichte opzet gemaakt van de modelaanpak, zodat stapsgewijs naar een succesvolle modelbenadering is toegewerkt. Voor het beschouwen van de grootschalige impact van het nieuwe rekeninstrumentarium is het niet nodig om elk uitvoerpunt te gebruiken. Daarom is er een beperkte selectie van deze punten gekozen met het in Figuur 1 weergegeven resultaat. De onderlinge afstand tussen de 27 geselecteerde uitvoerpunten bedraagt ongeveer 6 km en varieert 3,5 en 7,5 km. Hiermee is het mogelijk om een voldoende goed beeld te krijgen van de langsvariatie van de hydraulische condities langs de Waddenzeedijk.



Figuur 1. Overzicht van de 27 geselecteerde WBI-uitvoerlocaties langs de Waddenzeedijk

3.1.2 Referenties en varianten stromen

Op de vier onzekerheidsthema's zijn een referentiestorm en variant geselecteerd. Deze referenties en varianten zijn doorgerekend met behulp van modellen. Het BOI in ontwikkeling zal mogelijk op basis van soortgelijke modellen en denklijnen gestalte krijgen. Detailinzichten in nadere onderbouwing van keuzes zijn opgenomen in de rapportage over Fase B. Met het doorrekenen van de varianten en de referenties is een eerste gevoeligheid en inzicht in effect op het benodigde ontwerp van de dijk inzichtelijk geworden.

	Onzekerheid Geometrie	Onzekerheid Forcering	Onzekerheid Interacties	Onzekerheid tweede-orde
Referentie	Bodem 2016	Extreme storm. Lange duur. Noordwest- westenwind.	Enkelzijdige modelkoppeling	Idem storm dan forcering
Variante	Laagste bodem tussen 1967-2016	Extreme Storm. Lange duur. Westenwind	Tweezijdige modelkoppeling	Storm draaiend naar noord
Opmerkingen	Variante is niet realistische worstcase, maar zal inzicht verschaffen in gevoeligheid/ effect geometrie.	Stormduur is langer dan bij WBI 2017. Referentie en variante geven inzicht in langere storm- duur en verschil	Tweezijdige koppeling is de koppeling van de waterbe- wegings- en golfmodellen.	Effecten van tweede-orde- onzekerheden zijn veel kleiner dan andere typen stormen. Een storm die draait naar het noorden zou veel meer inzicht en impact hebben dan andere tweede-

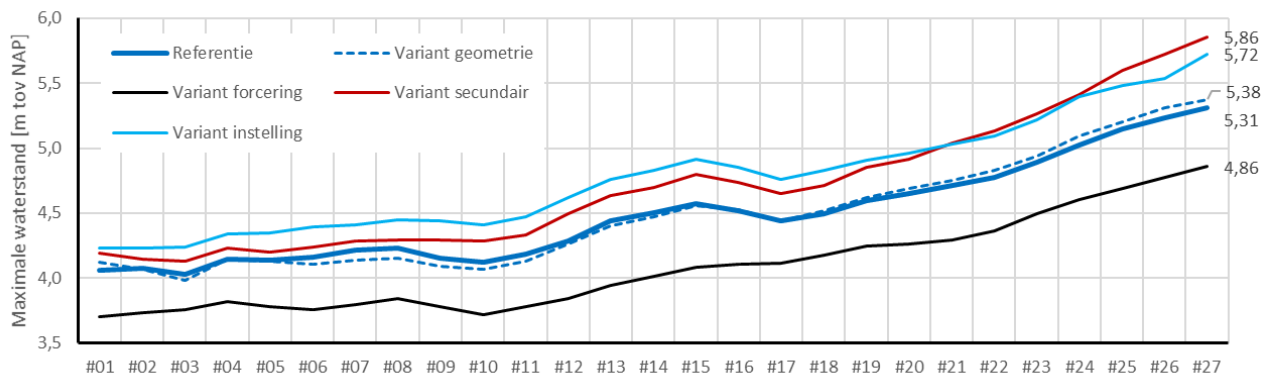
De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

		qua windrichting.		orde-effecten (Dollard).
--	--	-------------------	--	--------------------------

Tabel 1: Onzekerheden in beeld

3.1.3 Resultaten

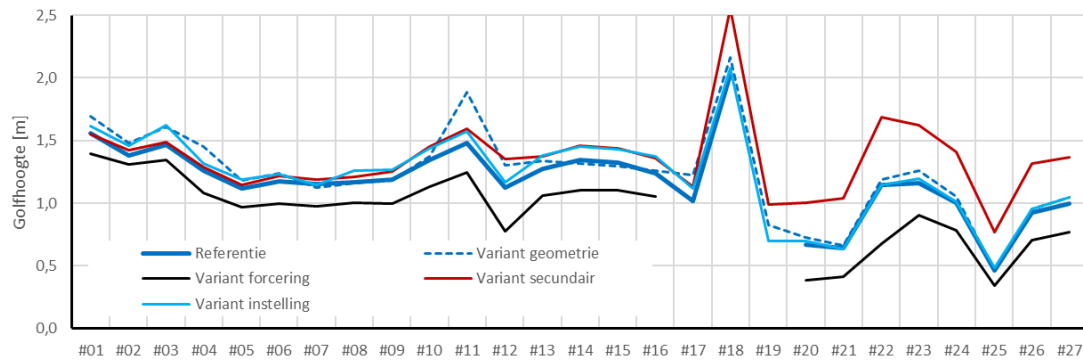
Figuur 2 geeft een samenvattend overzicht van de uit de verschillende berekeningen afgeleide waterstandsmaxima. De beschouwde variatie in de forcering (inclusief de zogenaamde secundaire effecten via de aanvullende variantstorm) heeft een groot effect op de waterstand. Voor deze laatste geldt dat met name in het oostelijke deel van het traject.



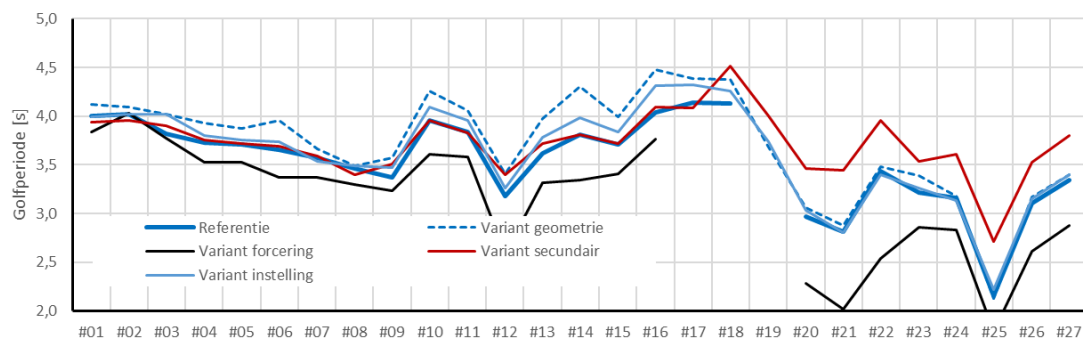
Figuur 2. Langsverloop maximale waterstand per beschouwde variant

In absolute zin is ook de tweezijdige koppeling van grote invloed op de maximaal bereikte waterstand.

Een soortgelijke conclusie geldt voor de effecten van de forcering op de golfhoogten (Figuur 3) en golfperiodes (Figuur 4). De impact van de tweezijdige koppeling blijft hierbij iets achter en is ten opzichte van het effect op de waterstanden beperkter. Opvallend is wel dat het effect van de geometrie (bodempligging) op de golfperiode wel weer relatief groot is.

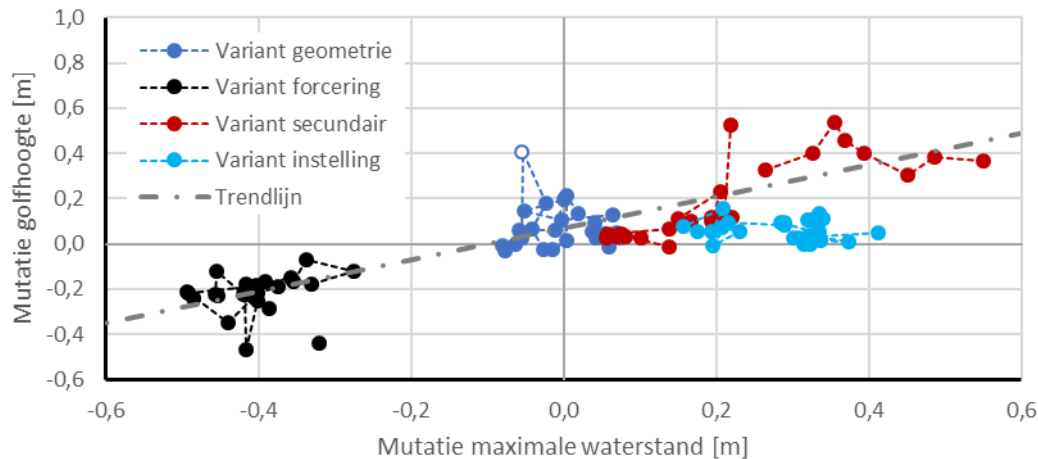


Figuur 3. Langsverloop maximale golfhoogte per beschouwde variant



Figuur 4. Langsverloop maximale golfperiode per beschouwde variant

Figuur 5 geeft een samenvattend beeld van de impact van de beschouwde variaties op zowel de maximale waterstand als de bijbehorende golfhoogte. In deze figuur is ook een indicatieve (lineaire) trendlijn opgenomen, die laat zien dat een mutatie in de waterstand voor ongeveer 70% terugkomt in de mutatie van de golfhoogte.



Figuur 5. Samenvattende weergave berekeningsresultaten van de beschouwde varianten

Uit de figuur blijkt dat het effect van de geometrie in deze zin beperkt is, zeker op het moment dat in aanmerking wordt genomen dat het hierbij gaat om een soort van bovengrensbenadering.

Het effect van een beperkt andere forcering (zwarte bolletjes) leidt tot een verschuiving langs de trendlijn van de datapunten. Er blijft in dit geval wel sprake van een cluster van 'dicht bij elkaar gelegen' punten.

Op het moment dat wordt gekozen voor een echt afwijkende forcering (de rode punten), 'strekt' het puntencluster zich langs de trendlijn en is de variatie in impact op zowel de waterstanden als de golfhoogten groter. Bij deze rode punten bevinden de locaties in de westelijke Waddenzee zich links onderin en de locaties in de oostelijke Waddenzee (en de Eems-Dollard) juist rechts bovenin.

De resultaten voor de koppelingsvariant liggen onderop de eerder gedefinieerde lijn en bevinden zich qua mutatie in de waterstand in het midden van de 'secundaire wolk'. De gemiddelde toename van de waterstand is 0,29 m en de gemiddelde toename van de golfhoogte blijft daar ruim onder (0,06 m). De door golfbreking opgewekte extra opzet leidt dus niet tot een daar direct aan gekoppelde toename van de golfaanval.

3.2 Resultaten Fase C Modelonderzoek

Met de eerste inzichten uit Fase B en beter zicht op kennishiaten is een vervolgaanpak voor Fase C opgesteld. Deze kenmerkt zich door eerst enkele gerichte verdiepingen en vervolgens modelonderzoek op maat.

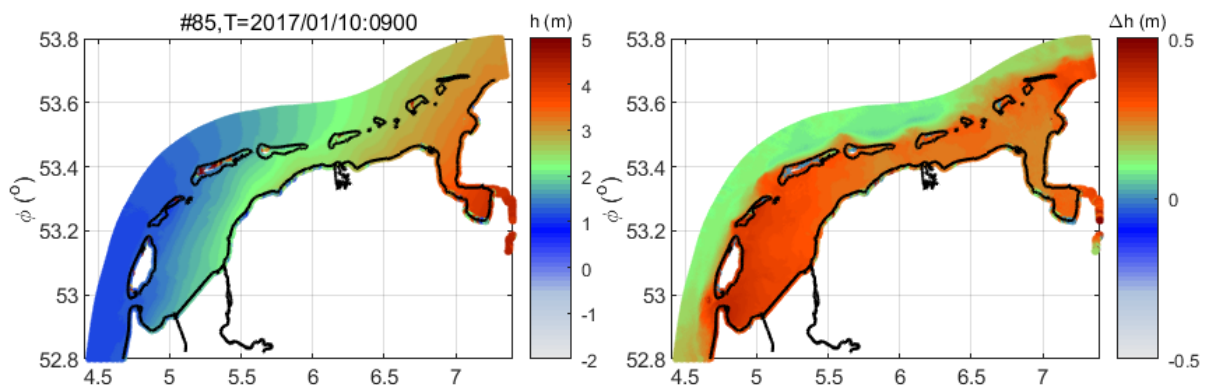
Het onderzoek van Fase C richt zich zowel op het definiëren van aanbevelingen voor het BOI-ontwikkelingstraject als het formuleren van concrete aanbevelingen voor een aantal specifiek geselecteerde HWBP-versterkingstrajecten langs de Friese en Groningse Waddenzeedijk.

3.2.1 Verdieping vooraf

Het centrale onderdeel van deze studie had betrekking op het uitvoeren van een doordachte set Delft3D-Swan-berekeningen en het analyseren van de hiermee verkregen resultaten om vervolgens conclusies te kunnen trekken over zowel de betekenis voor de versterkingstrajecten als het BOI-ontwikkelingstraject. Ter voorbereiding op deze activiteit zijn een viertal voorbereidende activiteiten gedefinieerd.

Gebruik tweezijdige koppeling en definitie instellingen rekenmodel

In Fase B van de studie is het effect van het gebruik van de tweezijdige koppeling waarbij niet alleen informatie van het stromingsmodel aan het golfmodel wordt overgedragen, maar het golfmodel ook informatie teruglevert aan het stromingsmodel, reeds door vergelijkende berekeningen in beeld gebracht. De bijdrage van de golven aan de storm- en windopzet blijkt in de Waddenzee van groot belang voor de extreme-waardenstatistiek. Het meenemen van een tweezijdige koppeling voor het Waddenzeemodel leidt voor de zogenaamde referentiestorm tot een maximale verhoging van 0,4 m in de piekwaterstand in de Waddenzee. Deze toename toont in de Waddenzee een stijgend verloop van west naar oost en bedraagt orde 10 % van de windgedreven opzet. De verhoging van de waterstanden komt primair tot stand door effecten van brekende golven bij de buitendelta's van de zeegaten, waardoor lokaal stromingen door de zeegaten richting Waddenzee worden veroorzaakt. In de tweezijdige koppeling leiden de hogere waterstanden ook tot iets zwaardere golfcondities.



Figuur 6 Ruimtelijke variatie van de waterstand h op basis van de eenzijdige koppeling (links) en de verschillen (rekenwaarden tweezijdig minus eenzijdig) met de resultaten van tweezijdige koppeling (rechts) op uitvoerstap 85, 10 januari 2017, 9:00 uur

Analyses geobserveerde 'discrepancie' rondom ECMWF-dataset

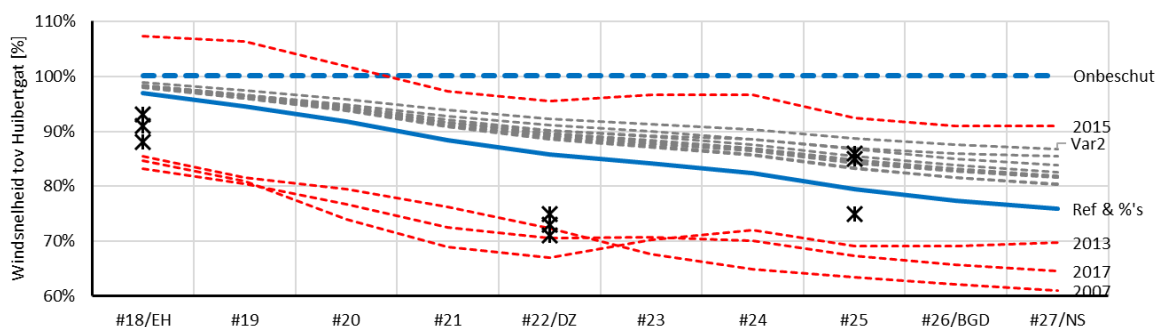
De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

De resultaten van Fase B lieten zien dat er een groot verschil bestaat tussen de resultaten van de ECMWF/Waqua-berekeningen en de Delft3D-berekeningen. De in Fase B uitgevoerde berekeningen resulteerden immers in waterstanden die 0,3 tot 0,5 m lager zijn dan die volgen uit de voor de selectie van de stormen gebruikte ECMWF/Waqua-sommen. De oorzaak van dit verschil bleek hoofdzakelijk te zijn dat er een ander getij werd gehanteerd. Bij de Delft3D-doorrekeningen van Fase B was er expliciet voor gekozen om de ECMWF-forceringen voor elke beschouwde storm op te leggen op een vergelijkbaar moment en dus overeenkomstig astronomisch getij. Bij het gebruik van een harmonisch getij dat wel paste bij de specifieke ECMWF-storm in beide modellen bleken de resultaten veel beter overeen te komen. De beperkte, resterende afwijkingen zijn verklaarbaar vanuit verschillen in software (Delft3D versus Waqua), roosterresolutie en kalibratie van beide modellen. Van de in eerste instantie gedefinieerde 'discrepanctie' blijkt achteraf gezien dus geen sprake.

Verkenning effect beschutting in Eems-Dollard

Door de grote roostercellen van de ECMWF-windvelden (circa 80x80 km) en dus ook de grote landfractie in deze roostercellen boven de Eems-Dollard is sprake van relatief lage windsnelheden boven de Eems-Dollard. Dit leidt potentieel tot een mogelijke onderschatting van de (lokale) forcering van de waterstanden in het Delft3D-model. Een nadere duiding hiervan is met name nodig ten behoeve van de achterin de Eems-Dollard gelegen versterkingstrajecten, omdat dit een groot effect heeft op de hier te verwachten hydraulische condities.

De verwachte beschutting is in beeld gebracht door een analyse van verschillen tussen metingen bij verschillende stations in en rond de Noordzee, Waddenzee en Eems-Dollard, en op basis van enkele HARMONIE-windvelden. Uit de analyse van deze berekeningen blijkt dat de windsnelheid (voor windsnelheden boven 15 m/s) boven de Eems bij Delfzijl 25 tot 30 % lager ligt dan bij Terschelling Noordzee. Voor de Dollard gaat dit om 15 tot 25 %. Relatieve verschillen tussen stations lijken vrijwel onafhankelijk van de hoogte van de windsnelheid.



Figuur 7 Langsverloop van de relatieve windsnelheid langs de Waddenkust ten opzichte van Huibertgat voor de referentiestorm voor de referentiesituatie (blauwe lijn), de variantstormen (grijze stippellijnen) en de situatie zonder beschutting (blauwe stippellijn), inclusief de resultaten van een detailanalyse van de windvelden voor drie locaties

Voor het bepalen van de daadwerkelijk optredende beschutting zijn lokaal uitgevoerde windmetingen nodig.

Aangezien de vigerende hydraulische randvoorwaarden voor de Waddenzeedijken zijn gebaseerd op berekeningen met een uniforme windsnelheid die statistisch gekoppeld is aan de windsnelheid bij West-Terschelling, mag verwacht worden dat de WBI-methodiek voor de Eems-Dollard leidt tot een overschatting van de hier aanwezige hydraulische condities.

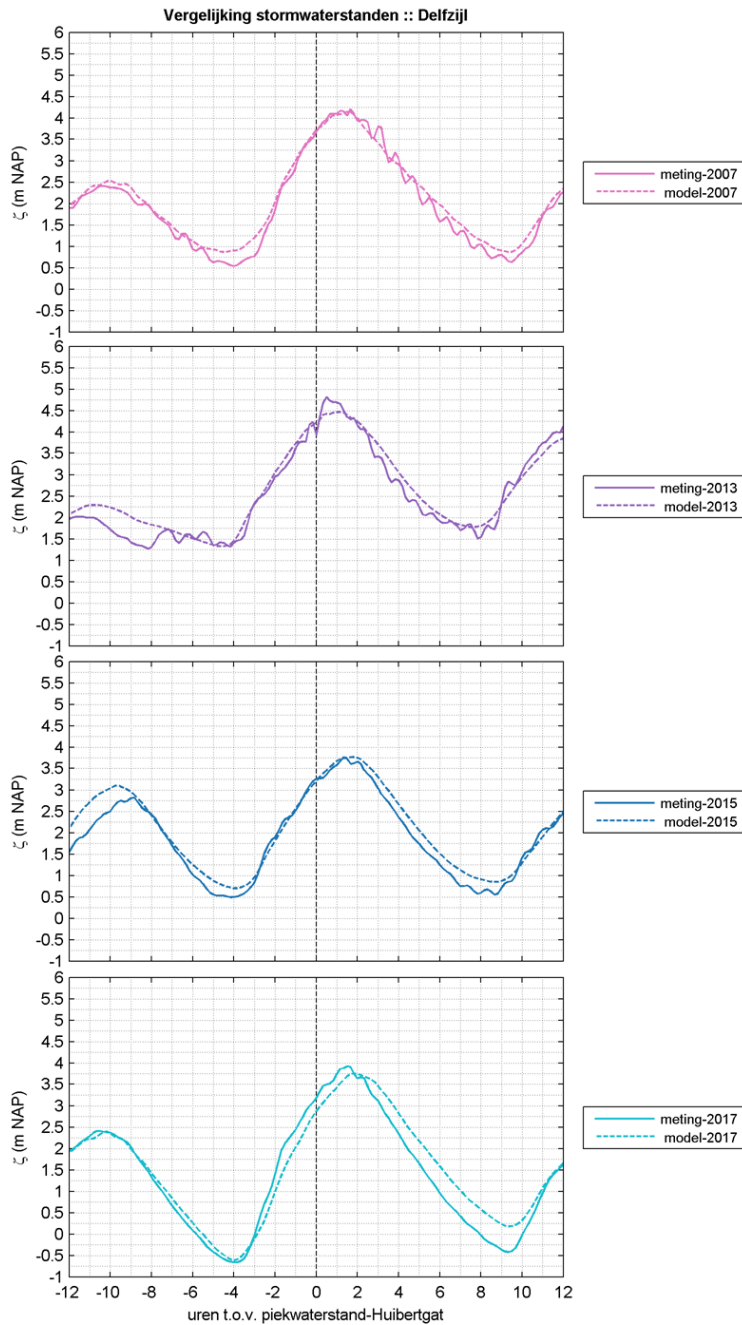
Definitie reële geometrievariant

In Fase B is geconstateerd dat variatie in de geometrie van de voorliggende bodem met name langs de westelijke Waddenzeedijken een niet te verwaarlozen effect op de hydraulische belasting van de dijk en daarmee op de HWBP-versterkingsopgave lijkt te hebben. Voor de bodemligging zijn daarbij met name de HWBP-versterkingstrajecten Koehool-Lauwersmeer en Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat van belang.

Hiertoe is, in tegenstelling tot de in Fase B gekozen minimale omhullende variant, nu een realistische weergave van een ongunstige ligging van de geulen op dit traject gedefinieerd. Deze is uiteindelijk vormgegeven door het lokaal inpassen van de 1971-bodemligging in het interessegebied. Het ook doorrekenen van de referentiestorm voor deze bodemvariant kan zo inzicht geven in het relatieve belang van de voorliggende geometrie op de versterkingsopgaven. Hierbij is overigens geen rekening gehouden met het effect van toekomstige ontwikkeling in de ligging van geulen en dergelijke.

3.2.2 Validatie van de toepassing van het modelinstrumentarium

Ten behoeve van het kunnen duiden van de betrouwbaarheid van het binnen de gevolgde forceringsmethodiek gebruikte modelinstrumentarium, zijn vier opgetreden stormen doorgerekend. Voor de stormen uit 2007, 2013, 2015 en 2017 zijn de modellen aangestuurd met een hindcast van de wind- en drukvelden. Hierbij is gebruikgemaakt van het HARMONIE-model. Voor deze validatie is dus expliciet niet gebruikgemaakt van waarnemingen van waterstanden en golven op de offshore stations. Het doel was immers het valideren van de methode waarbij de aansturing plaatsvindt door middel van grootschalige wind- en drukvelden.



Figuur 8 Vergelijking gemeten en berekende waterstanden voor de beschouwde stormen, Delfzijl

De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

Uit de vergelijking tussen gemeten en berekende waterstanden in de hoofdstations blijkt dat in de meeste gevallen de maximale waterstanden goed met het Delft3D-Swan-model kunnen worden gereproduceerd, waarbij de afwijkingen beperkt blijven tot orde 0,1 m.

Wat betreft de golfcondities is sprake van een grotere spreiding.

In relatieve zin bedraagt de stormgemiddelde afwijking -9 % en -5 % voor respectievelijk de maximale significante golfhoogte en de bijbehorende spectrale gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ te Wierumerwad. Voor de locaties Oude Westereems Zuid, Westereems Oost en Schiermonnikoog Noord betreft de stormgemiddelde afwijking respectievelijk 7 % en 4 %, -8 % en -13 % en -20 % en -21 %. Het beeld van de gemiddelde golfrichting is wisselend; waar deze afwijkt, is meestal sprake van een (lichte) overschatting van de golven uit NNW-richting. In algemene zin zijn de gemeten golven dus onderschat, hoewel het beeld van de beschouwde locaties sterk varieert en afhankelijk is van de beschouwde storm.

De conclusie is dat het model de golven enigszins onderschat. Bij het interpreteren van de resultaten van de vervolgberekeningen zal dus met deze constatering rekening moeten worden gehouden.

De conclusie is dan ook dat het rekenmodel Delft3D-Swan met vertrouwen kan worden ingezet voor de verdere uitwerkingen en bovenal dat de bruikbaarheid van een dergelijke nieuwe BOI-methodiek wordt onderschreven. Wel lijkt een nadere finetuning van de golfmodellen een belangrijk aandachtspunt.

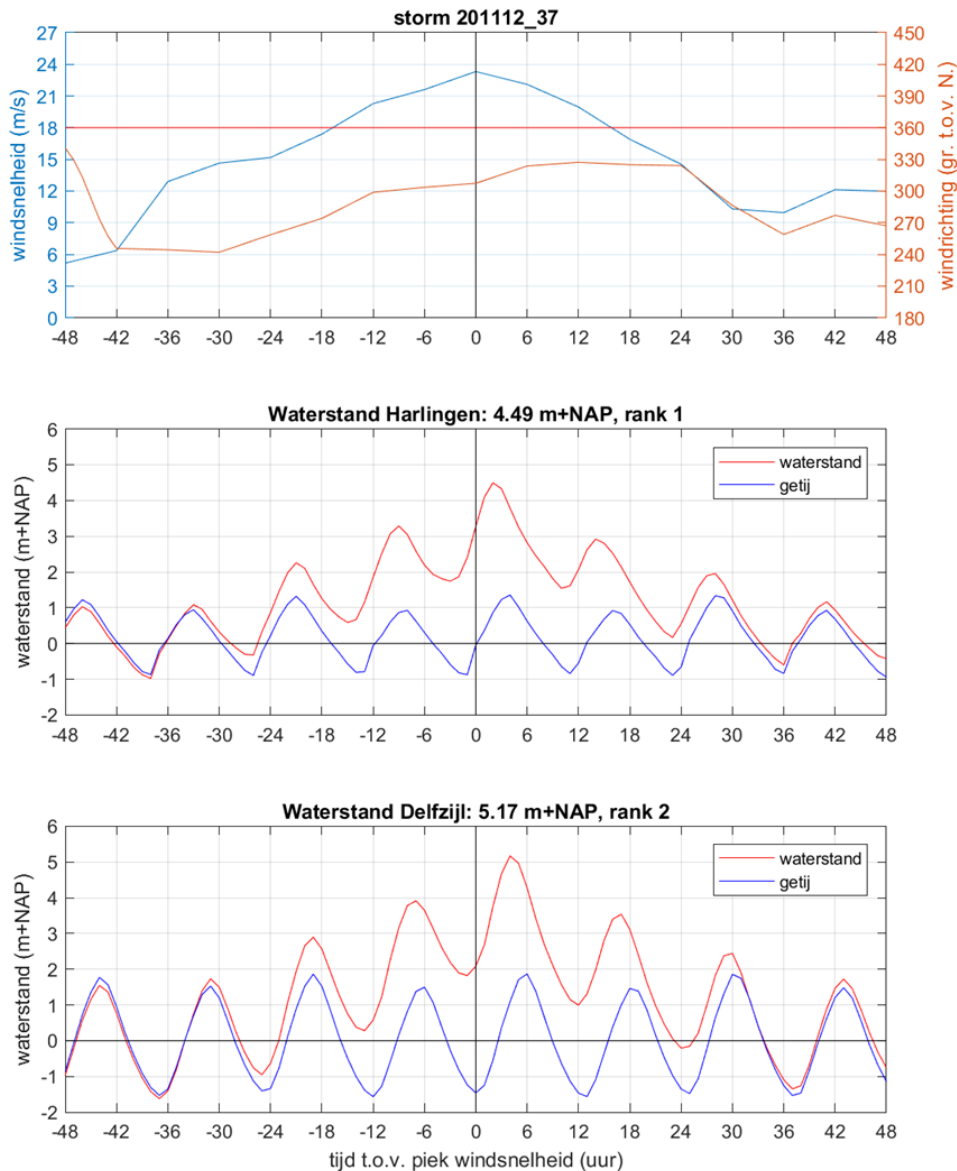
3.2.3 Definitie van de karakteristieke stormen

Gegeven de constatering dat de waterstanden die het Waqua-DCSMv5-model berekent vrij goed overeenkomen met resultaten van het hier gebruikte Delft3D-Swan-model, is een aantal ECMWF-stormen geselecteerd uit de stormen die volgens Waqua-DCSMv5 tot de top 100 waterstanden Harlingen en Delfzijl behoren.

Voor het onderzoek is het van belang om extreme stormen te kiezen, die echter wel significant van elkaar verschillen. Om tot een selectie te komen zijn alle stormen gekarakteriseerd aan de hand van de in Harlingen en Delfzijl optredende maximale waterstanden en (rechte) opzetwaarden, de maximale windsnelheid in de zuidoostelijke Noordzee en de hier aanwezige windrichting. Ook is de richtingsvariatie binnen 12 uur rond de piek van de windsnelheid en het aantal uren met een windsnelheid boven 20 m/s beschouwd.

Op basis van deze eigenschappen zijn uit de circa 6.500 synthetische stormen 10 realisaties geselecteerd met bijzondere karakteristieken, zoals een hoge waterstand, hoge windsnelheid, een sterk noordelijke windrichting, een sterke draaiing van de windrichting, of juist een nagenoeg constante windrichting. Uiteindelijk heeft dit geleid tot een definitie van een referentiestorm en 9 verschillende forceringsvarianten. Zowel de referentiestorm als de eerste 2 variantstormen zijn ook

in Fase B gebruikt, maar worden nu dus doorgerekend voor de specifiek bij elke storm behorende getijfase.



Figuur 9 Tijdsverloop ECMWFv4-windsnelheid en windrichting plus de Waqua-DCSMv5-waterstandsverlopen in Harlingen en Delfzijl voor de referentiestorm (setnaam 201112_37)

Statistische duiding van de geselecteerde stormen

De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

De meest extreme gebeurtenis in de ECMWFv4-DCSMv5-dataset zou een terugkeertijd moeten hebben van ongeveer 6.500 jaar. Op basis van de WBI-statistiek passen bij deze extremen echter terugkeertijden van orde 500 jaar bij Harlingen en 200 jaar bij Delfzijl.

De reden van deze discrepantie is niet zozeer gelegen in de statistische duiding van de ECMWF-stormen, maar juist in de bij de stormen behorende waterstanden.

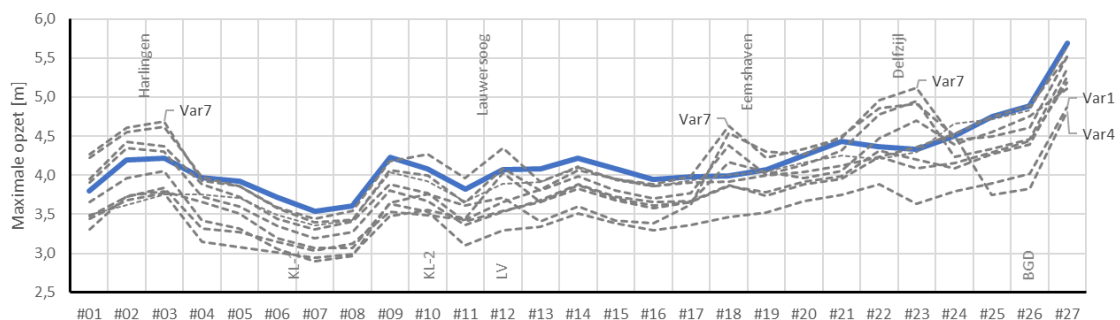
Diverse aspecten zorgen ervoor dat waterstanden in ECMWFs4/Waqua-DCSMv5 relatief laag uitvallen ten opzichte van gemeten en te verwachten waterstanden. Te noemen zijn de grove ruimtelijke resolutie en grote tijdstap van de ECMWF-windvelden, de extreme windsnelheden die in ECMWFs4 mogelijk aan de lage kant zijn, de grove resolutie van het Waqua-DCSMv5-model en het ontbreken van wave set-up.

In deze studie wordt een relatief fijn Delft3D-Swan-model toegepast inclusief wave set-up via tweezijdige koppeling. Daarmee worden echter de als laatste genoemde afwijkingen als gevolg van de beperkte ruimtelijke resolutie en tijdstap van de windvelden niet weggenomen en zal dus een nabewerking op de verkregen resultaten moeten plaatsvinden. Er kan gecompenseerd worden voor het effect van de beperkte resolutie in tijd en ruimte door alle windsnelheden in de ECMWFs4-windvelden met orde 5 % te vergroten. Deze laatste correctie is ook doorgevoerd.

Een vergelijking tussen omni-directionele waterstandstatistiek uit WBI en gemeten waterstanden bij Harlingen en Delfzijl laat zien dat de WBI-statistiek bij Harlingen een beperkte structurele overschatting bevat. Deze afwijking vraagt dan ook om een nadere beschouwing binnen WBI/BOI.

3.2.4 Doorrekening van geselecteerde stormen

Door het uitvoeren van Delft3D-Swan-berekeningen voor zowel de referentiestorm als de negen varianten, kan de per storm gedefinieerde grootschalige forcering worden vertaald naar de consequenties voor de hydraulische belasting op de Waddenzeedijk. Deze berekeningen resulteren in de lokaal aanwezige waterstanden en golfcondities, die van direct belang zijn voor de te beschouwen HWBP-trajecten.



Figuur 10 Langsverloop maximale opzetwaarden langs de Waddenkust voor zowel de referentiestorm als de beschouwde variantstormen, inclusief aanduiding positie hoofdstations en te beschouwen HWBP-trajecten

De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

De referentiestorm is ook aangestuurd op de eerder gedefinieerde bodemvariant en levert zo inzicht in het effect van de bodemligging op de maatgevende randvoorwaarden.

Omdat hierbij gebruikgemaakt wordt van een op fysische processen gebaseerd modelinstrumentarium, zal dit ook inzicht kunnen geven in de mogelijke bovengrens van deze belasting.

In aanvulling op de basisberekeningen zijn nog drie varianten van de referentiestorm doorgerekend, waarbij de windsnelheid behorend bij deze storm met respectievelijk 5, 15 en 25 % is vergroot. Voor de berekeningen is alleen in het Waddenzee-domein gerekend met tweezijdig gekoppelde modellen. In alle gevallen is rekening gehouden met het gesloten zijn van het Emssperrwerk.

Omdat de windsnelheden in de omgeving van de Eems-Dollard als gevolg van de grove schematisaties in het ECMWFv4-model en de hiermee samenhangende grote landfracties zijn gereduceerd, is ook een berekening uitgevoerd waarbij de effecten van de beschutting niet in de wind- en drukvelden zijn verdisconteerd. Deze aanpak biedt de mogelijkheid om het effect van de reductie van de windsnelheden te kwantificeren.

Een 5, 15 of 25 % vergrote windsnelheid leidt tot een maximale toename van respectievelijk 0,5 tot 2,5 m in de maximale waterstand. Voor de +5 %-variant worden gemiddeld 10 % hogere golven en 4 % langere golfperiodes gevonden.

Het doorrekenen van een afwijkende, lagere bodemligging leidt in het aandachtsgebied tot enige afname van de maatgevende waterstanden (lokaal afgerond 0,1 m) in combinatie met een beperkte toename van de golfaanval (maximaal 0,2 m). Ten opzichte van de effecten van varianties in de wind blijven deze effecten dus duidelijk achter.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de uitgevoerde berekeningen.

POV fase	SWAN versie	breking-form	koppeling NZ schaal	koppeling WZ schaal	storm	periode	comment
fase B	SWAN-40.72	BJ	eenzijdig Noordzee	eenzijdig Waddenzee	ref00-storm	getij-2017	
					var01-storm	getij-2017	
					var02-storm	getij-2017	
fase C	SWAN-41.20	BJ	tweezijdig Noordzee	tweezijdig Waddenzee	ref00-storm	getij-2017	
					ref00-storm	actuele periode	(en ook voor de varianten, excl. golvenvariant)
					var01-storm	actuele periode	
					var02-storm	actuele periode	
					var03-storm	actuele periode	
					var04-storm	actuele periode	
					var05-storm	actuele periode	
					var06-storm	actuele periode	
					var07-storm	actuele periode	
					var08-storm	actuele periode	
var09-storm	actuele periode						
fase C	SWAN-40.72	Westhuysen	eenzijdig Noordzee	tweezijdig Waddenzee	ref00-storm	actuele periode	zonder golf-stroming interactie
fase C	SWAN-41.20	BJ	eenzijdig Noordzee	tweezijdig Waddenzee	validatiestormen	actuele periode	

Tabel 1 Overzicht uitgevoerde berekeningen.

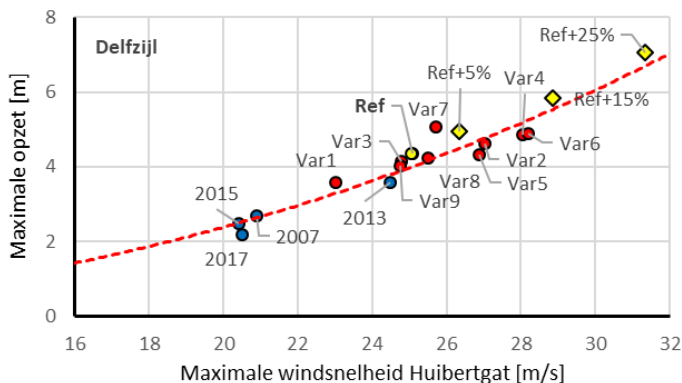
3.2.5 Analyse en verdieping resultaten

In aanvulling op de 'kale' beschrijving van de berekeningsresultaten zijn ook enkele nadere analyses op deze resultaten uitgevoerd. Onderdeel daarvan was de definitie en het gebruik van het referentiestation Huibertgat, met het doel om de karakteristieken van de inkomende forcering

adequaat te kunnen duiden en het onderlinge verschil tussen zowel de opgetreden stormen als de synthetische ECMWF-stormen te kunnen beschrijven.

De ook in dit kader uitgevoerde analyse van maatgevende stormopzetverlopen laat zien dat de duur van de opzet de standaard binnen WBI gedefinieerde tijdsduur overtreft en dat er bovendien een relatie aanwezig lijkt tussen de mate van opzet en de opzetduur.

De karakteristieken van de verschillende stormen lijken vrij goed te duiden door de stormen te plaatsen in een grafiek met de maximale windsnelheid en de maximale windrichting op de beide assen. Dit opent ook de mogelijkheid om een relatie te leggen met de in de (oostelijke) Waddenzee optredende waterstanden. De opzet in Delfzijl blijkt vrij goed te relateren aan de maximaal bij Huibertgat aanwezige windsnelheid. Dit verband kan ook worden gebruikt om de resultaten van de zogenaamde 'opgepluste' berekeningen af te zetten tegen het theoretische verband.



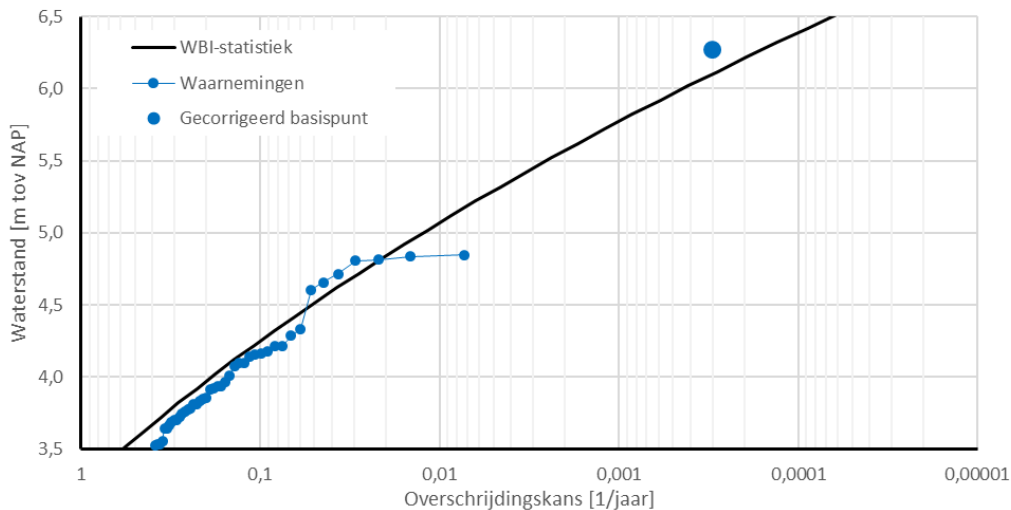
Figuur 11 Relatie tussen de maximale windsnelheid bij Huibertgat en de maximaal bereikte stormopzet bij Delfzijl voor zowel de synthetische en de opgetreden stormen als de resultaten voor de drie aanvullende berekeningen met vergrote windsnelheden (de fit aan een kwadratisch verband (rode stippellijn))

Naast een nadere beschouwing van de langsvariatie en het tijdsverloop, en de maximale waterstand en opzetwaarden, is ook de overschrijdingsrelatie van de hoogwaterstanden in Harlingen en Delfzijl uitgewerkt. Daarbij is op basis van het Delft3D-Swan-resultaat voor de ECMWF-stormen een extra datapunt aan de reeks van waarnemingen toegevoegd, waarmee nieuw inzicht wordt verkregen in het verloop van de overschrijdingsrelatie voor de meer extremere condities.

Dit laatste inzicht wordt ook nog vergroot door het beschouwen van het effect van de 'opgepluste' windsnelheden. Hierbij worden de in de zuidoostelijke Noordzee aanwezige windsnelheden verhoogd. Dit leidt tot de conclusie dat het effect van een verhoging van de windsnelheid met 5, 15 of 25 % lijkt te voldoen aan een kwadratisch verband, wat ook verwacht werd op basis van de theorie. Een duidelijke bovengrensafvlakking wordt niet gevonden.

Het effect van de 5 %-verhoging van de waterstanden is gebruikt voor het corrigeren van het effect van de beperkte tijds- en ruimteresolutie van de gehanteerde windvelden op de berekende

waterstanden.

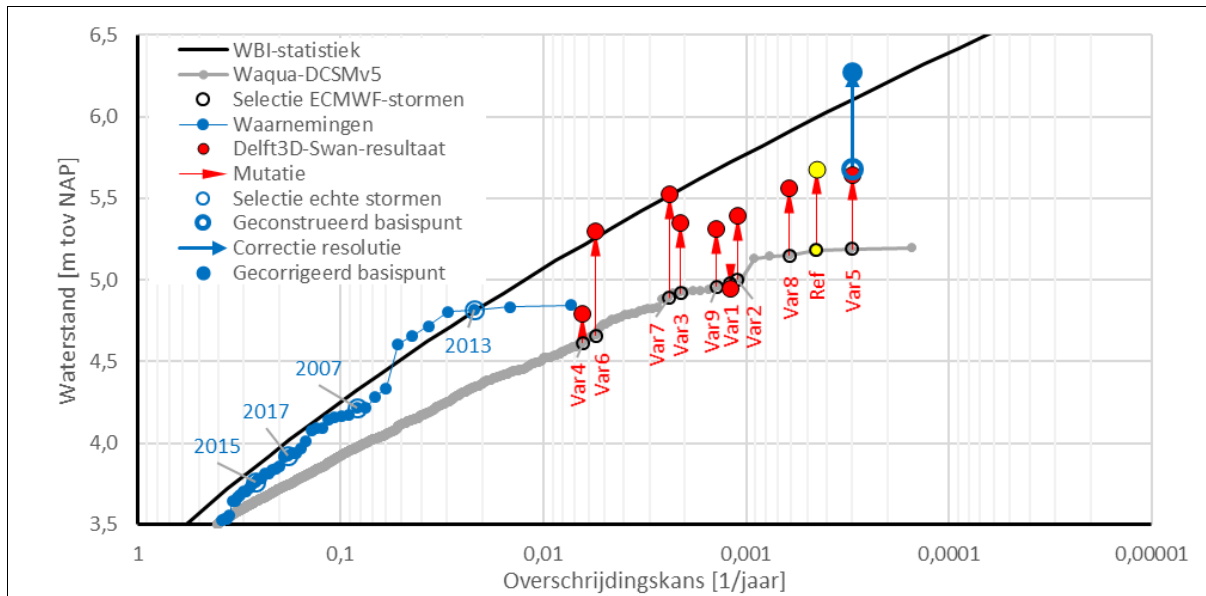


Figuur 12 Gecombineerde figuur voor Delfzijl met zowel de metingen als het extra datapunt dat op basis van de Delft3D-Swansommen is geconstrueerd en op basis van de resolutie in de windvelden is gecorrigeerd

De statistische kenmerken van twee aanvullende condities (15 en 25 % windsnelheidstoename) zijn gekwantificeerd door gebruik te maken van de overschrijdingsrelatie voor de windsnelheden bij Terschelling. Dit resulteert per windsnelheidstoename in een specifieke reductie van de overschrijdingskans ten opzichte van die van de referentieconditie. Het directe gebruik van deze, op basis van de windsnelheid afgeleide, factoren voor de overschrijdingsrelatie voor de waterstanden geeft geen bruikbaar resultaat. Hierdoor is het nog niet mogelijk gebleken om de resultaten van deze extra varianten op deze wijze op een betrouwbare manier in te passen in de verschillende waterstandsoverschrijdingsrelaties.

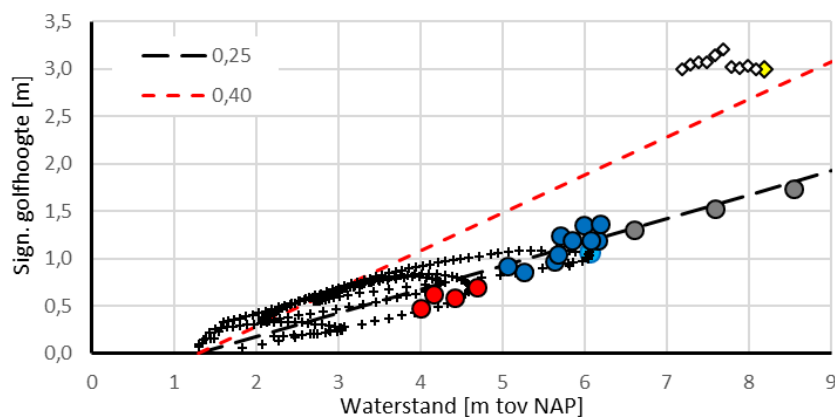
De aanwezigheid van de Waddeneilanden en de landranden leidt, ten opzichte van de ongestoorde windsnelheden boven de zuidoostelijke Noordzee, tot een reductie van de windsnelheid. Deze reductie is het sterkst in de Eems-Dollard en daarmee van belang voor de hydraulische belasting op de daar aanwezige Waddenzeedijken. De reductie van de snelheden bedraagt maximaal 30 %. De effecten van het deels beschut liggen van dit deel van de Waddenzeedijken zijn via de opgelegde windvelden al in de uitgevoerde berekeningen verwerkt. In de WBI-methode is deze reductie niet in rekening gebracht en wordt er in deze omgeving dus per definitie gewerkt met te hoge windsnelheden.

Uiteindelijk resulteerde dit in inzichten in golfhoogte en waterstanden per uitvoerpunt.



Figuur 13 Waterstand als functie van de overschrijdingskans voor station Delfzijl

De onzekerheid in de berekende golfcondities is relatief gezien veel groter en hangt, zeker voor de locaties dicht bij de dijk, samen met het gehanteerde breker criterium. Resultaten met een extreem lage of juist hoge golfhoogte-waterdiepte verhouding moeten dan ook met voorzichtigheid worden beschouwd. Resultaten waarbij de lage waarden voor deze verhouding aanwezig zijn, leveren qua golfbelasting een te lage uitkomst. Dit is goed te zien aan de hand van de in de volgende figuur gegeven relatie tussen de waterstand en de golfhoogte. De 0,25-lijn representeert een criterium waarbij de maximale golfhoogte-waterdieptelimit gelijk is aan 0,25 en valt grofweg samen met de resultaten van de berekeningen.



Figuur 14 Golfhoogte als functie van de waterstand voor locatie #26 (BGD) met daarin de gedurende de referentiestorm optredende combinaties, de maximale resultaten voor achtereenvolgens de opgetreden stormen, de ECMWF-stormen en de drie 'opgepluste' referentiesommen, alsmede de lokaal van toepassing zijnde WBI-combinaties en twee verbanden die het berekende en een ongunstig bereik van de golfcondities representeren

In dit geval bedraagt de golfhoogte bij de ontwerpwaterstand 1,7 m (in plaats van 3,0 m). Een ongunstiger uitgangspunt (met een verhouding van 0,4) resulteert in een golfhoogte van 2,7 m, wat 10 % beneden de ontwerpwaarde ligt. Een en ander leidt in ieder geval tot de verwachting dat ook aanvullende en meer gedetailleerde uitwerkingen zullen resulteren in een reductie van de maatgevende golfaanval.

De inzichten rond de maximaal haalbare golfhoogte op locaties met ondiepe en vlakke wad- en meerbodems zijn de laatste jaren en decennia sterk in ontwikkeling geweest. Als gevolg daarvan bestaan er uiteenlopende varianten van golfmodellen en meer specifiek van de modellering van ondiep-water-golfbreking in die modellen. De figuur geeft een eerste indruk van de mate waarin de tot nu toe doorgerekende modelvarianten kunnen uiteenlopen. Het cluster WBI-punten rechtsboven in de grafiek is gebaseerd op TUD/Deltares-onderzoek van Van der Westhuysen (2010), dat bij het uitvoeren van de WTI2011-productiesommen nog zo recent was dat deze modelvariant nog niet in de formele TUD-Swan-release was opgenomen. De daaronder liggende POV-rekenresultaten zijn gebaseerd op de van oudsher gebruikte Battjes-Janssen-golfbreking (1978), de default-optie in modellen als Swan. De nieuwste inzichten op basis van TUD-onderzoek van Salmon (2015) lijken het meest in de richting van de WBI-data te liggen, en wellicht daar voorbij. Dit moet nog wel in nader onderzoek geverifieerd worden. Het is belangrijk te beseffen dat alle grafiekdata ruwe modeloutput vormen, zonder verdiscontering van modelonzekerheden en modelfouten. Wanneer elk model met de specifiek bij dat model horende modelfout wordt gecorrigeerd, conform de WBI-werkwijze, dan worden de verschillen tussen modellen naar verwachting aanzienlijk kleiner.

De resultaten inzake golfcondities zijn wetenschappelijk nog niet stabiel. Een verdieping op diverse fronten is gewenst voordat dit kan worden vertaald naar een nieuwe normering. Dit is opgenomen in een advies in de richting van het BOI.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies en aanbevelingen voor BOI-ontwikkelingstraject en aanpalende onderzoekstrajecten

De aanbevelingen voor het BOI-ontwikkelingstraject hangen per definitie nauw samen met de in het kader van deze POV-studie gepresenteerde uitwerkingen en de op basis daarvan getrokken conclusies. In de volgende paragrafen zijn deze conclusies per onderdeel opgenomen en waar aanbevelingen aan de orde zijn, komen die per conclusie aan de orde.

Overall belastingmodel en keuze basisstochasten

De huidige WBI-belastingen voor getijwateren zijn in sterke mate opgehangen aan historische waterstandmeetreeksen. Dit maakt het lastig om effecten van klimaatverandering (zeespiegelstijging en met name eventuele stormklimaatverandering) goed in het nieuwe BOI te implementeren. Bovendien kunnen eventuele fysische trendbreuken buiten het huidige meetbereik niet gedetecteerd en verdisconteerd worden en is de statistische onzekerheid groot.

WBI/BOI wil daarom op termijn de wind als primaire basisstochast hanteren, op basis van vele duizenden jaren KNMI-modeldata. De hydraulische belastingen worden dan berekend met een trein van meteo-, waterbewegings- en golfmodellen.

De huidige POV-studie blijkt een geslaagde 'proof of concept' van deze beoogde nieuwe aanpak, al is op onderdelen nog finetuning gewenst om resolutie-effecten en niet-perfecte model fysica te kunnen verdisconteren.

Conclusies en aanbevelingen volgend uit de uitwerkingen

De hoofdvraag van de POV-studie was om na te gaan of een andere wijze van bepalen van de maatgevende condities langs de Waddenzeedijken haalbaar is en bruikbare resultaten kan opleveren. Als vervolg op de voorbereidende Fase B van deze studie zijn nu een groot aantal op dit doel toegespitste modelberekeningen uitgevoerd. Deze kunnen worden beschouwd als specifieke verfijningen ten opzichte van de huidige WBI-aanpak.

Forcering door middel van ECMWF-stormen

In de nieuwe benadering worden de genoemde rekenmodellen aangestuurd met de in de zuidoostelijke Noordzee aanwezige wind- en drukvelden. Deze laatste worden voor de uiteindelijke berekeningen gebaseerd op de zogenaamde ECMWFs₄-stormen. Voor de selectie van enkele van de meer extreme stormen uit de beschikbare dataset van ongeveer 6.500 stormen is, buiten het kader van deze studie, gebruikgemaakt van een Waqua-DCSMv₅-model om deze te vertalen naar de in Harlingen en Delfzijl aanwezige hoogwaterstanden. De uiteindelijk door te rekenen stormen zijn zodanig geselecteerd dat er een breed scala aan karakteristieken is gedekt.

Aanbevolen wordt om deze selectieprocedure ook voor vervolgitwerkingen over te nemen en daarbij zo mogelijk gebruik te maken van een nieuwe, meer gedetailleerde versie van het ECMWF-model, een langere reeks met nog meer stormen en hoogwaterstanden die berekend zijn met een fijner Waqua-model.

Faseverschil tussen getij en opzet

In het vigerende WBI wordt het uitgangspunt gehanteerd dat per watersysteem kan worden gewerkt met een uniform faseverschil tussen het astronomisch getij en de opzet. De resultaten van de POV-uitwerkingen laten echter zien dat er significante ruimtelijke verschillen aanwezig zijn in dit faseverschil. Bij Delfzijl blijkt het faseverschil fors kleiner dan bij Harlingen. De in Delfzijl optredende maximale waterstanden hebben met name te maken met dit beperkte faseverschil.

Aanbevolen wordt om in vervolguitwerkingen voor het BOI uit te gaan van een ruimtelijk variërend faseverschil.

Statistische opschaling

Een dataset met ruim 5.000 jaar KNMI-modeldata lijkt heel wat, maar vereist nog altijd een forse statistische opschaling om uitspraken te kunnen doen over de voor WBI/BOI relevante norm- en doorsnede-eisen. Het huidige POV-onderzoek laat zien dat een opschaling op basis van de maximale uurwind tijdens een storm veel te conservatieve resultaten geeft. De eindige duur en omvang van stormen speelt dus een cruciale rol. Dit is van belang omdat WBI voor de golfmodellering nu veelal een uniforme wind veronderstelt en daarmee feitelijk een oneindig uitgestrekte storm.

In aanvulling hierop wordt ook aanbevolen om nog eens goed te kijken naar de waarden en de statistische opschaling van de offshore wind. Het gat tussen de 1/5.000 per jaar ECMWF-windsnelheden en de windsnelheid die hoort bij de 1/600.000 per jaar WBI-uitkomsten is immers zodanig groot dat een kritische evaluatie van de WBI-wind nodig is.

Stormduur

De huidige POV-studie geeft aan dat de huidige stormduren in WBI waarschijnlijk te laag zijn. Anderzijds zijn de maximale windsnelheden waarschijnlijk te hoog. Dit reflecteert het gegeven dat de WBI-windstatistiek en de WBI-stormduren gebaseerd zijn op alle waargenomen stormen (ook korte en hevige zuidwesterstormen), in plaats van alleen de stormen die een significante stormopzet en significante belasting van de keringen opleveren.

Gekoppeld en tijdsafhankelijk rekenen

De huidige POV-resultaten laten zien dat tweezijdige modelkoppeling nodig is om golfgedreven stroming goed weer te geven en dat die golfgedreven stroming de reguliere stormopzet met orde 10 % vergroot. Mogelijk beïnvloedt deze ook het (gemodelleerde) sedimenttransport door de zeegaten significant. Het voor deze uitwerkingen gebruikte instrumentarium is het Delft3D-Swan-model, waarbij de tweezijdige koppeling alleen in het Waddendomein is toegepast. Hiermee is een goede fysische representatie van de waterstand tijdens stormen bereikt, zonder daarbij gebruik te maken van een specifieke kalibratie van het waterbewegingsmodel.

Daarom wordt aanbevolen indien mogelijk tweezijdig gekoppelde waterbewegings- en golfmodellen te hanteren, temeer omdat ook de golfbelasting op de dijken op deze wijze fysisch meer correct wordt meegenomen. Dit maakt het ook mogelijk om effecten van klimaatverandering (zeespiegelstijging en met name eventuele stormklimaatverandering) op een betrouwbaarder wijze in kaart te brengen en deze zo beter in het nieuwe BOI te kunnen implementeren.

Aanbevolen wordt om de meerwaarde van twee andere aspecten nog nader in beeld te brengen, namelijk de meerwaarde van 3D- versus 2D-waterbewegingsmodellen en de meerwaarde van tijdsafhankelijke golfmodelberekeningen.

Golfmodellering

Verschiedende keuzes ten aanzien van golfmodellen en de daarin besloten golfbrekingsfysica kunnen grote impact hebben op de modelresultaten. De meest recente inzichten zijn geïmplementeerd in de Swan-golfbrekingsvariant van Salmon (2015), de opvolger van de voor WBI gebruikte Westhuysen- en Battjes-Janssen-parameterisaties. De variant van Salmon is veelbelovend, maar nog onvoldoende getest. Het wordt aanbevolen dit op korte termijn alsnog te doen.

In de voorliggende uitwerking is nog gebruikgemaakt van de Battjes-Janssen-formulering, in aansluiting op de in Fase B gemaakte keuzes.

In aanvulling op de modellering van de golfhoogten verdient ook een betere modellering van de golfperiodes, gerelateerd aan niet-lineaire wisselwerkingen, de nodige aandacht.

Validatie van het concept

In hoeverre het modelconcept überhaupt tot qua waterstanden en golfcondities bruikbare condities bij de Waddenzeedijk leidt, is onderzocht door een aantal opgetreden stormen door te rekenen.

Hiertoe zijn de modellen aangestuurd met een HARMONIE-hindcast van de wind- en drukvelden. Voor deze validatie is dus expliciet geen gebruikgemaakt van waarnemingen van waterstanden en golven op de offshore stations. Het doel was immers het valideren van de methode waarbij de aansturing plaatsvindt door middel van grootschalige wind- en drukvelden.

Uit de vergelijking tussen gemeten en berekende waterstanden in de hoofdstations blijkt dat in de meeste gevallen de maximale waterstanden goed met het Delft3D-Swan-model kunnen worden gereproduceerd. Voor de golfcondities wordt ook een acceptabele overeenkomst gevonden, al is hier wel duidelijk sprake van een grotere spreiding. De conclusie is dan ook dat het Delft3D-Swan-rekenmodel met vertrouwen kan worden ingezet voor de verdere uitwerkingen. Bovenal wordt de bruikbaarheid van een dergelijke nieuwe BOI-methodiek onderschreven.

Aanbevolen wordt dan ook om de eerst slechts als ambitie geformuleerde werkwijze voor het nieuwe BOI met kracht door te zetten. Ook wordt aanbevolen om het aantal stormen dat is doorgerekend uit te breiden tot een groter aantal, waarbij ook de resultaten van de Allerheiligenvloed uit 2006 tegen het licht worden gehouden.

Voor het daadwerkelijk inzetten van deze methodiek is overigens nog een verdere finetuning van de aanpak nodig. Deze was immers nog geen onderdeel van de huidige werkzaamheden.

Voor een betrouwbare toepassing van de voorgestelde methodiek verdient het in dit verband ook aanbeveling om de vergelijking tussen de berekende en gemeten offshore golfcondities op met name de SON-locatie nader te beschouwen.

Benodigde waterstandscorrecties

Voor het vertalen van de uitkomsten van ECMWFs₄-windvelden aangedreven rekenmodellen moest ter compensatie van het effect van de beperkte resolutie van deze wind- en drukvelden een nabewerking op de met Delft3D-Swan berekende waterstanden plaatsvinden. Dit is gerealiseerd door achteraf het effect van een toename van 5 % in de windsnelheden te gebruiken. Deze verhoging was nodig voor het correct duiden van het niveau van de door Delft3D-Swan berekende waterstanden.

Aanbevolen wordt om de berekeningen in de vervolguutwerkingen te baseren op meer gedetailleerde windvelden, waardoor deze waterstandscorrectie niet meer nodig is.

Interpretatie statistische duiding

De waterstandsoverschrijdingskans van de voor de definitieve berekeningen geselecteerde stormen was gebaseerd op de onderlinge rangschikking van de resultaten van het Waqua-DCSMv5-model. De doorrekening van de bijbehorende forcering met het gekoppelde Delft3D-Swan leidde niet alleen tot een andere, veelal hogere waterstand, maar had ook een herschikking van de verschillende stormevents tot gevolg. De originele statistische duiding wat betreft de waterstanden was dus niet meer correct, hetgeen de interpretatie van de resultaten bemoeilijkte.

Aanbevolen wordt om voor de statistische duiding van de stormen gebruik te maken van de resultaten van een meer gedetailleerd Waqua-model of, nog beter, van het Delft3D-Swan-model zelf. In dat laatste geval moeten vanzelfsprekend veel meer stormen in de staart van de overschrijdingslijn worden doorgerekend. Hiertoe dient een adequate procedure te worden gedefinieerd.

Belang van beschuttingseffecten

De aanwezigheid van de Waddeneilanden en de landranden leidt, ten opzichte van de ongestoorde windsnelheden boven de zuidoostelijke Noordzee, tot een reductie van de windsnelheid. Deze reductie is het sterkst in de Eems-Dollard en daarmee van belang voor de hydraulische belasting op de daar aanwezige Waddenzeedijken. De reductie van de snelheden bedraagt maximaal 30 %. De effecten van het deels beschut liggen van dit deel van de Waddenzeedijken zijn via de opgelegde windvelden reeds voldoende in de uitgevoerde Delft3D-Swan-berekeningen verwerkt.

Aanbevolen wordt om het effect van deze beschutting ook te laten landen in een update van de nu vigerende WBI-resultaten. De voor met name het Eems-Dollardgebied gehanteerde windcondities zijn tot 30 % te zwaar en hebben een direct effect op de voor beoordeling en ontwerp te hanteren golfbelasting.

Een tweede aanbeveling heeft betrekking op het beschikbaar maken van windgegevens in de Eems-Dollard. Het realiseren van een windmeetlocatie in MVED-kader zou hier een goede invulling aan kunnen geven. Dit geldt overigens ook voor het uitvoeren van golfmetingen achterin de Eems-Dollard. De combinatie van wind- en golfmetingen geeft invulling aan het inzicht in de hier te verwachten hydraulische omstandigheden (zie verderop).

In Figuur 15 is een mogelijke locatie van een dergelijk extra windmeetstation weergegeven. In dit geval zou gebruik kunnen worden gemaakt van een bestaande mast in de buurt van het dijkmagazijn, net ten oosten van Termunten. Deze locatie is in onderstaande figuur met de aanduiding WMS aangegeven.



Figuur 15: Overzicht achterste deel van het Eems-Dollard-estuarium met mogelijke locaties van een extra windmeetstation (WMS) en twee nieuw te plaatsen golfmeetboeien (WD#01 en WD#02)

De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

Resultaten van de rekenexercities

De uitgevoerde berekeningen leiden tot een inzicht in de per storm aanwezige waterstands- en golfcondities langs de Waddenzeedijk.

Ten aanzien van de ook in de hoofdstations afgeleide waterstandsoverschrijdingsrelatie lijken de modelresultaten in lijn te liggen met de nu vigerende WBI-overschrijdingsrelatie.

Daarnaast geldt dat de Delft3D-Swan-berekeningen resulteren in relatief gezien kleinere golfhoogte- en golfperiodematen in vergelijking met de WBI-resultaten. De onzekerheid in de berekende golfcondities is relatief gezien veel groter en hangt, zeker voor de locaties dicht bij de dijk, voor een groot deel samen met het gehanteerde breker criterium. Resultaten met een extreem lage of juist hoge golfhoogte-waterdiepteverhouding moeten dan ook met voorzichtigheid worden beschouwd.

Om de onzekerheid in dit laatste resultaat weg te nemen wordt aanbevolen om, toegespitst op met name het in de Eems-Dollard gelegen versterkingstraject, een systematische reeks Swan-berekeningen uit te voeren, waarin zowel de windcondities en de waterstanden als de relevant geachte formuleringen voor het breken van golven worden beschouwd.

Effect extremere windsnelheden

Er zijn ook berekeningen uitgevoerd met qua windsnelheid opgeschaalde wind- en drukvelden. De betreffende resultaten sluiten aan bij het op basis van zowel de opgetreden als synthetische stormen aanwezige verband tussen de maximale windsnelheid in station Huibertgat en de maximaal in Delfzijl en Harlingen berekende stormopzet. Van enige afvlakking van dit effect voor de hogere windsnelheden lijkt vooralsnog geen sprake. Een geschikte statistische duiding van deze additionele stormen is wat betreft de waterstandsoverschrijdingskans nog niet beschikbaar.

Aanbevolen wordt om hier een aanvullende analyse voor te definiëren, opdat ook de resultaten van de additionele stormen in de waterstandsoverschrijdingsrelatie kunnen worden ingepast en zo meer zekerheid geven over het verloop van de voor ontwerp en beoordeling van de waterkeringen relevante staart van deze verdeling.

Morfologie

De voorliggende resultaten laten zien dat variaties en trends in de ligging van de wadbodem veelal niet kritisch zijn (tweede-orde-effect). In een aantal gevallen kan geulmigratie op een termijn van jaren tot decennia wel tot significante veranderingen van belastingen leiden, met name wanneer getijgeulen in een zeegat samensmelten en de golfdoordringing daardoor toeneemt. Aanbevolen wordt om hier waar relevant expliciet rekening mee te houden.

Belang van benchmarkmetingen

Deze POV-studie toont aan dat verschillende (golf)modelkeuzes tot sterk uiteenlopende belastingen kunnen leiden. Het is daarom cruciaal om over een geschikte testbank voor modelvalidatie te (blijven) beschikken.

Naast het uitvoeren van de nu al voorziene nieuwe metingen in de Eems-Dollard (in het kader van het MVED-project) kan daarbij ook gedacht worden aan het beschikbaar maken en analyseren van veekrandmetingen.

Gezien de resultaten van het beschuttingsonderzoek is het zoals eerder aangegeven ook nuttig om een windmeetstation in de Eems-Dollard in te richten. De in het kader van het MVED-project op of nabij de Punt van Reide te plaatsen windmeter lijkt hier een goede invulling aan te geven. In dit verband wordt ook aanbevolen om de golfmetingen achterin de Eems-Dollard uit te voeren. Hierbij kan worden gedacht aan een tweetal boeimetingen, waarbij de eerste de inkomende golfaanval door de nauwte bij de Punt van Reide vastlegt en de tweede een indruk geeft van de spreiding van deze energie in de richting van het BGD-traject. Deze informatie kan dan nog worden gebruikt in de nog op te starten planstudie voor de versterking Kerkhovenspolder-Duitsland.

Verwerking van nieuwe modelinzichten

Zoals al is aangegeven kunnen de verkregen resultaten worden gezien als een geslaagde 'proof of concept' van de beoogde nieuwe aanpak voor de kwantificering van de hydraulische belastingen voor de Waddenzeedijken. Ook is al genoemd dat er op onderdelen nog finetuning gewenst is om resolutie-effecten en niet-perfecte modelfysica te kunnen verdisconteren.

Het gebruik van deze meer fysische benadering heeft logischerwijs ook geleid tot een veelheid aan nieuwe inzichten in deze belastingen. Te noemen zijn bijvoorbeeld het belang van een ruimtelijke variantie in de faseverschuiving tussen het astronomisch getij en de opzet, het gebruik van de windstatistiek en het belang van de beschuttingseffecten. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of een deel van deze subresultaten al kan worden geïmplementeerd in de vigerende, meer pragmatische WBI-aanpak.

Het voordeel van de uiteindelijke overstap op een fysisch meer correcte aanpak maakt ook dat er minder grofstoffelijke kalibratie van met name de waterstandsmodellering nodig is en dat daarmee de betrouwbaarheid van de modelresultaten voor toepassingen in gewijzigde omstandigheden toeneemt. Te denken valt daarbij niet alleen aan het effect van een afwijkende bodemligging, maar met name aan gevolgen van klimaatverandering in de vorm van zeespiegelstijging en windstatistiek.

De huidige POV-aanpak kan hoe dan ook ter inspiratie dienen voor het bepalen van belastingen in het kader van een Ontwerp of Toets op Maat. Het is daarbij cruciaal te beseffen dat in een WBI/BOI-context in principe nooit gebruikgemaakt wordt van ruwe modeloutput, maar dat altijd de modelonzekerheden worden verdisconteerd, inclusief een op het gebruikte model toegesneden (bias)correctie voor systematische modelafwijkingen ten opzichte van de beschikbare referentiemetingen.

4.2 Conclusies en aanbevelingen voor HWBP-projecten

Voor deze studie is expliciet gekeken naar de resultaten voor een aantal HWBP-trajecten, te weten Koehool-Lauwersmeer (KL), Lauwersmeer-Vierhuizergat en de Brede Groene Dijk (BGD).

Voor elk van deze trajecten zijn aanvullende uitvoerpunten gedefinieerd, waardoor een goed beeld ontstaat voor de langs deze trajecten aanwezige variaties in de hydraulische belastingen. Daarbij zijn niet alleen de Delft3D-Swan-resultaten van de ECMWF-stormen betrokken, maar zijn ook de resultaten voor de opgetreden stormen en de berekening met de afwijkende bodem beschouwd. Daarbij is gekeken naar het effect op de maximale waterstand en de golfaanval (hoogte en periode), maar ook naar de verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte (waterstand). Deze laatste neemt in algemene zin toe met de zwaarte van de storm, maar lijkt bij het nog verder toenemen (voor de 'opgepluste' stormen) te stabiliseren rond waarden van 0,2 tot 0,4 (afhankelijk van het beschouwde traject).

Een verkenning van de per stormconditie benodigde dijkdimensies laat zien dat het zogenaamde hydraulische belastingniveau zeer sterk gecorreleerd is aan de waterstand. De mate waarin is afhankelijk van het beschouwde traject en is het sterkst bij het relatief open gelegen KL-2-traject. Voor elk van de beschouwde trajecten leiden de op basis van geconstrueerde statistiek opgestelde overschrijdingslijnen voor de waterstand niet tot een significant van het WBI afwijkend beeld. Hierin konden de resultaten van de 'opgepluste' berekeningen overigens nog niet worden ingepast.

Ook geldt dat de resultaten van de uitgevoerde berekeningen resulteren in een lagere golfbelasting in vergelijking met de WBI-waarden. Met name de golfhoogte lijkt daarbij te worden overschat.

Voor een aantal trajecten geldt dit ook voor de golfperiode. Dit resultaat lijkt voor een groot deel samen te hangen met de in de rekenmodellen gehanteerde brekingsformulering.

De algemene conclusie van deze POV-verkenning is echter dat, ondanks de genoemde onzekerheid in de brekerformulering, waarden van de hydraulische belasting worden gevonden die onder de WBI/BOI-waarden zijn gelegen. Dit kan deels te maken hebben met de gehanteerde brekerformulering, maar ook met het oneindige karakter van de opgelegde forcering.

De Delft3D-Swan-berekeningen resulteren in een relatief gezien kleinere golfhoogte- en golfperiodematen in verhouding tot de WBI-resultaten. Deze constatering sluit aan bij de eerdere uitwerkingen, waarbij werd geconcludeerd dat een deel van het verschil te maken heeft met het gebruik van de zogenaamde Battjes-Janssen-brekerformulering. Een ander verschil is dat in de WBI-uitwerkingen gebruik is gemaakt van zeer hoge windsnelheden. Indien voor bijvoorbeeld het BGD-traject rekening wordt gehouden met de effecten van beschutting van orde 20 %, zal de lokale golfhoogte naar verwachting behoorlijk in grootte reduceren.

In dit licht wordt dan ook aanbevolen om de hierbij relevante kantelpunten nadrukkelijker in beeld te brengen. De vraag daarbij is voor welke kleinere golfbelasting de voorziene versterking wijzigt of zelfs overbodig wordt.

Nieuwe inzichten kunnen een aanleiding zijn om andere modelkeuzes te maken dan de keuzes die zijn gedaan voor WBI/BOI, met name in het geval van golfmodellering. Het is echter cruciaal om te bedenken dat in WBI/BOI (golf)modelresultaten niet willekeurig worden gebruikt, maar altijd in combinatie met op dat specifieke model toegesneden modelonzekerheden.

Een belangrijk onderdeel van die WBI/BOI-modelonzekerheid is de zogenaamde biascorrectie, oftewel de correctie voor systematische modelfouten. Die biascorrectie wordt afgeleid door voor een set testbankcases de modeloutput van een voor WBI gebruikt model (zoals het golfmodel Swan) te vergelijken met storm- en hoogwatermetingen. Dit betekent ook dat de verwachtingen rond de impact van nieuwe modelinzichten op de versterkingsopgave niet al te zeer opgeschroefd moeten worden. Uiteindelijk zou elke modelvariant immers gecorrigeerd moeten worden aan de hand van dezelfde set metingen, waardoor elke modelvariant zijn eigen op maat gesneden correctiefactor krijgt. De consequentie daarvan is dat een initieel fors verschil in ruwe modelresultaten in een WBI/BOI-context aanzienlijk kleiner wordt. De ruwe resultaten van een te conservatief golfmodel (met te weinig breking) zullen via die WBI-biascorrectie immers omlaag worden bijgesteld, en de resultaten van een model dat te lage golven voorspelt juist omhoog. Na verrekening van de WBI-biascorrectie zullen de verschillen tussen modelvarianten daarom meestal aanzienlijk kleiner zijn.

Uitwerking

Voor een viertal HWBP-versterkingstrajecten is het effect van een nieuwe wijze van berekenen van de hydraulische condities bij de dijk in beeld gebracht.

Hiertoe zijn de hydraulische condities (waterstanden en golfhoogten) bepaald die in dat geval als uitgangspunt voor het ontwerp van een waterkering zouden moeten worden gebruikt.

Deze zijn vervolgens vergeleken met de nu beschikbare randvoorwaarden. Een uitgebreide uitwerking per beschouwd traject is te vinden in het vorige hoofdstuk.

Relevante onzekerheden

Omdat het hierbij per definitie gaat om een verkennende studie, is het goed om op voorhand een beeld te hebben van de met de beschreven resultaten samenhangende onzekerheden.

Voor de resultaten van de Delft3D-Swan-berekeningen zijn in dit verband relevant:

- de onzekerheid in de rekenmodellen voor de waterstanden en golven;
- de effecten van de grootte van het beschuttingseffect;
- de onzekerheid die samenhangt met de wijze waarop de statistische kenmerken van het resultaat van de synthetische stormen zijn bepaald.

Onzekerheid in de gehanteerde rekenmodellen

Het eerstgenoemde punt is aan de hand van de validatie-uitwerkingen gekwantificeerd. De onzekerheid in de waterstanden is beperkt van omvang en bedraagt orde 0,1 m. De resultaten laten zien dat het hierbij niet gaat om een systematische afwijking.

De onzekerheid in de berekende golfcondities is relatief gezien veel groter en hangt, zeker voor de locaties dicht bij de dijk, voor een groot deel samen met het gehanteerde breker criterium.

De waterschappen Hunze en Aa's, Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân voeren de POV-Waddenzeedijken uit onder de paraplu van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. In dit programma werken Rijk en waterschappen samen om Nederland te beschermen tegen overstromingen, nu en in de toekomst.

Resultaten met een extreem lage of juist hoge golfhoogte-waterdiepteverhouding moeten dan ook met voorzichtigheid worden beschouwd. In deze zin geven resultaten waarbij de lage waarden voor deze verhouding aanwezig zijn mogelijk te lage golfhoogten. Zoals al eerder is aangegeven zullen de resultaten van de modelberekeningen ook nog moeten worden afgeregeld op de beschikbare meetresultaten en is er dus nog een finetuning van de modellen nodig. In de voorliggende studie is 'slechts' het resultaat van de rekenmodellen gepresenteerd, zonder daarbij te corrigeren voor een bias in de berekende golfcondities.

Effecten van beschutting

De aanwezigheid van de Waddeneilanden en de landranden leidt, ten opzichte van de ongestoorde windsnelheden boven de zuidoostelijke Noordzee, tot een reductie van de windsnelheid. Deze reductie is het sterkst in de Eems-Dollard en daarmee van belang voor de hydraulische belasting op de daar aanwezige Waddenzeedijken. De reductie van de snelheden bedraagt maximaal 30 %. De effecten van het deels beschut liggen van dit deel van de Waddenzeedijken zijn via de opgelegde windvelden reeds in de uitgevoerde berekeningen verwerkt. De hierin aanwezige onzekerheid is gekwantificeerd als orde 10 % van de windsnelheidsreductie. Deze onzekerheid leidt tot een beperkte onzekerheid in de waterstanden en golfhoogten van respectievelijk 0,05 en 0,10 m. Net als bij de modelonzekerheden voor de waterstand lijkt hier ook geen systematische fout aanwezig.

Statistische duiding waterstandsmaxima

De wijze waarop de statistische duiding van de synthetische stormen is verwerkt leidt tot een schatting van de ligging van het zogenaamde geconstrueerde en gecorrigeerde punt. Dit is uitgebreid in de rapportage aan de orde geweest. Dit resultaat is zowel qua waterstandoverschrijdingskans als qua waterstand per definitie onzeker. Omdat de zo goed mogelijk doordachte resultaten niet sterk afwijken van de WBI-relatie, is dit niet van groot belang. Dit zou wel het geval zijn als er sprake was van een grote discrepantie tussen beide resultaten.

Gebruik veekrandmetingen

Veekrandmetingen tijdens recente stormen blijken zelden in strijd met het resultaat van de uitgevoerde Delft3D-Swan-berekeningen. Alleen net westelijk van Eemshaven lijken de veekranden met enige regelmaat hoger te komen. Het wordt dan ook aanbevolen op soortgelijke wijze een controle te doen op het resultaat van de huidige WBI-modellentrein. Daarbij zijn er twee typen locaties die nadere aandacht verdienen: allereerst de locaties waar de modellen achterblijven bij de gemeten veekranden en daarnaast de locaties waar de modellen zonder evidente reden veel hogere golfoploop voorspellen dan de gemeten veekrandniveaus.

Verder valt op dat bij de uitvoerlocatie nabij meetpaal Uithuizerwad de berekende golfoploop mogelijk toch enkele decimeters te laag is ten opzichte van de veekranden. In het kader van het MVED-traject verdient dit enige aandacht.

Overige onzekerheden

Voor het ontwerp van een waterkering is niet alleen de onzekerheid in de voor het ontwerp te gebruiken basiscondities, zijnde de vigerende of hiervan afgeleide randvoorwaarden, van belang, maar ook de onzekerheden die samenhangen met de stap van beoordeling naar ontwerp. Onzekerheden in de klimaatontwikkeling, waaronder de in rekening te brengen zeespiegelstijging, stormklimaat (zoals beschreven in (Deltares, 2019)) en bodemdaling spelen hierbij ook een rol. De in de vorige paragraaf benoemde onzekerheden moeten dus in samenhang hiermee worden beschouwd.

Conclusies uitwerkingen

Wat betreft de waterstandoverschrijdingskans lijkt voor alle beschouwde trajecten een goede overeenkomst tussen de WBI-lijn en de resultaten van de op ECMWF-statistiek gepositioneerde uitkomsten van de Delft3D-Swan-berekeningen aanwezig.

Feitelijk onderschrijft deze conclusie ook dat een nieuwe aanpak, waarmee de hydraulische condities bij de dijk door middel van met synthetische stormen aangestuurde rekenmodellen worden berekend, een kansrijke aanpak is.

De WBI-waarden voor de golven laten bij een gegeven waterstand een veel grotere golfhoogte zien dan volgt uit de huidige POV-berekeningen. Een voor de hand liggende verklaring voor dit grote verschil is het feit dat de uitgevoerde Delft3D-Swan-berekeningen gebruikmaken van een begrensde golfhoogte-waterdiepteverhouding. Het onderliggende Battjes-Janssen-model geeft in dezen vermoedelijk te veel golfbreking en dus qua golfbelasting een te lage uitkomst.

Voor met name de Eems-Dollard is ook het effect van de beschutting een belangrijk aandachtspunt. De voorliggende uitwerkingen laten immers zien dat de windsnelheid met 30 % kan afnemen. Een dergelijke aanpassing van de windsnelheid zal lokaal leiden tot een reductie van de voor de versterkingstrajecten aanwezige golfaanval.

Dit laatste geldt overigens ook voor de Waddenkust zelf, waar op basis van de uitwerkingen een windsnelheidsreductie van 5 tot 10 % mag worden verwacht.

Aanbevelingen

Aangezien voor de beschouwde versterkingstrajecten golfcondities zijn afgeleid die soms significant onder de WBI-waarden zijn gelegen, lijkt dit een zeer relevant resultaat van deze uitwerking. Deze conclusie is vooralnog onderhevig aan discussie over met name de in het Swan-model gehanteerde brekerformulering. Het resultaat van de doorgerekende variant geeft hierin niet het nagestreefde inzicht.

Aanbevolen wordt dan ook om voor de beschouwde versterkingstrajecten gewoon uit te gaan van de nu vigerende waterstands- en golfbelastingen. Uitzondering daarbij is het Eems-Dollard-traject, waar niet alleen het effect van de brekingsformulering, maar ook de beschutting een rol speelt in de waargenomen verschillen tussen de berekende en de vigerende golfcondities.

Nadere, gerichte verdieping Eems-Dollard

Teneinde de onzekerheid in dit resultaat weg te nemen lijkt het verstandig om toegespitst op met name het BGD-traject een systematische reeks Swan-berekeningen uit te voeren, waarin zowel de windcondities en de waterstanden als de relevant geachte formuleringen voor het breken van golven worden beschouwd. Een dergelijke uitwerking past nog in de voorbereidende fase waarin dit versterkingstraject zich nu bevindt. Zeker in combinatie met het uitvoeren van golfmetingen achterin de Eems-Dollard geeft dit de mogelijkheid om voor het starten van de daadwerkelijke voorbereidingen voor de versterking Kerkhovenpolder-Duitsland een betere (en mogelijk gunstiger) hydraulische belasting in rekening te kunnen brengen.

Definitie kantelpunten

Daaraan gekoppeld wordt zeker voor het BGD-traject aanbevolen om het effect van een reductie van de maatgevende golfaanval op het ontwerp van de dijkversterking in kaart te brengen. Interessant daarbij zijn met name de kantelpunten: de golfbelasting waarbij een goedkopere versterking nodig is en de belasting waarbij een versterking voorlopig nog achterwege kan blijven.

4-3 Aanbevelingen MVED

Ook voor het project Meerjarige Veldmetingen Eems-Dollard kan een aantal aanbevelingen worden geformuleerd.

Aanbevolen wordt om, geheel in lijn met de 'over de projecten heen' geformuleerde aanpak, het in de voorliggende POV-studie geformuleerde rekeninstrumentarium ook in de MVED-studie te gebruiken. De eerste stap daarbij is het doorrekenen van een reeks opgetreden stormen, inclusief de ook in het kader van de meetcampagne gemonitorde Kroojanusvloed van 8 en 9 januari van dit jaar. Het model kan daarbij worden aangestuurd met gemeten offshore condities. Deze benadering wijkt dus af van de voorliggende aanpak, waarin grootschalige wind- en drukvelden voor deze aansturing zijn gebruikt.

In het voorliggende project is geconstateerd dat er aanwijzingen zijn dat de windsnelheden in de Eems-Dollard minder hoog zijn dan nu op basis van de offshore windstatistiek wordt aangenomen. In dat verband wordt dan ook aanbevolen om de mogelijkheden tot het plaatsen van een windmeetstation in dit binnengebied te onderzoeken. Een meetpaal ter plaatse van de punt van Reide of de zeer nabije omgeving hiervan zou hier een goede invulling aan kunnen geven.

Verder lijkt het verstandig om ook veekrandmetingen uit te blijven voeren en te analyseren, omdat deze een ruimtelijk beeld geven van de bij de dijken aanwezige golf(oploop)condities.

In dit verband wordt ook aanbevolen om met name achterin het Eems-Dollardgebied een aantal extra golfboeien te plaatsen. Hierbij kan worden gedacht aan een tweetal boeimetingen, waarbij de eerste de inkomende golfaanval door de nauwte bij de Punt van Reide vastlegt en de tweede een indruk geeft van de spreiding van deze energie in de richting van het BGD-traject. Deze informatie kan dan direct worden gebruikt voor het in voorbereiding zijnde versterkingstraject Kerkhovenpolder-Duitsland.

In de eerste opzet wordt nu slechts gekeken naar metingen en modelresultaten langs het Nederlandse deel van de Eems-Dollard. Aanbevolen wordt om daarbij ook de resultaten van een aantal Duitse stations te betrekken.

Aanbevolen wordt ten slotte om in het kader van de MVED-studie waar mogelijk ook te verifiëren of het door modellen voorspelde waterstandverval door de zeegaten ten gevolge van golfgedreven stroming inderdaad op die wijze optreedt.

4.4 Samenvattende conclusies

Het doel van deze studie was het verkennen van het effect van de overstap op een andere, dichter op de fysica aansluitende vaststelling van hydraulische randvoorwaarden. Hiertoe is een prototype van een dergelijk nieuw instrumentarium geformuleerd en is hiermee een reeks berekeningen uitgevoerd.

De conclusie van deze uitgebreide rekeninspanning is dat de verschillen met het huidige WBI niet zeer groot lijken te zijn en dat er dus op korte termijn geen grote wijzigingen in de hydraulische randvoorwaarden mogen worden verwacht. Vooral nog wordt dan ook aanbevolen om voor het ontwerp van de versterkingen uit te gaan van de nu vigerende getalswaarden voor zowel de waterstanden als de golfhoogten.

Uitzondering hierop lijken de in de Eems-Dollard aanwezige golfcondities waar sprake is van, ten opzichte van de WBI-uitgangspunten, gereduceerde windsnelheden. Voor een definitieve duiding van dit effect is echter nog wel verdiepend onderzoek nodig.

De onzekerheid in de modelresultaten kan worden verkleind door het uitvoeren van metingen. Hierbij valt te denken aan zowel het uitvoeren van een windmeting in het Eems-Dollardgebied als het door middel van boeimetingen inwinnen van informatie over de golfbeweging achterin de Eems-Dollard. Deze informatie kan direct worden gebruikt voor het nog op te starten HWBP-project Kerkhovenpolder-Duitsland.

Het gebruik van deze meer fysische benadering heeft geleid tot een veelheid aan nieuwe inzichten over deze belastingen, waarbij wordt aanbevolen om te onderzoeken of een deel van deze sub-resultaten al kan worden geïmplementeerd in de vigerende, meer pragmatische WBI-aanpak. Het voordeel van de overstap op een fysisch meer correcte aanpak is dat de betrouwbaarheid van de modelresultaten voor toepassingen met gewijzigde omstandigheden toeneemt. Te denken valt daarbij niet alleen aan het effect van een afwijkende bodemligging, maar met name aan de kwantificering van de gevolgen van klimaatverandering in de vorm van zeespiegelstijging en wijzigingen in het stormklimaat.