



Memo

Aan



Datum

19 juni 2019

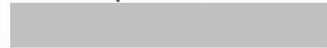
Ons kenmerk

11201202-004-HYE-0005

Aantal pagina's

14

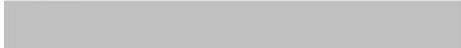
Contactpersoon



Doorkiesnummer



E-mail



Onderwerp

Betrouwbaarheid 1 jaar golfcondities Hydra-Zoet

datum	auteur	paraaf	review	paraaf	goedkeuring	paraaf
19-6-2019	[Redacted]					

1 Inleiding

1.1 Probleembeschrijving

Voor de het ontwerp van de kunstwerken bij de Afsluitdijk, IJsselmeerzijde, zijn de golftrandvoorwaarden nodig met een 1 per jaar terugkeertijd. Op dit moment zijn deze golftrandvoorwaarden afgeleid met Hydra-Zoet voor het faalmechanisme golfklap asfalt zie Levvel (2019). Voor dit faalmechanisme worden conditionele golftrandvoorwaarden berekend, gegeven een bepaalde rekenwaterstand.

Het Hydra-Zoet model is bedoeld voor het berekenen van randvoorwaarden voor extreme terugkeertijden, en de aanpak van Hydra-Zoet is daar op gericht. Condities die vaak voorkomen liggen eigenlijk buiten het bereik van het model. Voor de vuist weg betekent dit dat het model is bedoeld voor de 1/10 per jaar condities en extremer. Maar dus eigenlijk niet voor de 1 per jaar conditie.

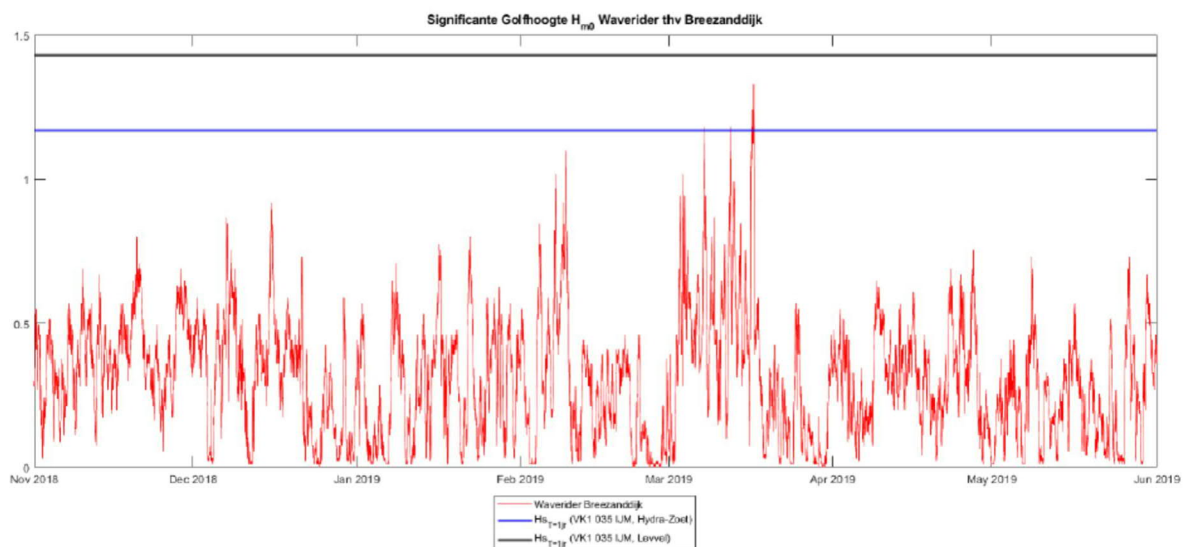
Om een gevoel te krijgen van de betrouwbaarheid van de Hydra-Zoet randvoorwaarden, heeft Levvel de Hydra-Zoet randvoorwaarden vergeleken met de resultaten uit het operationele golfklimaat van Levvel (2018) voor verschillende terugkeertijden, zie Tabel 1.1. De verschillen tussen beide bronnen zijn behoorlijk, zeker voor locatie VK1_018_IJM (Vismigratierivier), waar bij een terugkeertijd van 1 jaar een bijna 30 centimeter hogere golfhoogte wordt gevonden met het operationele golfklimaat van Levvel. Wel moet worden opgemerkt dat de gemaakte vergelijking niet zuiver is. De golftrandvoorwaarden uit het golfklimaat van Levvel zijn afgeleid zonder conditionering van een bepaalde waterstand, terwijl de getoonde Hydra-Zoet randvoorwaarden zijn bepaald, gegeven een bepaalde rekenwaterstand. De getoonde Hydra-Zoet golftrandvoorwaarden geven de maximale golfhoogte over alle beschouwde rekenwaterstanden.

Daarnaast wordt sinds november 2018 gemeten bij Breezanddijk. De resultaten van de waverider worden getoond in Figuur 1.1. Er is te zien dat in de periode maart 2019 een aantal keren relatief hoge golfhoogtes gemeten zijn, met een maximum van circa 1.3 m. De conditionele Hydra-Zoet randvoorwaarde ligt onder dit maximum, de golftrandvoorwaarde uit het operationele

golfklimaat Levvel ligt hierboven. Ook naar aanleiding van deze bevindingen wordt getwijfeld aan de betrouwbaarheid van de conditionele golfrandvoorwaarden uit Hydra-Zoet.

Locatie:	VK1_018_IJM VisMigratieRivier			VK1_070_IJM Kunstwerken Den Oever		
	Hs (m) Omni- directioneel Levvel Operationeel golfklimaat	Hs (m) Golfklap Excl. 10% toeslag Hydra-Zoet 0,00 meerpeil- stijging	Hs (m) Golfklap Excl. 10% toeslag Hydra-Zoet 0,60 meerpeil- stijging	Hs (m) Omnidirectioneel Levvel Operationeel golfklimaat	Hs (m) Golfklap Excl. 10% toeslag Hydra-Zoet 0,00 meerpeilstijging	Hs (m) Golfklap Excl. 10% toeslag Hydra-Zoet 0,60 meerpeilstijging
1/1 per jaar	1.52	1.24	1.32	0.80	0.68	0.81
1/2 per jaar	1.68			0.87		
1/5 per jaar	1.90			0.96		
1/10 per jaar	2.06	1.58	1.68	1.02	0.87	1.01
1/15 per jaar	2.15			1.06		
1/20 per jaar	2.22			1.08		

Tabel 1.1 Vergelijking golfrandvoorwaarden uit het operationele golfklimaat Levvel en de conditionele golfrandvoorwaarden uit Hydra-Zoet voor 0 m en 0.60 m meerpeilstijging. Tabel zoals opgesteld door Levvel, zie email Sjoerd van den Steen, d.d. 21 mei 2019.



Figuur 1.1 Gemeten significante golfhoogte [m] bij Breezanddijk in vergelijking met de 1/jaar conditionele Hydra-Zoet golfrandvoorwaarde (blauwe lijn) en de 1/jaar golfrandvoorwaarde uit het operationele golfklimaat Levvel (zwarte lijn). Figuur afkomstig uit email RWS d.d. 4 juni 2019.

1.2 Doelstelling

Vanwege de twijfels omtrent de betrouwbaarheid van de Hydra-Zoet randvoorwaarden, is aan Deltares gevraagd om beter inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de 1/jaar golfcondities van Hydra-Zoet.

2 Aanpak

Om beter inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de 1/jaar golfcondities van Hydra-Zoet, zijn vier uitvoerlocaties langs de Afsluitdijk aan de IJsselmeerzijde beschouwd:

- 1 Hydra-Zoet locatie VK1_018_IJM bij de Vismigratierivier nabij Kornwerderzand (X = 150246 m, Y = 564817 m);
- 2 Hydra-Zoet locatie VK1_016_IJM bij de spuisluizen bij Kornwerderzand (X = 151061 m, Y = 565021 m);
- 3 Hydra-Zoet locatie VK1_035_IJM bij Breezanddijk (X = 144192 m, Y = 560297 m);
- 4 Hydra-Zoet locatie VK1_070_IJM bij Den Oever (X = 132329 m, Y = 550051 m);

Voor deze locaties zijn de golfrandvoorwaarden bekend van het operationele golfklimaat van Levvel, zoals gegeven in bijlage A van Levvel (2018).

Er zijn een aantal stappen uitgevoerd:

- 1 De statistiek van Hydra-Zoet is nader bekeken;
- 2 De bodemligging in de nabijheid van de uitvoerpunten is nader bekeken;
- 3 De marginale golfrandvoorwaarden zijn met Hydra-NL bepaald voor de vier uitvoerlocaties (zie beschrijving paragraaf 2.1);
- 4 De marginale golfrandvoorwaarden in de nabijheid van de vier uitvoerlocaties zijn bepaald op basis van een 35-jaar golfhindcast (zie beschrijving paragraaf 2.2);
- 5 Een vergelijking is uitgevoerd op basis van:
 - de golfhoogte uit het operationele golfklimaat van Levvel (Levvel, 2018);
 - de golfhoogte uit de marginale statistiek van Hydra-NL;
 - de golfhoogte uit een 35-jarige golfhindcast.

De golfhoogtes zijn met elkaar te vergelijken omdat ze allemaal gebaseerd zijn op marginale statistiek, dat wil zeggen de op zich staande statistiek van de golfhoogte, ongeacht andere parameters zoals waterstand of golfperiodes.

2.1 Berekening golfrandvoorwaarden uit marginale statistiek Hydra-NL

De huidige Hydra-Zoet randvoorwaarden zijn afgeleid voor het faalmechanisme 'golfklap asfalt'. Hierbij worden de golfrandvoorwaarden bepaald, gegeven een bepaalde rekenwaterstand. Om deze reden zijn de golfrandvoorwaarden niet direct te vergelijken met de golfhoogte afgeleid uit het operationele golfklimaat Levvel. Voor de vergelijkbaarheid is het handig om de golfrandvoorwaarden uit de marginale statistiek van Hydra-Zoet af te leiden.

Echter, aangezien het niet mogelijk is om dit met Hydra-Zoet te doen, maar wel met Hydra-NL, is Hydra-NL gebruikt om de golfrandvoorwaarden uit de marginale statistiek af te leiden. Om dit te doen is de database 'VWK01 IJsselmeer WTI2011 Tm-1,0 met 1.09.mdb' omgezet naar een formaat dat kan worden toegepast in Hydra-NL. De golfrandvoorwaarden uit de marginale statistiek zijn berekend aan de hand van de WTI2011 windstatistiek zonder statistische onzekerheden (in plaats van de default WBI2017 windstatistiek in Hydra-NL) en zonder modelonzekerheden.

Hydra-NL en Hydra-Zoet geven niet per definitie dezelfde resultaten. Om na te gaan of de resultaten met Hydra-NL (met bovengenoemde database, WTI2011 statistiek en zonder onzekerheden) vergelijkbaar zijn met de resultaten van Hydra-Zoet, zijn berekeningen uitgevoerd met Hydra-NL voor het faalmechanisme 'golfklap asfalt'. Uit de vergelijking van de

Datum
19 juni 2019

Ons kenmerk
11201202-004-HYE-0005

Pagina
4 van 14

Hydra-NL en Hydra-Zoet resultaten voor 'golflap asfalt' blijkt dat de beide instrumenten nagenoeg dezelfde resultaten geven.

2.2 Berekening marginale golfrandvoorwaarden 35-jaar golfhindcast

Uit Deltares (2012) is een 35-jaar golfhindcast (1979 – 2013) beschikbaar voor het IJsselmeer. De hindcast is gedaan op basis van:

- Een rooster met een resolutie van 200 x 200 m, gebaseerd op de WTI2011 model schematisatie van het IJsselmeer;
- WTI 2011 settings en SWAN versie 40.72ABCDE, waarbij de richtingsresolutie verfijnd is (36 richtingssectoren van 10 graden) en het frequentiebereik verhoogd is tot een bovengrens van 2.5 Hz. Het model is in een niet-stationaire modus met een tijdstap van 60 minuten gedraaid;
- Waterstanden van een WAQUA model;
- Wind uit een 35-jaar HARMONIE wind hindcast (1979 – 2013) met 2.5 x 2.5 km resolutie.

Voor meer informatie over de golfhindcast wordt verwezen naar Deltares (2012).

Voor elke Hydra-Zoet locatie is de dichtstbijzijnde hindcast locatie bepaald. Voor deze locaties zijn de extreme golfrandvoorwaarden bepaald met behulp van de ORCA-toolbox ('metOcean data tRansformation, Classification and Analysis'). De golfrandvoorwaarden bij verschillende overschrijdingsfrequenties zijn bepaald door:

- 1 Het definiëren van de extreme waarden in de dataset met behulp van de 'Peaks Over Threshold' (POT) methode. Alleen de waarnemingen, die boven een goed gekozen lage drempel u uitsteken, worden beschouwd. De drempel is voor elke locatie met een automatisch algoritme bepaald met behulp van de ORCA-toolbox¹. Een minimum tijdsafstand van 48 uur is aangehouden tussen de pieken, om statistische onafhankelijkheid van de data te kunnen garanderen;
- 2 Een statistische verdeling te fitten op deze extreme waarden. Hiervoor wordt het GPV-model (met de gegeneraliseerde Pareto-verdeling) gebruikt. Hierbij is ook een betrouwbaarheidsinterval aangegeven. Ook deze bewerking is uitgevoerd met de ORCA-toolbox;
- 3 De waarden bij de terugkeertijden 1, 2, 5, 10, 15 en 20 jaar te bepalen.

¹ De keuze van de drempel is een compromis: een te lage drempel geeft een minder goede fit, een te hoge drempel geeft minder data. Aangezien naar lage terugkeertijden wordt gekeken in deze studie, is gecheckt of er voldoende data gebruikt is.

3 Resultaten

3.1 Beschrijving check statistiek Hydra-Zoet

In Hydra-Zoet wordt op het IJsselmeer de windstatistiek voor Schiphol gebruikt. Voor de (relatief) lage windsnelheden ($T < 10$ jaar) is de statistiek afgeleid door turven uit de waarnemingen. Voor de hoge windsnelheden ($T > 10$ jaar) is de statistiek bepaald met behulp van het Rijkcoort Weibull model. De twee bereiken van de windsnelheid leveren om uiteenlopende redenen iets verschillende overschrijdingskansen voor $T = 10$ jaar. De overgang tussen beide bereiken is daarom vloeiend aangebracht over een bereik van 3 a 4 m/s. Meer informatie over de windstatistiek is te vinden in RIZA/HKV (2002).

Bovenstaande betekent dat de lage windsnelheden voldoende zijn meegenomen in de windstatistiek en dat de windstatistiek ook voor lagere terugkeertijden gebruikt kan worden. Hydra-Zoet zou hiervoor dus in theorie gebruikt kunnen worden.

De meerpeilstatistiek in Hydra-Zoet begint bij een meerpeil van -0.4 m+NAP, welke met kans 1 overschreden wordt. Voor de beschouwde Hydra locatie ligt het meerpeil tussen de -0.31 m+NAP en -0.25 m+NAP bij een terugkeertijd van 1 jaar en een rekenwaterstand van 0 of 0.2 m+NAP. Het meerpeil voor deze conditie ligt dus binnen de meerpeilstatistiek, maar heeft een relatief grote overschrijdingskans. Er zal voor deze conditie veel kansruimte zijn voor de wind en dus de golven.

Overigens is het in Hydra-NL in de normale modus niet meer mogelijk om de HR voor terugkeertijden lager dan 10 jaar te bepalen. Dit komt niet door een beperking van de statistiek, maar omdat HR met Hydra-NL vaak worden bepaald inclusief modelonzekerheden. Aangezien de modelonzekerheden niet gelden voor de lagere terugkeertijden, is deze beperking in Hydra-NL aangebracht.

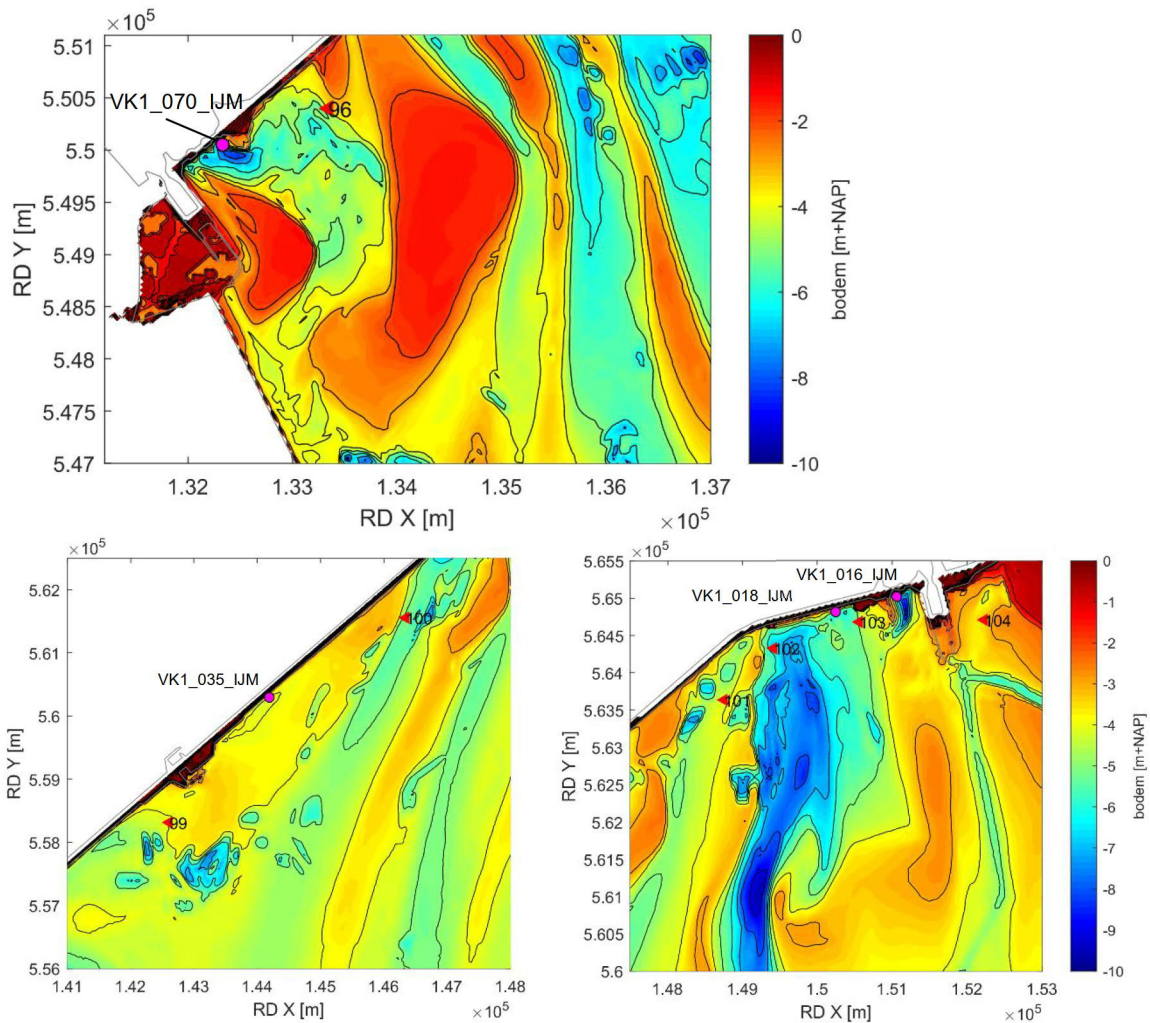
Daarnaast wordt voor sommige gebieden afgeraden om Hydra-NL te gebruiken voor terugkeertijden lager dan circa 5 jaar, aangezien grenswaarden worden gehanteerd die samenvallen met de 1/jaar conditie, bijvoorbeeld op de rivieren de grensafvoer. Dit is echter niet voor het IJsselmeer het geval en daarom wordt vooralsnog niet afgeraden om Hydra-Zoet toe te passen voor een 1/jaar terugkeertijd op de beoogde uitvoerpunten.

3.2 Beschrijving bodemligging uitvoerpunten

In Figuur 3.1 is de bodemligging bij de verschillende uitvoerlocaties gepresenteerd. Het is belangrijk om de bodemligging nader te bekijken aangezien een ondiepe bodem de golven kan beïnvloeden.

Er is te zien dat in de nabijheid van de uitvoerlocatie van Den Oever enkele ondieptes voorkomen met een bodemligging van circa -1.3 m+NAP. Nabij Breezanddijk is de bodemligging gemiddeld -4 tot -5 m+NAP. In de nabijheid van Locatie VK1_018_IJM (VMR Kornwerderzand) ligt een geul met een bodemligging van -7 tot -9 m+NAP. De bodemligging bij de locatie zelf ligt ongeveer op -5 m+NAP. Tot slot ligt er in de nabijheid van locatie VK1_016_IJM (Spuisluizen Kornwerderzand) een ondiepte van circa -2 m+NAP (de resten van de dam).

Vanuit de figuren van de bodemligging kan geconcludeerd worden dat de golven vooral voor Den Oever bij lage waterstanden beïnvloed zullen worden door de bodem.



Figuur 3.1 Bodemligging nabij Den Oever (boven), Breezanddijk (linksonder) en Kornwerderzand (rechtsonder). De Hydra-Zoet uitvoerlocaties zijn aangeduid met een magenta marker (de locaties van het operationele golfklimaat Levvel zijn hieraan gelijk). De hindcast uitvoerlocaties zijn aangeduid met een rode driehoek.

3.3 Vergelijking golfhoogtes

De beste vergelijking tussen verschillende bronnen kan gemaakt worden voor locatie VK1_018_IJM bij Kornwerderzand, aangezien voor deze locatie de uitvoerlocaties van de Hydra's/Levvel en de 35-jaar golfhindcast zeer dicht bij elkaar liggen, zie Figuur 3.1 (respectievelijk magenta cirkel en rode driehoek). Daarnaast worden de golven op deze locatie voor de lagere terugkeertijden nauwelijks beïnvloed door de bodem. Om deze reden wordt de vergelijking op deze uitvoerlocatie als eerste gepresenteerd. De resultaten van de vergelijking zouden een goed beeld moeten geven van de betrouwbaarheid van de waarden van Levvel en Hydra-Zoet.

3.3.1 Uitvoerlocatie VK1_018_IJM nabij Kornwerderzand

Tabel 3.1 laat de vergelijking zien van golfhoogtes voor verschillende bronnen en terugkeertijden. De kolommen 2 – 4 geven de marginale golfstatistiek weer op basis van

respectievelijk het operationele golfklimaat van Levvel, berekeningen met Hydra-NL en een 35-jaar golfhindcast en zouden dus met elkaar te vergelijken moeten zijn.

Daarnaast zijn in de 5^e kolom de conditionele waardes, gegeven een bepaalde rekenwaterstand, voor golfklap asfalt getoond. Voor elke terugkeertijd is alleen de maximale golfhoogte over alle beschouwde waterstanden getoond. Deze waardes zijn niet direct met de overige kolommen te vergelijken aangezien ze de golfhoogte bij een bepaalde waterstand representeren. Om deze reden zijn ze cursief gedrukt.

Tabel 3.1 laat zien dat de marginale statistiek voor H_{m0} uit Hydra-NL goed overeenkomt met de waarden van 35-jaar hindcast. Deze vergelijking geeft vertrouwen in de waarden van de marginale golfhoogte statistiek berekend met Hydra-NL. Echter, het operationele golfklimaat van Levvel geeft voor deze locatie significant hogere waardes voor de golfhoogte. Het is niet evident waardoor dit grote verschil veroorzaakt wordt. Mogelijk oorzaken kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Een verschil van windbron; Levvel gebruikt een combinatie van de wind bij Stavoren opgehoogd met de wind bij de Kooy (zie Levvel, 2018), de Hydra's gebruiken de potentiële wind bij Schiphol, welke via een eenvoudige transformatie wordt vertaald naar open water wind boven het IJsselmeer. De wind bij de Kooy is ongeveer 1- 2 m/s hoger dan bij Schiphol bij een jaarlijkse conditie.
- De kalibratie die Levvel uitvoert beïnvloedt de waarden voor windsnelheden vanaf ongeveer 15 m/s. Voor 1/jaar golfcondities gelden al windsnelheden rond de 15 m/s en kan er dus beïnvloeding optreden. Daarnaast is de kalibratie uitgevoerd op basis van slechts 1 meetlocatie. Het is dus onzeker of de gevonden verschillen ook voor andere locaties in het IJsselmeer gelden.
- Levvel varieert de waterstand niet, maar maakt gebruik van een uniform waterstandsveld voor de golfmodellering en gebruikt de gemeten/ al dan niet geïnterpoleerde waterstand bij de uitvoerlocatie voor de transformatiematrix. Ze concluderen dat bij toepassing van de transformatiemethode de waterstand enigszins wordt overschat in opwaartse richting. 'Wanneer de golven de bodem wel voelen, kan deze overschatting van de waterstand leiden tot een overschatting van de golfcondities. Deze overschatting treedt alleen op bij hoge windsnelheden (~15 m/s) en wordt bij het naderen van het uitvoerpunt effectief gemarginaliseerd doordat de overschatting van de waterstand bij het naderen van het uitvoerpunt afneemt in combinatie met het belang van lokale windgroei.' Zie Levvel (2018). Voor de andere twee bronnen is de waterstand wel gevarieerd.
- Verschillen in de SWAN modellering, bijvoorbeeld wind invoer, rooster resolutie, modelinstellingen, stationair of niet-stationaire modus.

Voor de Hydra-Zoet waarden is te zien dat deze consistent enkele centimeter lager zijn dan de marginale statistiek voor H_{m0} van Hydra-NL. Dit valt te verwachten, aangezien deze waarden conditioneel zijn afgeleid, gegeven een bepaalde rekenwaterstand.

H_{m0} [m] nabij Kornwerderzand (VMR) Hydra (& Levvel)-locatie VK1_018_IJM, hindcast locatie 103				
Overschrijdingsfrequentie	Operationeel golfklimaat Levvel	Hydra-NL, marginale statistiek	35 jaar golf hindcast (300 m van 18)	<i>Hydra-Zoet Conditioneel golfklap Asphalt (max)</i>
1/1 jaar	1.52	1.27	1.31 (1.28; 1.34)	1.24
1/2 jaar	1.68	1.39	1.41 (1.36; 1.45)	1.36
1/5 jaar	1.90	1.53	1.52 (1.46; 1.59)	1.51
1/10 jaar	2.06	1.62	1.61 (1.52; 1.71)	1.58
1/15 jaar	2.15	1.67	1.66 (1.55; 1.79)	1.62
1/20 jaar	2.22	1.70	1.69 (1.58; 1.84)	1.67

Tabel 3.1 Vergelijking golfhoogtes (H_{m0}) voor verschillende bronnen en terugkeertijden nabij VMR Kornwerderzand (VK1_018_IJM). Voor de 35-jaar golfhindcast zijn naast de puntwaardes ook de waardes van het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven.

3.3.2 Uitvoerlocatie VK1_016_IJM nabij Kornwerderzand

In de nabije omgeving van Locatie VK1_016_IJM liggen een aantal ondieptes, waardoor de golven beïnvloed worden, zie Figuur 3.1. Hierdoor is geen vergelijking mogelijk met de 35-jaar hindcast resultaten, aangezien de dichtstbijzijnde hindcast locatie (locatie 103) niet beïnvloed wordt door deze ondieptes.

Om deze redenen kunnen alleen de waarden van het operationele golfklimaat van Levvel met de waarden van Hydra-NL (uit de marginale statistiek) met elkaar worden vergeleken. De resultaten worden getoond in Tabel 3.2. Er is te zien dat de waarden uit Hydra-NL in alle gevallen hoger zijn dan de waarde van Levvel. Dit zou mogelijk verklaard kunnen worden door verschillen in de modellering van de dammen nabij Kornwerderzand.

Daarnaast is weer te zien dat de waarden van de conditionele afleiding voor golfklap asphalt consistent enkele centimeters lager zijn dan de waarden uit de marginale statistiek H_{m0} .

H _{m0} [m] nabij Kornwerderzand, Hydra (& Levvel)-locatie VK1_016_IJM, hindcast locatie 103				
Overschrijdingsfrequentie	Operationeel golfklimaat Levvel	Hydra-NL, marginale statistiek	35 jaar golf hindcast	Hydra-Zoet Conditioneel golfklap Asphalt (max)
1/1 jaar	0.93	1.15	-	1.10
1/2 jaar	1.04	1.24	-	1.19
1/5 jaar	1.19	1.35	-	1.30
1/10 jaar	1.31	1.43	-	1.39
1/15 jaar	1.38	1.47	-	1.46
1/20 jaar	1.43	1.50	-	1.46

Tabel 3.2 Vergelijking golfhoogtes (H_{m0}) voor verschillende bronnen en terugkeertijden nabij Kornwerderzand (VK1_016_IJM). Voor de 35-jaar golfhindcast zijn naast de puntwaardes ook de waardes van het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven.

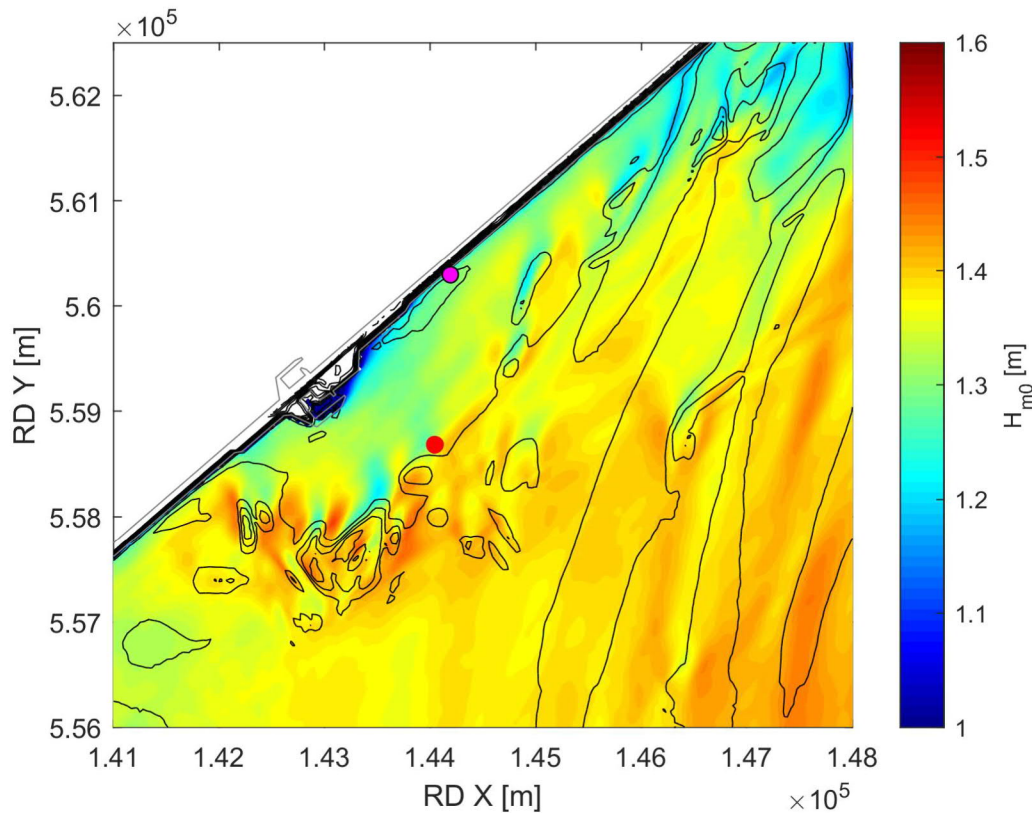
3.3.3 Uitvoerlocatie VK1_035_IJM nabij Breezanddijk

Voor de vergelijking bij locatie VK1_035_IJM is een hindcast locatie (locatie 100) beschikbaar die op 2 kilometer afstand van locatie VK1_035_IJM ligt, zie Figuur 3.1. Aangezien bodemverschillen beperkt zijn, zijn de waarden van de hindcast locatie ook meegenomen in de vergelijking van de golfhoogtes. Door de andere ligging van de hindcast locatie kan verwacht worden dat er verschillen optreden tussen de extremen van locatie VK1_035_IJM en de hindcast locatie.

Tabel 3.3 geeft een overzicht van de waarden van de verschillende bronnen. Er is te zien dat de waarden van de marginale statistiek uit Hydra-NL redelijk overeenkomen met de waarden van de 35-jaar hindcast, met de grootste verschillen (orde 5-7 centimeter) voor de 1 jaar en terugkeertijden groter dan 10 jaar. Echter, de waarden van het operationele golfklimaat van Levvel zijn significant hoger dan de andere twee bronnen.

Daarnaast is weer te zien dat de waarden van de conditionele afleiding voor golfklap asphalt consistent enkele centimeters lager zijn dan de waarden uit de marginale statistiek H_{m0}.

Tot slot is het maximum van de golfmeting bij Breezanddijk vergeleken met de extreme waarden. Wanneer de marginale statistiek van de golfhoogte uit Hydra-NL wordt aangehouden dan zou deze golfhoogte op de uitvoerlocatie 1 keer per 2 jaar kunnen voorkomen. Dit is mogelijk en geeft niet direct een reden om te twijfelen aan de betrouwbaarheid van de Hydra golfhoogte statistiek. Daarnaast is de meetlocatie niet gelijk aan de Hydra uitvoerlocatie, zie Figuur 3.2. Voor de beschouwde condities is de golfhoogte bij de golfboei ongeveer 5 centimeter hoger dan bij de Hydra-locatie.



Figuur 3.2 *Significante golfhoogte uit de WTI2011 berekeningen voor een windsnelheid van 19 m/s, windrichting 202 °N en een waterstand bij Breezanddijk van 0.11 m. De zwarte contouren zijn de diepte contouren. De magenta marker geeft de Hydra-locatie weer, de rode marker de golfboei locatie.*

H _{mo} [m] nabij Breezanddijk, Levvel locatie 5 (BZ- set), Hydra-locatie VK1_035_IJM, hindcast locatie 100					
Overschrijdings frequentie	Operationeel golfklimaat Levvel	Hydra-NL, marginale statistiek	35 jaar golf hindcast (2 km van locatie 35)	Hydra-Zoet Conditioneel golfklap Asphalt (max)	Meting golfboei (max)
1/1 jaar	1.54	1.20	1.26 (1.24; 1.29)	1.17	
1/2 jaar	1.68	1.31	1.33 (1.29; 1.37)	1.27	~1.3
1/5 jaar	1.86	1.43	1.41 (1.36; 1.46)	1.41	
1/10 jaar	2.00	1.52	1.47 (1.41; 1.55)	1.48	
1/15 jaar	2.08	1.57	1.50 (1.42; 1.60)	1.51	
1/20 jaar	2.14	1.60	1.53 (1.44; 1.65)	1.56	

Tabel 3.3 *Vergelijking golfhoogtes (H_{mo}) voor verschillende bronnen en terugkeertijden nabij Breezanddijk (VK1_035_IJM). Voor de 35-jaar golfhindcast zijn naast de puntwaardes ook de waardes van het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven.*

3.3.4 Uitvoerlocatie VK1_070_IJM nabij Den Oever

Voor uitvoerlocatie VK1_070_IJM zijn de golfhoogtes van de verschillende bronnen gepresenteerd in Tabel 3.4. Een hindcast locatie op 1 kilometer afstand van de uitvoerlocatie is

uitgekozen om te vergelijken met de waarden van Levvel en de Hydra's. Aangezien de uitvoerlocatie redelijk beschermt ligt voor de westelijke windrichtingen en de hindcast locatie niet, kunnen de resultaten van de hindcast locatie verschillen met de andere bronnen.

Echter, er liggen een aantal ondieptes (ca. -1.3 m+NAP, zie Figuur 3.1) in de nabijheid van zowel de uitvoerlocatie als de hindcast locatie. Door deze ondieptes treedt golfdissipatie op en liggen de waarden van het operationele golfklimaat van Levvel, de Hydra-NL resultaten en de 35-jaar hindcast niet ver uit elkaar. De verschillen zijn in de orde van centimeters. Wanneer een waterstand van 0.2 m+NAP wordt aangehouden (~1/jaar waterstand) dan is de waterdiepte circa 1.5 meter. Wanneer een vuistregel voor de maximale significante golfhoogte ($H_{m0,max} = 0.5 \times$ waterdiepte, zie Deltares, 2012) wordt gehanteerd dan zou de golfhoogte, gegeven een waterstand van 0.2 m+NAP, maximaal 0.75 m kunnen bedragen. Zowel de resultaten van Hydra-NL als van het operationele golfklimaat van Levvel liggen dicht in de buurt van deze waarde. De waarden van het operationele golfklimaat van Levvel liggen 6 – 10 centimeter hoger dan de marginale golfstatistiek van Hydra-NL.

Daarnaast is weer te zien dat de waarden van de conditionele afleiding voor golfklap asfalt consistent enkele centimeters lager zijn dan de waarden uit de marginale statistiek H_{m0} . De 1/jaar conditionele golfhoogte uit Hydra-Zoet is berekend voor een rekenwaterstand van 0 m+NAP. Bij deze waterstand is de waterdiepte bij de ondieptes in de nabijheid van de uitvoerlocatie circa 1.3 m. Wanneer een vuistregel voor de maximale significante golfhoogte ($H_{m0,max} = 0.5 \times$ waterdiepte, zie Deltares, 2012) wordt gehanteerd dan zou de golfhoogte, gegeven een waterstand van 0 m+NAP, maximaal 0.65 m kunnen bedragen. Deze waarde komt zeer overeen met de conditionele golfhoogte voor een terugkeertijd van 1 jaar, zoals berekend met Hydra-Zoet. Deze waarde wordt daarom betrouwbaar geacht.

Geconcludeerd kan worden dat zowel de conditionele golfhoogte uit Hydra-Zoet als de golfhoogte uit de marginale statistiek uit Hydra-NL betrouwbare antwoorden geven voor hetgeen dat ze representeren, waarbij de golfhoogte uit de marginale statistiek de bovengrens vormt van alle conditionele berekeningen met de bekledingmodule van de Hydra modellen. De vraag of de conditionele golfhoogte uit Hydra-Zoet of de golfhoogte uit de marginale statistiek uit Hydra-NL toegepast zou moeten worden voor 1/ jaar vermoeiingsberekeningen wordt in deze studie niet direct beantwoord.

H _{m0} [m] nabij Den Oever, Hydra (& Levvel)-locatie VK1_070_IJM, hindcast locatie 96				
Overschrijdingsfrequentie	Operationeel golfklimaat Levvel	Hydra-NL, marginale statistiek	35 jaar golf hindcast (1 km van locatie 70)	Hydra-Zoet Conditioneel golfklap Asphalt (max)
1/1 jaar	0.80	0.74	0.82 (0.81;0.83)	0.68
1/2 jaar	0.87	0.81	0.86 (0.84; 0.88)	0.76
1/5 jaar	0.96	0.88	0.90 (0.87; 0.93)	0.83
1/10 jaar	1.02	0.93	0.94 (0.90; 0.97)	0.87
1/15 jaar	1.06	0.96	0.96 (0.91; 1.00)	0.90
1/20 jaar	1.08	0.98	0.97 (0.92; 1.02)	0.93

Tabel 3.4 Vergelijking golfhoogtes (H_{m0}) voor verschillende bronnen en terugkeertijden nabij Den Oever (VK1_070_IJM). Voor de 35-jaar golfhindcast zijn naast de puntwaardes ook de waardes van het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven.

4 Conclusies en aanbevelingen

Door middel van een vergelijking van golfhoogtes voor verschillende terugkeertijden afkomstig van:

- het operationele golfklimaat van Level,
- de marginale golfstatistiek van Hydra-NL,
- een 35-jaar golfhindcast op het IJsselmeer,

is de betrouwbaarheid aangetoond van de resultaten van de marginale golfstatistiek uit Hydra-NL. Over het algemeen komen de waarden van de marginale golfstatistiek van Hydra-NL goed overeen met de waarden van de 35-jaar golfhindcast. Het operationele golfklimaat van Level geeft consistent hogere waarden dan de andere twee bronnen.

De waarden voor golfklap asfalt uit Hydra-Zoet, conditioneel gegeven een bepaalde rekenwaterstand, zijn consistent enkele centimeters lager zijn dan de waarden uit de marginale statistiek voor de golfhoogte van Hydra-NL. Dit is overeenkomstig de verwachting.

Het is de vraag of de conditionele golfhoogte uit Hydra-Zoet of de golfhoogte uit de marginale statistiek uit Hydra-NL toegepast zou moeten worden voor 1/jaar vermoeiingsberekeningen. Deze vraag wordt in deze studie niet direct beantwoord.

Datum
19 juni 2019

Ons kenmerk
11201202-004-HYE-0005

Pagina
14 van 14

Literatuur

Deltares (2012). Maximale significante golfhoogte bij ondiep water en maximale golfsteilheid. Deltares rapport 1204727-004-HYE-0001, februari 2012.

Levvel (2018). Operationeel golfklimaat Afsluitdijk – IJsselmeerzijde. Levvel rapport SD-RAP-0228, december 2018.

Levvel (2019). Aanvulling HR Kunstwerken IJsselmeerzijde – Faalmechanisme Golfklap. Levvel rapport ASD-MEM-0080, maart 2019.

RIZA/HKV (2002). Wind-waterstandstatistiek Hoek van Holland. RIZA/HKV rapport, Lelystad, juli 2002.