



**Vlaanderen**  
is wetenschap



16\_096\_1  
WL rapporten

## **Kortkruinig golfklimaat ter hoogte van de Halve Maan (haven Oostende)**

Golfindringing voor een storm met  $T = 100$  jaar  
en  $T = 1000$  jaar

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

# Kortkruinig golfklimaat ter hoogte van de Halve Maan (haven Oostende)

Golfindringing voor een storm met  $T = 100$  jaar en  $T = 1000$  jaar

De Roo, S.; Suzuki, T.; Vanneste, D.; Peeters, P.; Mostaert, F.



### Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.  
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.  
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

### Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2017  
D/2017/3241/22

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

De Roo, S.; Suzuki, T.; Vanneste, D.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2017). Kortkruinig golfklimaat ter hoogte van de Halve Maan (haven Oostende): Golfindringing voor een storm met T = 100 jaar en T = 1000 jaar. Versie 4.0. WL Rapporten, 16\_096\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

### Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2017R16_096_1
Keywords (3-5):	Hydraulische randvoorwaarden, golven, numerieke modellering, haven Oostende		
Tekst (p.):	14	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	De Roo, S.
------------	------------

### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Suzuki, T.	
Projectleider:	Vanneste, D.	

### Goedkeuring

Coördinator onderzoeksgroep:	Peeters, P.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	





## Abstract

Er dient een nieuw talud aangelegd te worden langs de Halve Maan voor de uitvoering van de verbreding van de vaargeul in de haven van Oostende. Voor de stabiliteitsberekeningen van dit talud zijn hydraulische randvoorwaarden (waterstand en golfklimaat) vereist van een maatgevende storm met een terugkeerperiode van 100 jaar.

Hiertoe zijn voor golfrichtingen NW,  $-37^\circ$  en NNW simulaties uitgevoerd voor een 100-jarige storm met kortkruinige golfindringing. Het verlagen van de gesimuleerde significante golfhoogte  $H_{m0}$  en  $T_p$  ten opzichte van de 1000-jarige hydraulische randvoorwaarden zorgt vnl. voor een ander diffractiepatroon ter hoogte van de havendammen. De hieraan gerelateerde kortere golflengte resulteert in minder diffractie en dus lagere golfhoogtes in de schaduwzones achter de havendammen.

Voor de noordelijke zijde en de bovenste helft van westelijke zijde van de Halve Maan resulteert de hoogste significante golfhoogte  $H_{m0,GI}$  uit simulaties met 1000-jarige kortkruinige golven komende uit (hoofd)golfrichtingen NW en  $-37^\circ$  respectievelijk. Het verschil tussen beide golfrichtingen is evenwel klein, alsook met de 100-jarige waarden.

Verder langs de westelijke zijde naar de binnenhaven toe is de significante golfhoogte  $H_{m0,GI}$  resulterend uit simulaties met 100-jarige kortkruinige golven uit deze (hoofd)golfrichtingen iets hoger aangezien kortere golven gemakkelijker binnendringen in de haven.

Belangrijk hierbij op te merken is dat het toevoegen van meerdere sponslagen langs de Halve Maan zorgt voor een irreëel hoge dissipatie van de golfenergie en dientengevolge een onderschatting van de lokale golfhoogtes. Bijkomend is het 1/3 talud van de Halve Maan afgetopt tot een waterdiepte van 3.2 m, wat eveneens bijdraagt tot een onderschatting van de lokale golfhoogtes.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren .....	VII
1 Inleiding .....	1
1.1 Voorafgaand .....	1
1.2 Doel van dit advies .....	1
2 Hydraulische randvoorwaarden kustsectie 117.....	2
3 Golfkarakteristieken ter hoogte van de Halve Maan site.....	4
3.1 Modelopbouw .....	4
3.2 Contourplots significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ na 100-jarige storm met kortkruinige golven .....	5
3.3 Significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ langs contouren Halve Maan na 100 en 1000-jarige storm met kortkruinige golven.....	9
4 Besluit .....	13
5 Referenties .....	14



## Lijst van de tabellen

Tabel 1 - Kustsectie 117: (omni)directionele hydraulische randvoorwaarden voor een storm met $T = 100$ jaar .....	3
Tabel 2 - Gesimuleerde hydraulische randvoorwaarden ( $T = 100$ jaar) .....	4
Tabel 3 - Golfparameters op verschillende locaties (golfrichting NW) (tussen haakjes: simulatieduur: 21.83min).....	10
Tabel 4 - Golfparameters op verschillende locaties (golfrichting $-37^\circ$ ) (tussen haakjes: simulatieduur: 21.83min).....	11
Tabel 5 - Golfparameters op verschillende locaties (golfrichting NNW).....	12

## Lijst van de figuren

Figuur 1 - Kustsectie 117 (Haven Oostende): (omni)directionele extreme waardenverdeling voor de significante golfhoogte $H_{m0}$ .....	3
Figuur 2 - Contourplot significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ na 100-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NW .....	6
Figuur 3 - Contourplot significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ na 100-jarige storm met kortkruinige golven uit richting $-37^\circ$ .....	7
Figuur 4 - Contourplot significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ na 100-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NNW .....	8
Figuur 5 - Significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ langs binnen- en buitencontour t.h.v. Halve Maan na 100- en 1000-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NW .....	10
Figuur 6 - Significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ langs binnen- en buitencontour t.h.v. Halve Maan na 100- en 1000-jarige storm met kortkruinige golven uit richting $-37^\circ$ .....	11
Figuur 7 - Significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ langs binnen- en buitencontour t.h.v. Halve Maan na 100- en 1000-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NNW .....	12



# 1 Inleiding

## 1.1 Voorafgaand

In 2011 is de golfindringing in de haven van Oostende gemodelleerd met MIKE21-BW voor 2 extreme stormcondities, i.e. de 1000-jarige storm en de +8m TAW storm (Gruwez *et al.*, 2011) waarbij 3 golfrichtingen beschouwd zijn, i.e. NNW, -37° en NW. In deze studie was reeds rekening gehouden met een verbreding van de vaargeul ter hoogte van de Halve Maan site. De focus ligt echter in de binnenhaven, waar resulterende golfrandvoorwaarden (per kaaimuur zone) bepaald zijn uit simulaties met langkruinige golven. Directionele spreiding van de golven heeft in de binnenhaven een verwaarloosbaar effect.

Samengevat is de 'toekomstige' bathymetrie met verbrede vaargeul opgebouwd gebruik makende van deze plannen:

- Buitenhaven Oostende: plan van Afdeling Maritieme Toegang d.d. 12/02/2010  
planOHo20100212HavenVanOostende\_OWplan\_Ontwerpfase\_Grondplan\_Alternatief3.dwg  
planOHo20100212HavenVanOostende\_OWplan\_Ontwerpfase\_Sneden\_Alternatief3.dwg
- Streefdieptes buiten (vaargeul naar de haven) en binnen de haven: plan van Afdeling Maritieme Toegang  
CAD plannen met nummers 1M2B6MA00002300 en 1M2B6MA00005200
- Streefdieptes in de jachthaven van Oostende: plan van Afdeling Kust 'Uitvoeren van onderhoudsbaggerwerken in de kustjachthavens Nieuwpoort en Blankenberge en in de jachtdokken van Oostende en Zeebrugge'

Het huidige, finale ontwerp van de verbreding wijkt licht af van bovenvermeld initieel ontwerp (mond. comm dr. ir. H. Verhaeghe). De vaargeul is o.a. wat smaller naar de binnenhaven toe.

Voor het ontwerp van het nieuwe talud langs de Halve Maan zijn de hydraulische randvoorwaarden (waterstand en golfklimaat) tijdens een 1000-jarige storm vereist. Uit de resultaten van Gruwez *et al.*, 2011 heeft Vanneste *et al.*, 2016 de deze golfrandwaarden geextraheerd langs 2 contouren rond de Halve Maan, en dit voor de meest nadelige golfrichting, i.e. NW. Vervolgens is in De Roo *et al.*, 2016b het kort- en langkruinig golfklimaat geanalyseerd voor een 1000-jarige storm uit de (hoofd)golfrichtingen NW, -37° en NNW. Bijkomend is een reflectie analyse uitgevoerd ter bepaling van de invallende golfhoogtes.

## 1.2 Doel van dit advies

Voortvloeiend uit bovenvermelde adviezen kwam de vraag van Afdeling Maritieme Toegang (dr. ir. H. Verhaeghe) om het golfklimaat voor een 100-jarige storm te modelleren met kortkruinige golven uit de (hoofd)golfrichtingen NW, -37° en NNW. De resultaten van deze lagere terugkeerperiode dienen als basis voor de stabiliteitsberekeningen van het nieuwe talud.

Hoofdstuk 2 beschrijft de hydraulische randvoorwaarden voor deze simulaties, bepaald op basis van De Roo *et al.*, 2016a.

Hoofdstuk 3 bespreekt de lokale golfkarakteristieken voor kortkruinige golfindringing, en vergelijkt de 100- en 1000-jarige resultaten onderling.

## 2 Hydraulische randvoorwaarden kustsectie 117

In het Hydraulisch Randvoorwaardenboek is een matrix van randvoorwaarden op diep water doorgerekend met SWAN ter bepaling van de randvoorwaarden op ondiep water (zie De Roo *et al.*, 2016a). Gebruik makende van deze resultaten zijn voor kustsectie 117, i.e. de haven van Oostende, de hydraulische randvoorwaarden berekend voor een storm met terugkeerperiode  $T = 100$  jaar.

Voor de significante golfhoogte  $H_{m0}$  is de totale, omnidirectionele kans van voorkomen berekend uit de som der kansen van de directionele significante golfhoogtes  $H_{m0}$ . Op deze discrete punten is vervolgens een Weibull extreme waardenverdeling gefit die resulteert in de locatiespecifieke verdeling van de significante golfhoogte  $H_{m0}$  voor hogere terugkeerperiodes  $T$ . Het verband tussen de significante golfhoogtes  $H_{m0}$  en –piekperiodes  $T_p$  kan als volgt uitgedrukt worden:

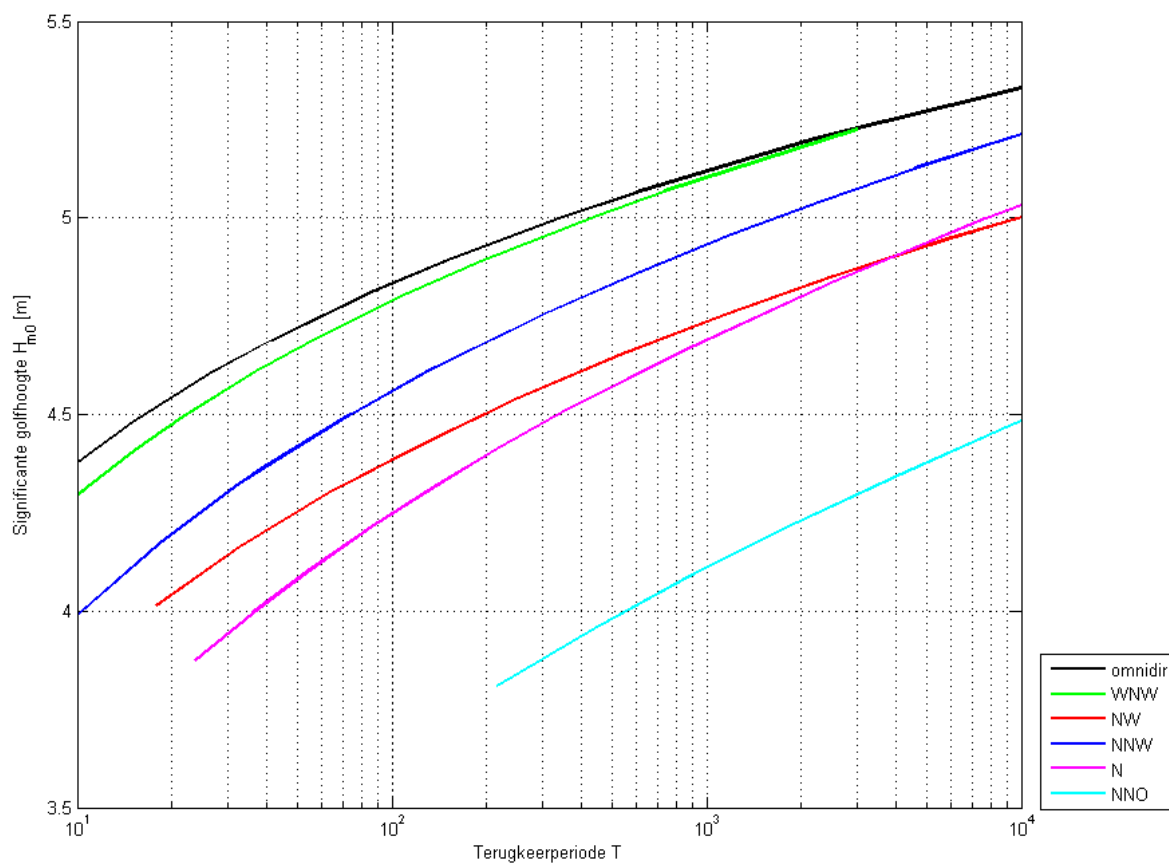
$$T_p = A \cdot H_{m0}^B \quad (1)$$

Gegeven de berekende significante golfhoogte  $H_{m0}$  voor de maatgevende storm, resulteert uit (1) de bijhorende golfpiekperiode  $T_p$ .

Figuur 1 illustreert de (omni)directionele golftrandvoorwaarden voor deze kustsectie (voor  $T = 100$  jaar, zie Tabel 1). Sectoren WNW en NNW hebben de belangrijkste bijdrage tot de omnidirectionele significante golfhoogte  $H_{m0}$ , terwijl de invloed van sector NNO verwaarloosbaar is. Bemerkt dat voor deze sector de 100-jarige significante golfhoogte  $H_{m0}$  te laag is voor de beschouwde matrix voor golftransformatie. Diens 100-jarige waarde is bijgevolg bekomen door extrapolatie van de opgestelde directionele extreme waardenverdeling.

De 100-jarige omnidirectionele waterstand  $h$  bedraagt +6.4 m TAW (uit Figuur 4-1 in De Roo *et al.*, 2016a).

Figuur 1 - Kustsectie 117 (Haven Oostende): (omni)directionele extreme waardenverdeling voor de significante golfhoogte  $H_{m0}$



Tabel 1 - Kustsectie 117: (omni)directionele hydraulische randvoorwaarden voor een storm met  $T = 100$  jaar

	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	$h$ [m TAW]
<b>omnidir</b>	4.83	10.85	6.4
<b>WNW</b>	4.79	10.77	
<b>NW</b>	4.39	10.18	
<b>NNW</b>	4.56	10.44	
<b>N</b>	4.25	10.13	
<b>NNO</b>	3.64	8.94	

## 3 Golfkarakteristieken ter hoogte van de Halve Maan site

### 3.1 Modelopbouw

Tabel 2 geeft een overzicht van de gemodelleerde hydraulische randvoorwaarden. Buitengaats en in de vaargeul, met bodempeil op  $-8.9$  m TAW, is de maximale waterdiepte  $d = 15.6$  m. De golfrandvoorwaarden worden aan de modelrand, i.e. op een afstand van 2 golflengtes  $L$  tot de havendammen, opgelegd als een standaard JONSWAP spectrum met piekversterkingsfactor  $\gamma = 3.3$ . Directionele spreiding van de golven ('kortkruinigheid') in dit spectrum wordt frequentie-onafhankelijk opgelegd gebruik makend van een  $\cos^8$  functie met een maximale afwijking van  $30^\circ$  ten opzichte van de hoofdgolfrichting. De gesimuleerde waterstand  $h$  bestaat uit de sommatie van het 100-jarige peil en een verwachte hoogwaterstijging van  $0.3$  m. Hierdoor wordt een gemiddelde hoogwaterstijging van  $0.6$  cm/jaar in rekening gebracht voor de komende 50 jaar (t.o.v. referentiejaar 2000; zie IMDC, 2005).

Voor de simulatie van golfindringing in de haven zijn hoofdgolfrichtingen NW,  $-37^\circ$  en NNW beschouwd. Hierbij is gebruik gemaakt van de opgestelde modellen voor waterstand  $h = +7.2$  m TAW uit Gruwez *et al.*, 2011. Zie Tabel 3-5 in dat rapport voor de toegepaste maatregelen om numerieke stabiliteit te verkrijgen. Dientengevolge dient eveneens het talud langs de Halve Maan site afgetopt te worden tot een minimale waterdiepte van  $4$  m. Aan dit talud is bijkomend geen waterstandsafhankelijke reflectiecoëfficiënt toegekend. Er werd ondersteld dat gerelateerde golftransformatieprocessen (golfbreking, refractie, reflectie) adequaat gesimuleerd worden indien dit talud voldoende hoog is afgetopt. Deze aftopping wijzigt echter de partiële reflectie en refractie op het talud, wat resulteert in een onderschatting van de lokale golfhoogtes (zie Sectie 3.3.8. in Gruwez *et al.*, 2011).

Bemerkt dat, aangezien deze bathymetrie gebruikt worden met een lagere waterstand, de waterdiepte in deze simulaties  $3.2$  m bedraagt langs de Halve Maan.

De simulatieduur bedraagt  $25$  min, wat overeenstemt met ongeveer  $160$  kortkruinige golven. Voor een nauwkeurige tijdreeks analyse is dit aantal golven te laag. Door numerieke instabiliteiten die optreden bij langere simulatieduren was het echter niet mogelijk een groter aantal golven te simuleren.

---

Tabel 2 - Gesimuleerde hydraulische randvoorwaarden ( $T = 100$  jaar)

---

Waterstand $h$ [m TAW]	Maximale waterdiepte $d$ [m]	Offshore significante golfhoogte $H_{m0}$ [m]	Piekgolfperiode $T_p$ [s]	Hoofdgolfrichting
+6.70	15.6	4.83	10.85	NW, $-37^\circ$ , NNW

## 3.2 Contourplots significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ na 100-jarige storm met kortkruinige golven

Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 illustreren de resulterende significante golfhoogte  $H_{m0,GI}$  ter hoogte van de Halve Maan na simulatie van een 100-jarige storm met kortkruinige golven komende uit de hoofdgolfrichtingen NW,  $-37^\circ$  en NNW respectievelijk. In het algemeen zorgt de kortkruinigheid van de golven ervoor dat de golfenergie meer verspreid wordt in de haven. Zeker in de schaduwzones achter de havendammen komt hierdoor meer golfenergie toe (in vergelijking tot de simulaties met langkruinige golven).

Net zoals voor de 1000-jarige storm resulteren de hoogste kortkruinige golven uit NW voor de noordelijke zijde van de Halve Maan en uit  $-37^\circ$  voor de westelijke zijde. In de vaargeul richting binnenhaven, georiënteerd volgens  $-37^\circ$ , is het golfpatroon voor bovenvermelde golfrichtingen zeer gelijkaardig.

Het verlagen van de gesimuleerde significante golfhoogte  $H_{m0}$  en  $-$ periode  $T_p$  zorgt vnl. voor een ander diffractiepatroon ter hoogte van de havendammen. De hieraan gerelateerde kortere golflengte, i.e.  $L = 122$  m in vergelijking tot  $L = 139$  m voor 1000-jarige storm, resulteert in minder diffractie en dus lagere golfhoogtes in de schaduwzones achter de havendammen. Op de variërende en ondieper wordende bathymetrie in deze zones verandert bijgevolg de refractie.

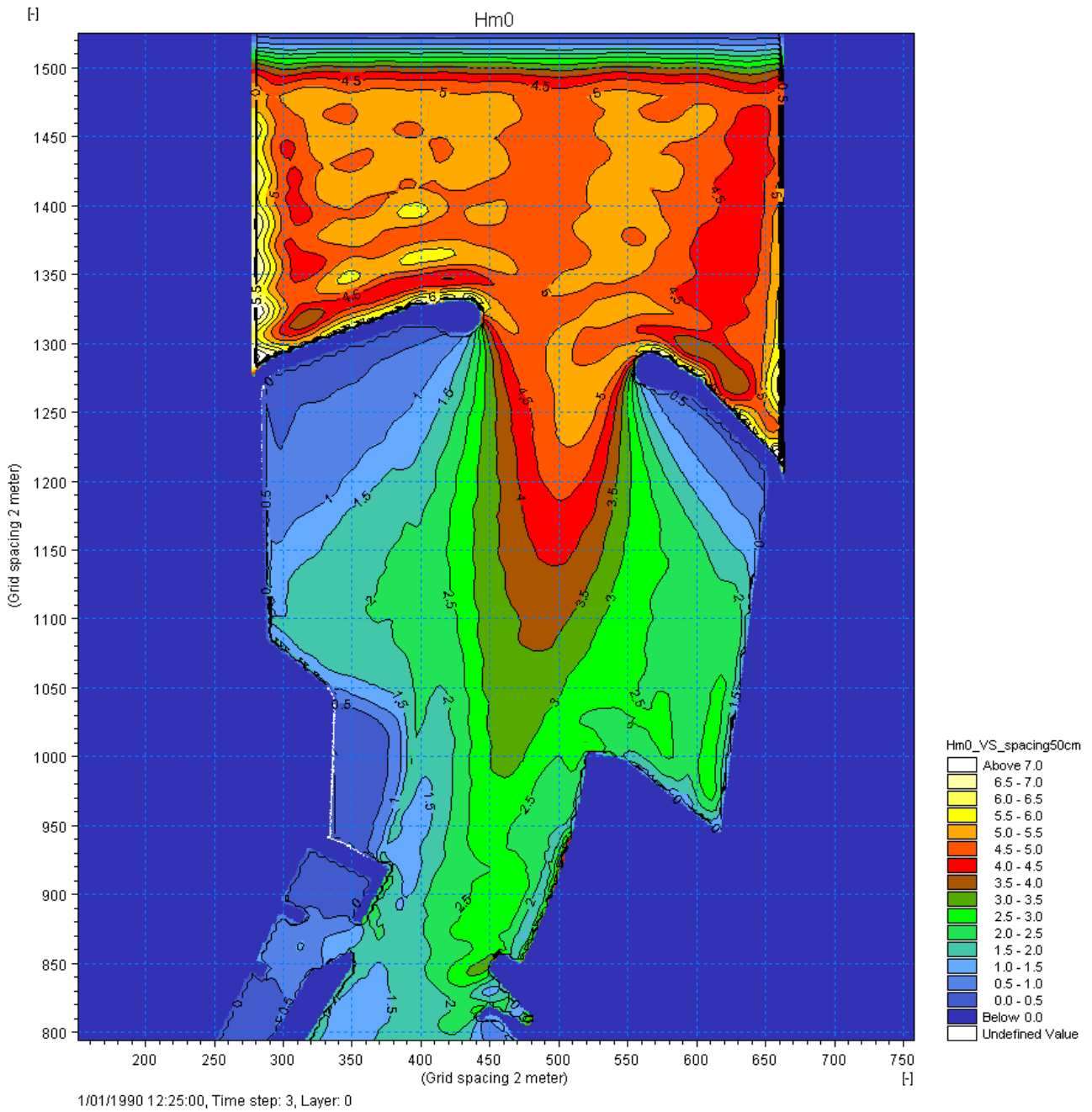
Er zijn drie belangrijke bemerkingen bij deze resultaten. Een eerste algemene bemerking betreft de aftopping van de Halve Maan (zie ook Sectie 3.1). Het hoger afsnijden van het talud langs de Halve Maan leidt vermoedelijk niet tot meer golfbreking ter hoogte van het talud ( $H_{m0} / d_{talud} = 4.83 \text{ m} / 3.2 \text{ m} = 1.5 > 0.6$ ) maar verandert wel de partiële reflectie en refractie (in vergelijking tot een minimale waterdiepte van 4 m).

Een tweede bemerking betreft de resultaten voor golfrichtingen NW en  $-37^\circ$ . Om numerieke stabiliteit te verkrijgen in deze simulaties dienden meerdere sponslagen (6-tal gridcellen) toegevoegd te worden ter hoogte van de noordelijke zijde en de bovenste helft van de westelijke zijde langs de Halve Maan. Deze sponslagen zorgen voor extra dissipatie waardoor minder golfenergie gereflecteerd wordt en dus lagere golfhoogtes optreden langs de site. In Figuur 2 en Figuur 3 is hun locatie af te leiden door het ontbreken van hogere golfhoogtes tegen de rand van de Halve Maan.

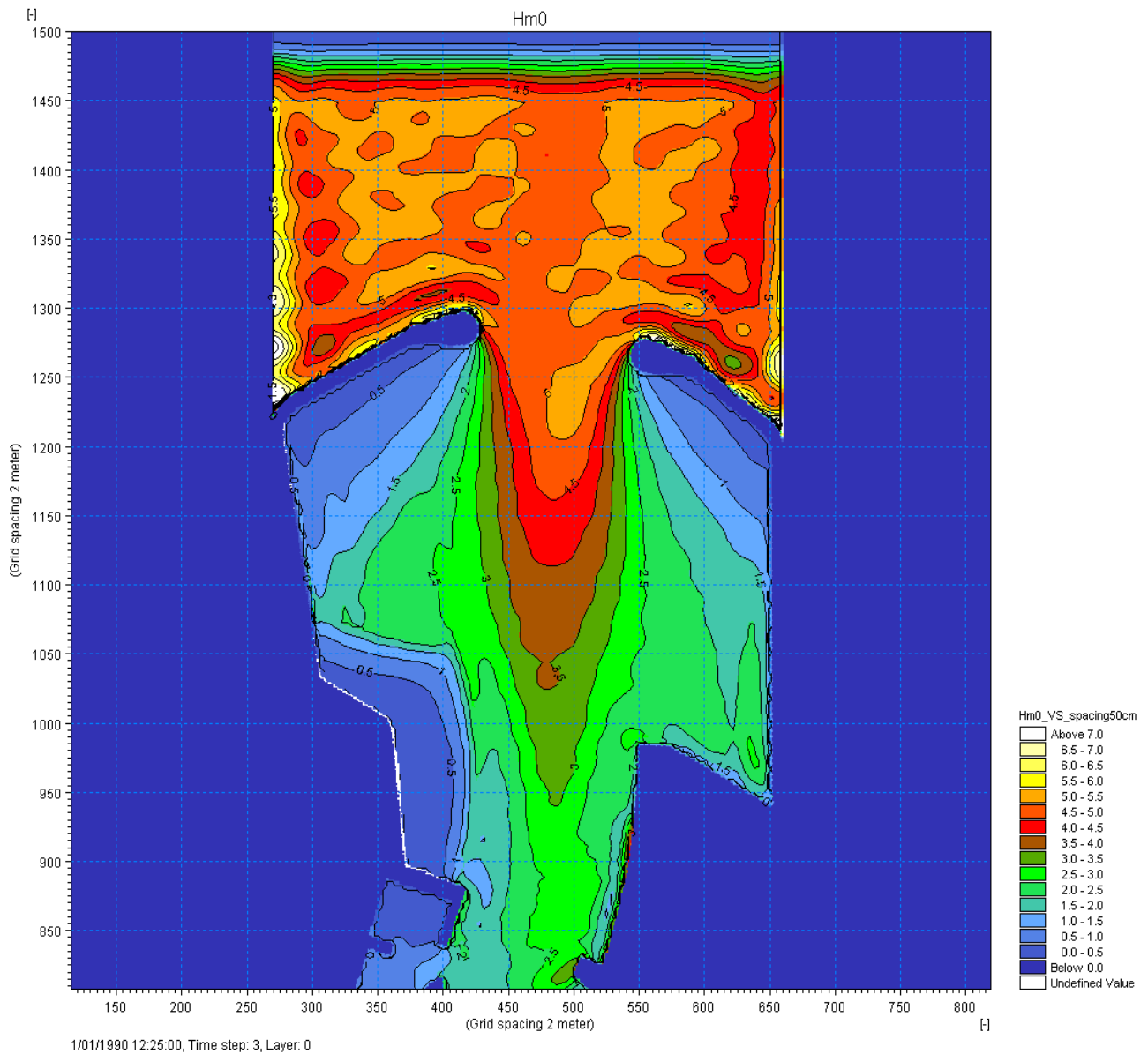
Een derde bemerking betreft de resultaten voor golfrichting NNW. Voor deze simulatie zijn initieel geen sponslagen toegevoegd ter hoogte van de Halve Maan. Dit leidde tot numerieke instabiliteit, waardoor geopteerd is voor een iets kortere simulatieduur van 21.83 min (in plaats van de toevoeging van sponslagen). Het uitvoeren van simulaties met deze kortere simulatieduur voor golfrichtingen NW en  $-37^\circ$  duidt aan dat de significante golfhoogte  $H_{m0}$  in het frequentiedomein hierdoor gemiddeld resp. 8% en 3% wordt onderschat, en  $H_s$  in het tijdsdomein gemiddeld resp. 3% en 1% wordt onderschat.



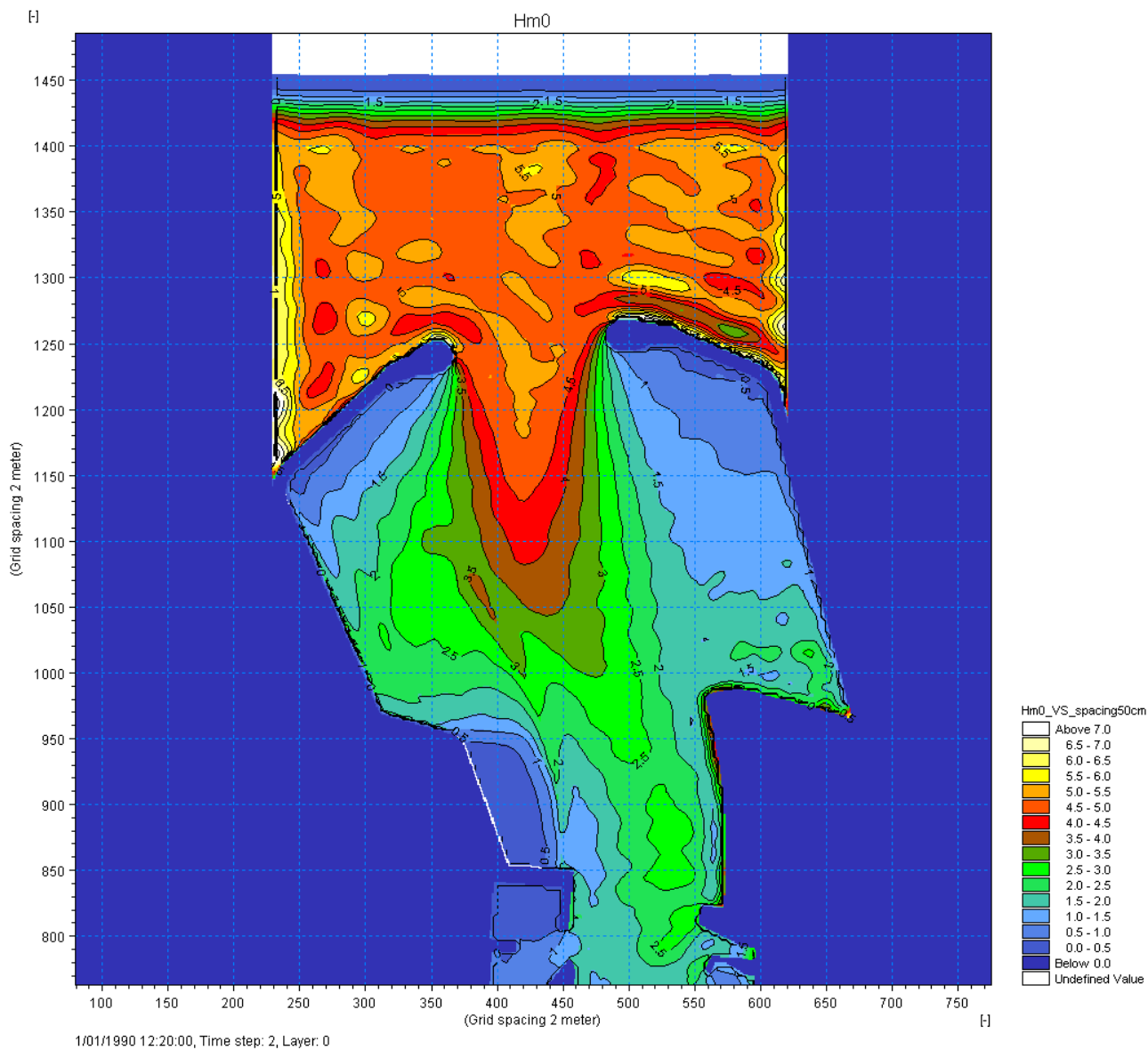
Figuur 2 - Contourplot significante golfhoogte  $H_{m0,G}$  na 100-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NW



Figuur 3 - Contourplot significante golfhoogte  $H_{m0,G}$  na 100-jarige storm met kortkruinige golven uit richting -37°



Figuur 4 - Contourplot significante golfhoogte  $H_{m0,GI}$  na 100-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NNW



### 3.3 Significante golfhoogte $H_{m0,GI}$ langs contouren Halve Maan na 100 en 1000-jarige storm met kortkruinige golven

Figuur 5, Figuur 6 en Figuur 7 geven de resulterende significante golfhoogte  $H_{m0,GI}$  weer langs een binnen- en buitencontour ter hoogte van de Halve Maan na simulatie van een 100- en 1000-jarige storm met kortkruinige golven komende uit de hoofdgolfrichtingen NW,  $-37^\circ$  en NNW respectievelijk. De locatie van de contouren is terug te vinden in Vanneste *et al.* (2016) en De Roo *et al.* (2016b).

In het algemeen resulteren de simulaties van een 100-jarige storm in gelijkaardige of iets lagere significante golfhoogtes  $H_{m0,GI}$  langs de contouren in vergelijking tot de 1000-jarige storm. Voor golfrichting NNW is het verschil tussen beiden het opmerkelijkst; dit is de golfrichting waarbij het effect van de directionele spreiding van de golven het grootst is en dus het verschil in diffractie en refractie ook.

Voor de noordelijke zijde en de bovenste helft van westelijke zijde van de Halve Maan resulteert de hoogste significante golfhoogte  $H_{m0,GI}$  langs de contouren uit simulaties met 1000-jarige kortkruinige golven komende uit (hoofd)golfrichtingen NW en  $-37^\circ$  respectievelijk. Het verschil tussen beide golfrichtingen is evenwel klein, alsook met de 100-jarige waarden.

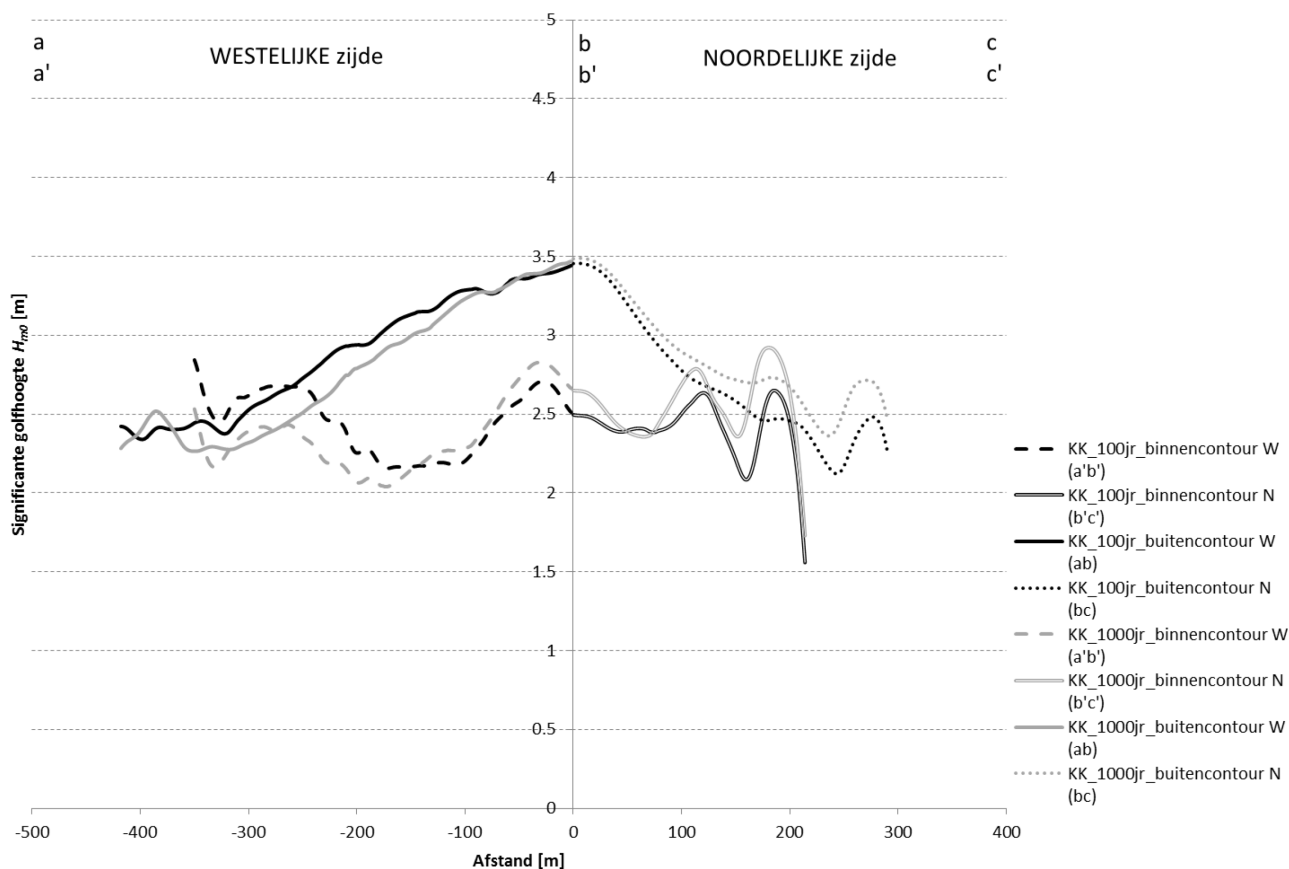
Verder langs de westelijke zijde naar de binnenhaven toe is de significante golfhoogte  $H_{m0,GI}$  resulterend uit simulaties met 100-jarige kortkruinige golven iets hoger aangezien kortere golven gemakkelijker binnendringen in de haven.

Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 vatten de belangrijkste golfparameters samen op verschillende locaties voor golfrichtingen NW,  $-37^\circ$  en NNW respectievelijk. De locatie van de golfhoogtemeters (meetfrequentie 20Hz) is te vinden in Figuur 2 t.e.m. Figuur 4 in De Roo *et al.*, 2016b. De kortere simulatieduur (21.83 min) voor golfrichting NNW resulteert in een 20-tal golven minder in vergelijking tot de andere golfrichtingen NW en  $-37^\circ$ . De resultaten van de simulaties met deze kortere simulatieduur voor golfrichtingen NW en  $-37^\circ$  zijn tussen haakjes getabelleerd.

Tijdreeksanalyse van de waterspiegelverheffingen bevestigt dat de piekgolfperiode  $T_p$  nagenoeg niet wijzigt ten opzichte van de opgelegde piekgolfperiode  $T_p = 10.85$ s. Het kleine verschil tussen de getabelleerde waarden en de opgelegde  $T_p$  is te wijten aan de keuze van het aantal FFT blokken in de frequentiedomein analyse.

De combinatie van golfindringing en lokaal gegenereerde windgolven resulteert in een totale significante golfhoogte  $H_{m0,tot}$  die bekomen wordt door sommatie van de significante golfhoogtes. Er zijn echter geen SWAN resultaten beschikbaar voor een storm met terugkeerperiode  $T = 100$  jaar zodat de totale significante golfhoogte  $H_{m0,tot}$  niet berekend is.

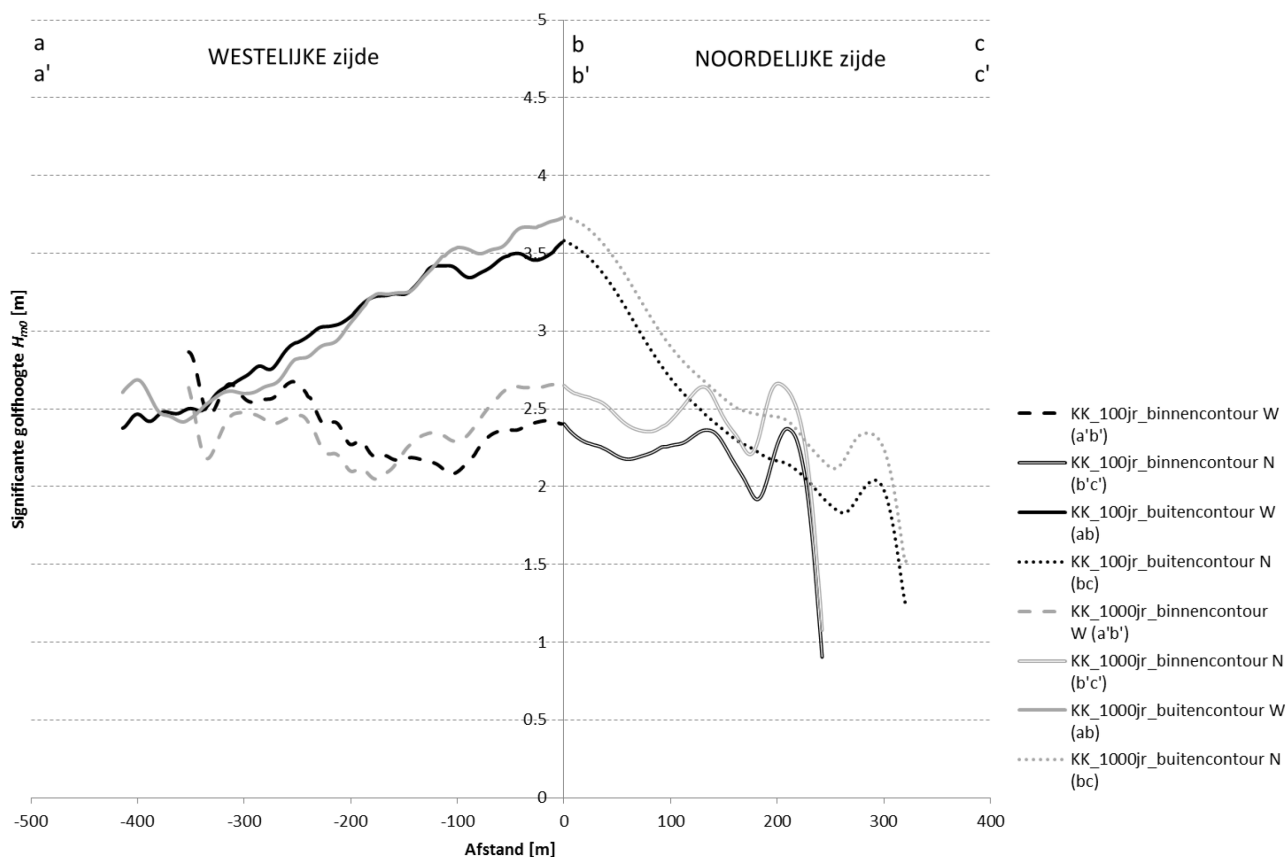
Figuur 5 - Significante golfhoogte  $H_{m0,G}$  langs binnen- en buitencontour t.h.v. Halve Maan na 100- en 1000-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NW



Tabel 3 - Golfparameters op verschillende locaties (golfrichting NW) (tussen haakjes: simulatieduur: 21.83min)

Golfhoogtemeter	Frequentiedomein					Tijdsdomein	
	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	$T_{m-1,0}$ [s]	$T_{m0,1}$ [s]	$T_{m0,2}$ [s]	# golven	$H_s$ [m]
OFF	4.85 (4.52)	11.38	10.12	9.31	8.94	163 (141)	4.77 (4.81)
D1	2.77 (2.57)	11.38	10.13	8.95	8.52	159 (141)	2.80 (2.76)
D3	2.37 (2.18)	10.50	9.77	7.91	7.25	184 (152)	2.35 (2.22)
D5	2.42 (2.18)	10.50	9.58	7.67	6.98	180 (161)	2.41 (2.19)
D7	2.76 (2.52)	10.50	10.12	8.96	8.53	159 (140)	2.82 (2.71)
D8	3.24 (2.95)	10.50	10.01	9.02	8.61	158 (136)	3.26 (3.16)
N1	2.36 (2.20)	10.50	10.33	8.51	7.84	154 (127)	2.50 (2.44)
N2	2.35 (2.32)	10.50	10.12	8.16	7.50	160 (126)	2.43 (2.42)

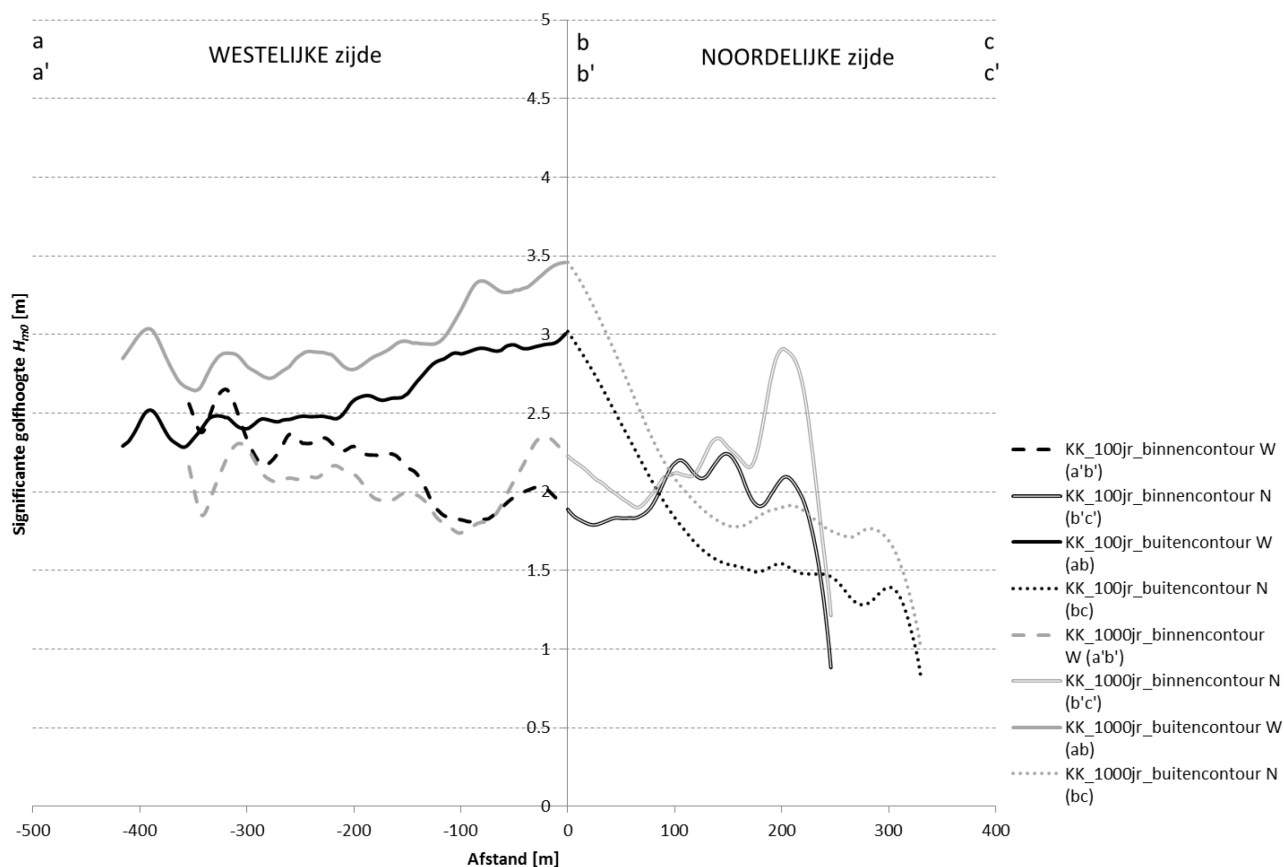
Figuur 6 - Significante golfhoogte  $H_{m0,Gl}$  langs binnen- en buitencontour t.h.v. Halve Maan na 100- en 1000-jarige storm met kortkruinige golven uit richting -37°



Tabel 4 - Golfparameters op verschillende locaties (golfrichting -37°) (tussen haakjes: simulatieduur: 21.83min)

Golfhoogtemeter	Frequentiedomein					Tijdsdomein	
	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	$T_{m-1,0}$ [s]	$T_{m0,1}$ [s]	$T_{m0,2}$ [s]	# golven	$H_s$ [m]
OFF	4.60 (4.47)	10.24	9.97	9.10	8.70	163 (141)	4.60 (4.62)
D1	2.88 (2.79)	11.38	9.95	8.85	8.42	164 (141)	2.85 (2.84)
D2	2.50 (2.38)	10.78	9.76	8.26	7.67	174 (152)	2.46 (2.34)
D3	2.63 (2.49)	10.78	9.10	7.12	6.39	192 (161)	2.58 (2.49)
D4	3.06 (2.96)	11.38	10.17	9.19	8.77	160 (140)	3.08 (3.04)
D5	2.58 (2.50)	11.38	10.35	9.23	8.81	157 (136)	2.61 (2.59)
N1	2.30 (2.24)	11.38	10.64	9.58	9.18	154 (133)	2.29 (2.29)
N2	2.11 (2.04)	11.38	10.63	8.90	8.24	149 (127)	2.22 (2.26)
N3	2.26 (2.22)	11.38	9.92	7.78	7.03	148 (126)	2.44 (2.48)

Figuur 7 - Significante golfhoogte  $H_{m0,Gl}$  langs binnen- en buitencontour t.h.v. Halve Maan na 100- en 1000-jarige storm met kortkruinige golven uit richting NNW



Tabel 5 - Golfparameters op verschillende locaties (golfrichting NNW)

Golfhoogtemeter	Frequentiedomein					Tijdsdomein	
	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	$T_{m-1,0}$ [s]	$T_{m0,1}$ [s]	$T_{m0,2}$ [s]	# golven	$H_s$ [m]
OFF	5.01	11.38	10.01	9.20	8.81	142	4.92
D1	2.73	11.38	10.51	9.53	9.10	133	2.73
D2	2.48	11.38	10.49	9.25	8.73	133	2.32
D3	2.50	11.38	9.81	7.87	6.99	149	2.46
D4	2.92	12.05	10.42	9.46	9.01	132	2.93
D5	2.48	11.70	10.46	9.44	8.94	135	2.43
N1	1.48	11.70	11.07	9.62	8.84	132	1.51
N2	1.65	11.70	10.80	9.46	8.84	129	1.68
N3	1.60	11.70	10.84	9.29	8.49	134	1.61

## 4 Besluit

Volgend op Vanneste et al., 2016 en De Roo et al., 2016b zijn in dit advies 3 bijkomende simulaties uitgevoerd met MIKE21-BW voor een 100-jarige storm met kortkruinige golfindringing. Hierbij lag de focus op het resulterende golfklimaat ter hoogte van de Halve Maan site. Bemerk dat dit lokale golfklimaat bestaat uit invallende en gereflecteerde golven.

Het verlagen van de gesimuleerde significante golfhoogte  $H_{m0}$  en  $T_p$  ten opzichte van de 1000-jarige hydraulische randvoorwaarden zorgt vnl. voor een ander diffractiepatroon ter hoogte van de havendammen. De hieraan gerelateerde kortere golflengte resulteert in minder diffractie en dus lagere golfhoogtes in de schaduwzones achter de havendammen.

Voor de noordelijke zijde en de bovenste helft van westelijke zijde van de Halve Maan resulteert de hoogste significante golfhoogte  $H_{m0,G1}$  uit simulaties met 1000-jarige kortkruinige golven komende uit (hoofd)golfrichtingen NW en  $-37^\circ$  respectievelijk. Het verschil tussen beide golfrichtingen is evenwel klein, alsook met de 100-jarige waarden.

Verder langs de westelijke zijde naar de binnenhaven toe is de significante golfhoogte  $H_{m0,G1}$  resulterend uit simulaties met 100-jarige kortkruinige golven uit deze (hoofd)golfrichtingen iets hoger aangezien kortere golven gemakkelijker binnendringen in de haven.

Belangrijk hierbij op te merken is dat:

- (i) de aftopping van het 1/3 talud van de Halve Maan zodat een minimale waterdiepte van 3.2m behouden blijft, leidt tot een onderschatting van de lokale golfhoogtes.
- (ii) het toevoegen van meerdere sponslagen aan de noordelijke en deels de westelijke zijde van de Halve Maan (voor de golfrichtingen NW en  $-37^\circ$ ) zorgt voor een irreëel hoge dissipatie van de golfenergie en dientengevolge een onderschatting van de lokale golfhoogtes.



## 5 Referenties

**De Roo, S.; Trouw, K.; Ruiz Parrado, I.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016a). Het Hydraulisch randvoorwaardenboek (2014). *WL Rapporten*, 14\_014. Fides Engineering: Antwerpen

**De Roo, S.; Vanneste, D.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016b). Golfklimaat ter hoogte van de Halve Maan (haven Oostende). Kort- en langkruinige golfkarakteristieken en reflectie-analyse. *WL Adviezen*, 16\_069. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

**Gruwez, V.; Bolle, A.; Hassan, W.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2011). Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens: deel 1. Haven van Oostende. *WL Rapporten*, 769\_03. IMDC: Antwerpen

**IMDC.** (2005). Hydraulisch randvoorwaardenboek Vlaamse Kust.

**Vanneste, D. ; De Roo, S. ; Peeters, P. ; Mostaert, F.** (2016). Golfrandvoorwaarden Halve Maan, haven Oostende. *WL Adviezen*, 16\_051. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**  
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

[waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)