

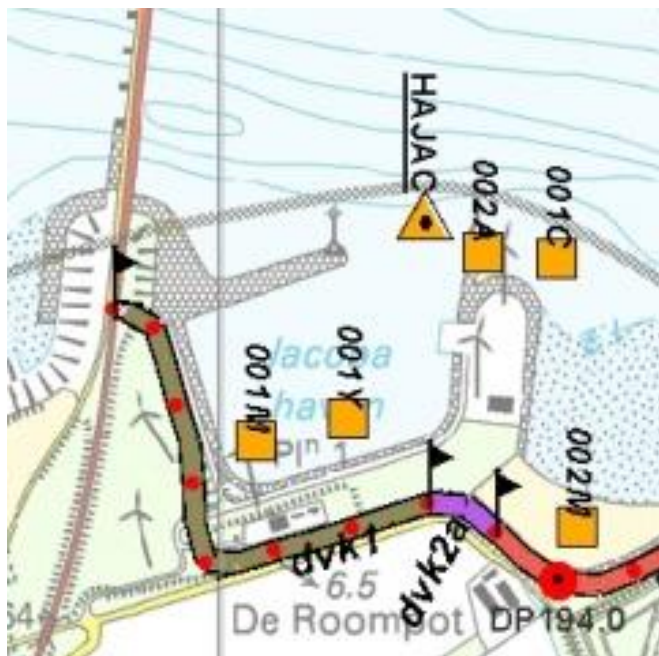
## Mantel 2012.13 HARES berekeningen Jacobahaven

Aan	:	Yvo Provoost (Projectbureau Zeeweringen)
Van	:	Pol van de Rest en Bernard Eikema (Svašek Hydraulics)
Gecontroleerd	:	Dennis Hordijk (Royal Haskoning DHV)
Datum	:	14 januari 2013
ref	:	1587/U12370/C/PvdR
betreft	:	Mantel 2012.13C HARES berekeningen Jacobahaven
status	:	Definitief

### 1 Inleiding

Momenteel is Projectbureau Zeeweringen bezig met het ontwerp van de steenbekleding van de waterkering in de omgeving van de Jacobahaven. Bij het ontwerp van de steenbekleding worden golfcondities gebruikt, welke zijn bepaald op basis van SWAN berekeningen. De resultaten van "Golfberekeningen Oosterschelde, Rapport RIKZ/2001.006" [ref 1], vormen de basis voor de golfbelastingen die gebruikt worden bij het ontwerp. Deze zijn naar aanleiding van nieuwe inzichten op het gebied van transmissie van golfenergie door de Oosterscheldekering, herzien in 2005 [ref 2].

De resultaten van de SWAN berekeningen worden ten behoeve van het ontwerp van steenbekledingen omgezet naar een viertal verschillende tabellen met golfbelastingen voor verschillende bekledingstypen. Daarbij worden golfbelastingen bepaald voor de waterstanden NAP+0m/+2m/+3m en +4m, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende dijkvakken. De aanpak die daarbij wordt gevolgd is beschreven in het zogenaamde Kookboek [ref 3 en 4] en de resultaten worden per ontwerptraject beschreven in een detailadvies.



Figuur 1: Ligging dijkvakken

Het meest recente detailadvies waarin de golfbelastingen in de omgeving van de Jacobahaven zijn beschreven is het advies "Maria-, Anna Friso en Jacobapolder, inclusief Sophiahaven en Roompot" [ref 5]. Projectbureau Zeeweringen heeft echter gevraagd dit advies te herzien, omdat

er recent aangescherpte correctiefactoren zijn bepaald voor de compensatie van de onnauwkeurigheid van het golfmodel SWAN [ref 6].

De eerder voor de Jacobahaven in het detailadvies afgegeven golfbelastingen komen overeen met dijkvak 1, waarbij het uitvoerpunt '001Y' hoort (voor ligging zie Figuur 1). De uitvoerpunten '001C en '002A' behoren bij dijkvak 2a, dat achter de oostelijke havendam langs loopt. De randvoorwaarden van dit vak kunnen echter ook worden gebruikt voor het ontwerp van de voorliggende dam. In dit advies zullen er echter golfcondities worden afgeleid voor de gehele oostelijke havendam, waarbij dijkvak 2a in vier aparte dijkvakken wordt opgeknipt (zie Figuur 7).

De golfbelastingen van dijkvak 1, zoals beschreven in het meest recente advies [ref 5] zijn vrij hoog, zeker gezien de beschutte ligging achter in de haven en ver verwijderd van diepe geulen. Projectbureau Zeeweringen heeft daarom gevraagd na te gaan of de golfcondities op basis van een meer gedetailleerde studie aangescherpt kunnen worden, hierbij bij voorkeur zoveel mogelijk uitgaande van de standaard werkwijze [ref 5 en 6].

## 2 Situatiebeschrijving

De Jacobahaven bevindt zich direct ten zuidoosten van de Oosterscheldekering (zie figuur 2). De haven wordt beschermd door een tweetal dammen, welke hier de noordelijke en oostelijke dam worden genoemd. De noordelijk gelegen dam is een relatief lage en smalle dam en bestaat uit losse breuksteen. De kruin van deze dam ligt op NAP+0m tot NAP+0.5m. De oostelijke dam bestaat uit een plateau van circa 100 meter breed. De kruin van de dam ligt op ca. NAP+5.0m. De bekleding van het dijktralud bestaat grotendeels uit Haringmanblokken.

Beide dammen zijn niet ontworpen op golfbelastingen met een overschrijdingsfrequentie van eens per 4000 jaar. Projectbureau Zeeweringen is echter van plan de oostelijke dam te versterken, waardoor het golfreducerende effect van deze dam meegenomen kan worden bij de berekening van de golfbelastingen in de haven. De noordelijke dam wordt niet versterkt.



Figuur 2: Situatie Jacobahaven (Bron: Google Earth)

## 3 Analyse

Uit analyse van de SWAN bodembestanden blijkt dat de noordelijke dam geen onderdeel is van de bodemschematisatie, maar de oostelijke dam wel. Daarbij is de oostelijke dam meegenomen als een oneindig hoog element, waarover geen transmissie plaatsvindt. Dit is opvallend, omdat langs de Ooster –en Westerschelde vrijwel geen dammen onderdeel zijn van de bodem. Wat

verder opvalt is dat het uitvoerpunt van dijkvak 1 (uitvoerpunt '001Y') zich in de haven bevindt, terwijl uitvoerpunten normaliter in de monding van een haven worden gelegd. Dit uitvoerpunt kan niet representatief zijn voor de gehele haven, omdat bijvoorbeeld verder ten westen van dit uitvoerpunt de golfcondities hoger kunnen zijn bij oostelijke windrichtingen t.o.v. dit uitvoerpunt.

In Figuur 3 is de Jacobahaven weergegeven, waarbij met rood de modelrand wordt aangegeven van het SWAN-model en met geel de randvoorwaardenrand. Door de zogenaamde randvoorwaardenrand kan golfenergie van de Noordzee via de kering de Oosterschelde bereiken. Deze randvoorwaardenrand moet zich dus bevinden ter plaatse van de doorstroombopeningen van de kering. Het lijkt er echter op dat de modelrand te ver zuidelijk is doorgezet (ca. 170m). Indien de golven inderdaad op deze wijze worden gemodelleerd wordt er ten onrechte golfenergie vanaf de Noordzee naar de Oosterschelde doorgegeven over het met de pijl aangegeven gebied. Hierdoor worden de golfcondities in de omgeving van de Jacobahaven overschat.

De SWAN-resultaten bij de open delen van de kering (bijvoorbeeld het met de rode punt aangegeven locatie) kunnen echter wel gebruikt worden om vanaf deze locatie de golven door te vertalen naar de waterkering in de haven. Bij de advisering aan Projectbureau Zeeweringen wordt (bij doorvertaling van golven<sup>1</sup>) over het algemeen de spreadsheet "Rekeninstrument - Golfbelasting in Havens - v2-0.xls" [ref 7] gebruikt, wat als een grove methode wordt beschouwd. De golfcondities in de haven zijn eerst bepaald met deze spreadsheet [ref 11]. Deze spreadsheet neemt echter alleen processen zoals diffractie en transmissie mee en houdt geen rekening met golfbreking, refractie en reflectie. Aangezien deze processen in deze specifieke situatie juist van belang zijn neemt de golfhoogte vanaf de Oosterscheldekering richting de haven volgens de genoemde rekenmethode nauwelijks af.

Het is daarom van belang dat bij doorberekening van de golfcondities vanaf de kering naar de dijk in de haven de relevant geachte processen worden meegenomen, te weten: refractie, diffractie, golfbreking en lokale golfgroei. Er is daarom gekozen gedetailleerde berekeningen uit te voeren met het golfmodel HARES (zie paragraaf 4). Daarbij worden er met HARES golfcondities in de Jacobahaven bepaald, maar ook voor de oostelijke dam (dijkvak 2a).



**Figuur 3: Jacobahaven (Geel = randvoorwaardenrand en rood is modelrand)**

<sup>1</sup> Meestal betreft het doorberekening van golven in de monding van een haven naar de dijk in de haven. Opgemerkt moet worden dat in dit geval ook een doorvertaling van de golven van de kering naar de monding moet worden gemaakt, omdat ter plaatse van de monding de golfcondities (welke volgen uit SWAN) waarschijnlijk ook worden overschat.

## 4 Golfberekeningen HARES

### 4.1 Processen

#### 4.1.1 Algemeen

Voor de doorvertaling van de golven vanaf dieper water naar de achterliggende waterkering in de haven wordt het numerieke golfmodel HARES gebruikt. De volgende processen worden in de berekening meegenomen: refractie, diffractie, golfbreking, bodemwrijving, reflectie, richtingspreiding en lokale golfgroei. Dit betreffen allemaal processen welke dienen voor de doorvertaling van de golfhoogte ( $H_s$ ). De golfperiode en de golfrichting worden niet doorvertaald. Met betrekking tot de golfperiode is het aannemelijk dat deze niet veel veranderd bij voortplanting richting de dijk. De golfrichting wordt bij het ontwerp van steenzettingen bij het projectbureau Zeeweringen als loodrecht invallend verondersteld. De golfrichting kan wel uit de HARES-uitvoer wordt geneerd, maar is niet in dit advies opgenomen.

Refractie, diffractie, golfbreking, bodemwrijving, reflectie en richtingspreiding worden in HARES berekend. Lokale golfgroei wordt niet in het model meegenomen, maar in een nabewerking apart bij de golfcondities opgeteld. Golftransmissie is in dit geval niet relevant en wordt buiten beschouwing gelaten.

#### 4.1.2 Lokale golfgroei

De golfhoogte door lokale golfgroei kan bepaald worden met Bretschneider, waarbij deze afhankelijk is van de windsnelheid, waterdiepte en strijklengte. De windsnelheden zijn afhankelijk van de windrichting en volgen uit [ref 1]. De waterdiepte is afhankelijk van de waterstand en bodemligging, waarbij een bodemligging is aangenomen van NAP -3 m. De strijklengte is per uitvoerpunt en windrichting bepaald. Het effect van lokale golfgroei wordt bij de uitkomsten volgend uit HARES kwadratisch opgeteld om de golfcondities ter plaatse van de uitvoerpunten te bepalen, namelijk:

$$H_{s\_totaal} = \sqrt{H_{s\_HARES}^2 + H_{s\_lokale\_golfgroei}^2}$$

Lokale golfgroei blijkt een verhoging van de golfhoogte te geven van maximaal 0.19 m, maar gemiddeld gezien slechts ca. 0.05 m.

### 4.2 HARES Modelbeschrijving

HARES is een 2-dimensionaal numeriek model voor de bepaling de van golfvoortplanting van korte golven in bijvoorbeeld havenbekkens. Het model is gebaseerd op de 2D Mild-Slope vergelijking en bevat de fysische processen diffractie, refractie, reflectie, shoaling, bodemwrijving, golfbreking en richtingspreiding [ref. 8].

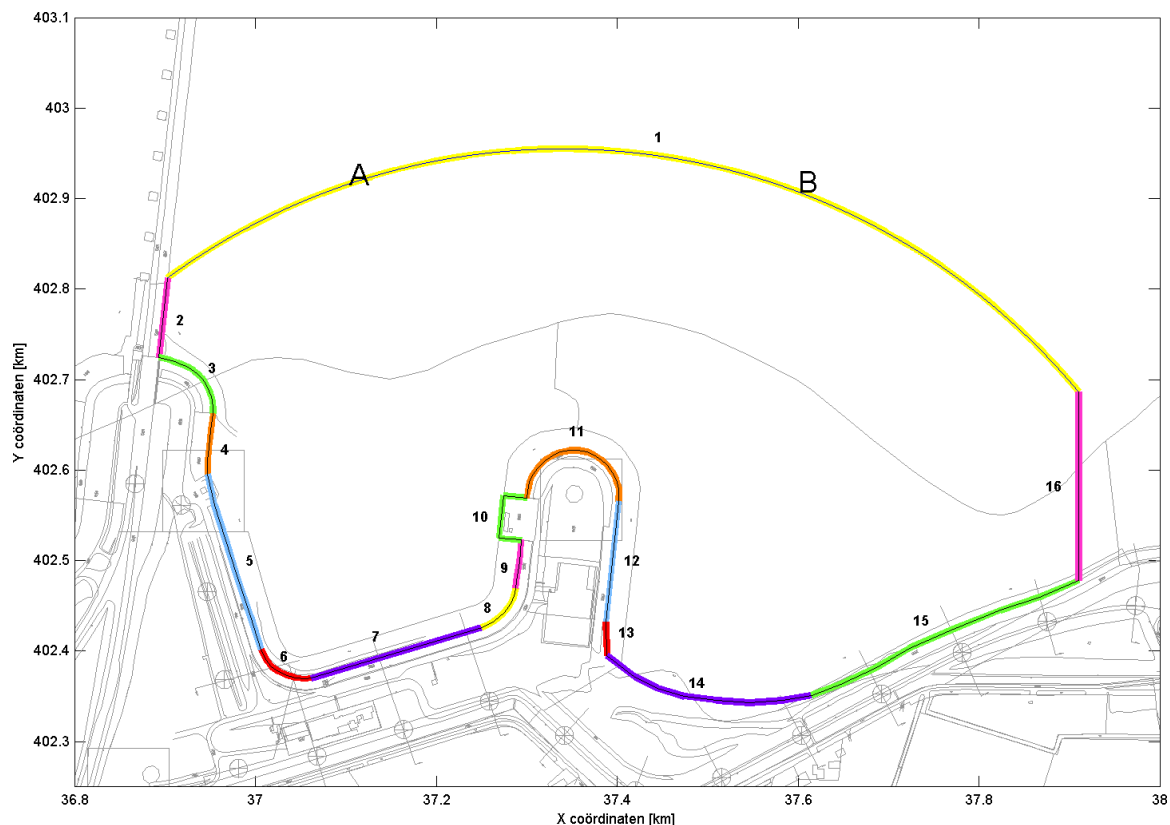
HARES is ontwikkeld door Svašek Hydraulics van het begin van de tachtiger jaren van de vorige eeuw tot aan vandaag de dag. Het model is bijzonder bruikbaar in haven en golfbreker optimalisatie studies en voor de bepaling van natuurlijke frequentie van havenbekkens. Op de bodemwrijving en golfbreking na is HARES een lineair model dat gebruik maakt van de eindige elementen methode. Kenmerkend voor deze methode is dat het modelgebied is opgedeeld in een aantal driehoekige elementen. De grootte en vorm van deze elementen kunnen variëren binnen het model waardoor specifieke kenmerken van een havenbekken gemakkelijk in het model kunnen worden opgenomen.

De model invoer bestaat uit de inkomende golf (golfhoogte en –periode en golfrichting), bodemligging in het modelgebied, de waterstand en de reflectie coëfficiënten van de rand

elementen. Voor elke harmonische inkomende golf berekent HARES vervolgens het lokale golfklimaat.

#### 4.3 Modelgebied en modelranden

Voor de berekening van de golfdoordringing in de Jacobahaven is een HARES model opgezet. Het modelgebied met de verschillende modelranden is weergegeven in figuur 4. In het modelgebied zijn 16 modelranden onderscheiden, deze zijn samengevat in tabel 1. Tevens zijn het talud en de taludbekleding rond de waterlijn gegeven.

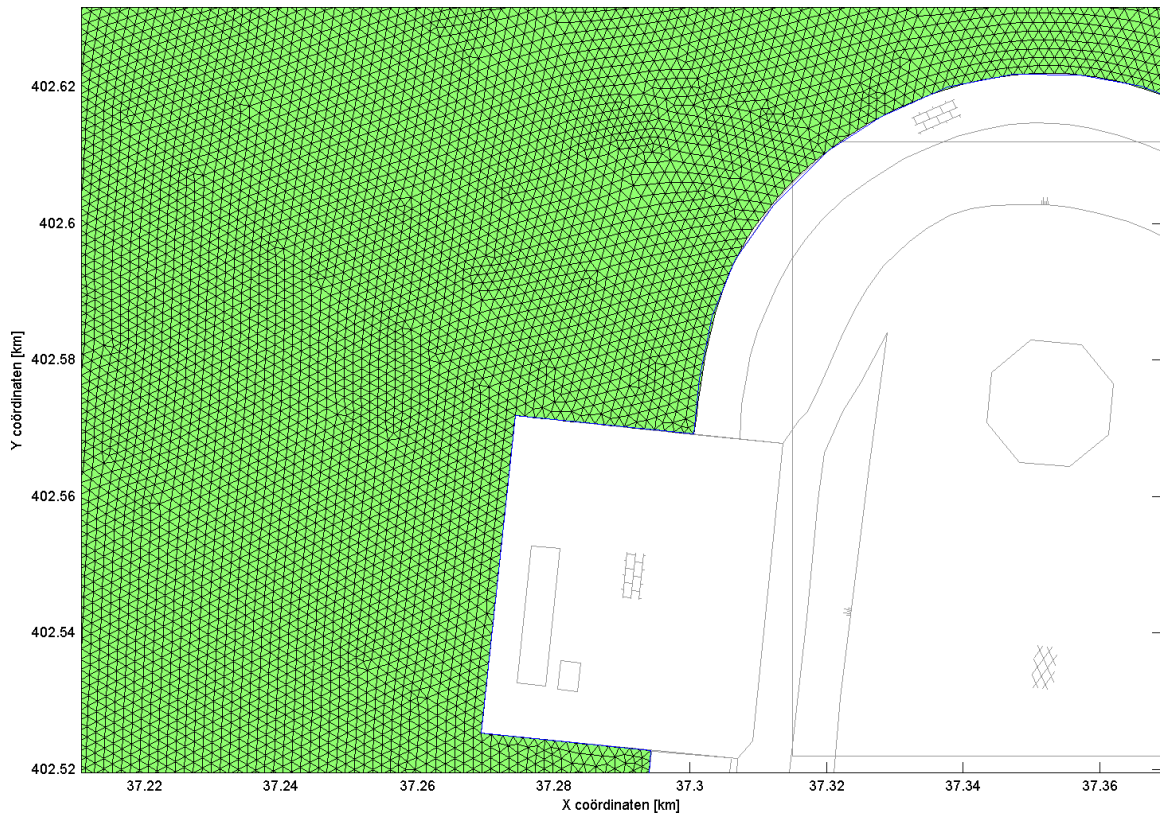


**Figuur 4: Modelschematisatie Jacobahaven**

Modelrand	Type rand	Talud	Reflectie coëfficiënt
1	golfrand	n.v.t.	n.v.t.
2 t/m 9	Haringmanblokken	1:3	0,4
10	damwand	n.v.t.	0,9
11 t/m 13	Haringmanblokken	1:3	0,4
14	strand	1:10	0,1
15	Haringmanblokken	1:3	0,4
16	open	n.v.t.	0,0

**Tabel 1: De verschillende modelranden**

Het modelgebied bestaat uit elementen (roostercellen) die in grootte variëren van 1,5m tot 3,0m (afhankelijk van de golfperiode). In figuur 5 is een voorbeeld te zien van een detail van het rooster met elementen van 1,5 meter.



**Figuur 5: Detail rekenrooster (gridgrootte 1,5m).**

#### 4.4 Golfrandvoorwaarden

##### 4.4.1 Golfrandvoorwaarden modelrand

De golfrandvoorwaarden op de HARES modelrand volgen uit de golfcondities zoals berekend met SWAN [ref. 1 en 2]. Daarvoor zijn een tweetal uitvoerpunten (A en B) gecreëerd, welke zijn weergegeven in figuur 4. Voor de (noord-) westelijke windrichtingen (270 t/m 330) is het meest westelijke gelegen uitvoerpunt (A) vlakbij de kering gebruikt (X=37104; Y=402926) en voor de noord en oostelijke windrichtingen (360 t/m 90) een uitvoerpunt (B) wat meer richting het oosten ligt (X=37600; Y=402918). De betreffende golfcondities zijn weergegeven in tabel 2 en 3.

De golfcondities volgen uit de zogenaamde Blockfiles, waarin het ruimtelijk verloop van de golfhoogte ( $H_s$ ) en golfperiode ( $T_p$ ) is weergegeven [ref. 1 en 2]. De golfcondities zijn vervolgens gecorrigeerd met de meest recente modelcorrecties [ref. 10], om te corrigeren voor de afwijking van het golfmodel SWAN. De  $T_p$  uit de blockfiles is gecorrigeerd op basis van de correctiefunctie die geldt voor  $T_{m-1.0}$ , omdat de periodemaat  $T_{m-1.0}$  niet gegeven is in de blockfiles. Als periodemaat is in alle gevallen  $T_p$  in plaats van  $T_{pm}$  gebruikt, omdat  $T_{pm}$  niet beschikbaar is in de blockfiles. Er wordt dus verondersteld dat  $T_p$  gelijk is aan  $T_{pm}$ .

De golfcondities bij een open Oosterscheldekering (waterstanden NAP +0m, +2m en +3m) zijn daarnaast gecorrigeerd voor stroming, waarbij de golfcondities zijn gecorrigeerd voor de stromingscorrectie [ref 5, 6] van dijkvak 1 (stromingscorrectie:  $H_s$  met 0,057m en  $T_{pm}$  met 0,142s).

Windrichting (°) nautisch	Hs [m]				Tpm [s]				Golfrichting (°)			
	bij waterstand t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP				nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
270	2,46	2,86	3,14	0,44	6,38	7,16	7,16	1,70	286	286	286	270
285	2,54	2,95	3,21	0,46	6,38	7,16	7,16	1,90	291	291	291	304
300	2,49	2,92	3,18	0,54	6,38	7,16	7,16	2,45	297	297	297	328
315	2,22	2,67	2,92	0,59	6,38	7,16	7,16	2,78	303	302	302	347
330	1,89	2,35	2,60	0,68	6,38	7,16	7,16	3,14	311	309	308	6

**Tabel 2<sup>2</sup>: Golfcondities zeezijde golfrand HARES voor windrichtingen 270 t/m 330 (gebaseerd op uitvoerpunt A)**

Windrichting (°) nautisch	Hs [m]				Tpm [s]				Golfrichting (°)			
	bij waterstand t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP				nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
360	1,02	1,06	1,08	1,18	3,55	4,50	4,98	5,06	29	32	32	37
30	1,24	1,43	1,53	1,54	4,50	5,06	5,34	5,06	55	55	55	55
60	1,64	1,81	1,90	1,95	5,69	5,69	5,69	5,69	71	67	67	66
90	1,55	1,71	1,79	1,89	5,69	5,69	5,69	6,38	79	76	76	74

**Tabel 3: Golfcondities zeezijde golfrand HARES voor windrichtingen 360 t/m 90 (gebaseerd op uitvoerpunt B)**

De HARES berekeningen zijn uitgevoerd voor 9 verschillende windrichtingen (270 t/m 90 graden voor 4 verschillende waterstanden (NAP+0m/+2m/+3m en +4m). Voor de (noord-) westelijke windrichtingen (270 t/m 330) zijn geen berekeningen gemaakt bij een waterstand van NAP+4m, omdat bij die waterstand de kering gesloten is, waardoor deze windrichtingen niet maatgevend kunnen zijn direct achter de kering. Het totaal aantal door te rekenen situaties komt daarmee op 31. Aangezien elke situatie bestaat uit een elftal HARES runs, is het aantal HARES-berekeningen gelijk aan 341.

#### 4.4.2 Richtingspreiding

De richtingspreiding voor de golfcondities is geschematiseerd door de golfenergie te verdelen over de hoofdrichting en de richtingen tot 25 graden aan weerszijden van de hoofdrichting, met een interval van 5 graden. De totale energie is hierbij 100%. De richtingspreiding voor de dagelijkse en extreme condities is 25° ( $m=4,2$ ). Om deze richtingspreiding in de modellering op te nemen is een elftal HARES runs gecombineerd. Elke richting levert zijn eigen aandeel aan de golfenergie. In tabel 4 zijn de verschillende runs en hun aandeel in de golfenergie weergegeven.

<sup>2</sup> Opvallend is dat de golfperiode in de tabellen 2 en 3 in veel gevallen gelijk is bij verschillende windrichtingen en daarnaast voor verschillende waterstanden. Dit wordt veroorzaakt doordat uit de golfspectra welke volgen uit SWAN een soort van periodenklassen worden bepaald (meestal frequentiebanden genoemd).

Run	Golfrichting t.o.v. de hoofdrichting HARES	Percentage golfenergie
1	- 25°	7.01%
2	- 20°	8.16%
3	-15°	9.16%
4	- 10°	9.94%
5	-5°	10.43%
6	Hoofdrichting	10.60%
7	+ 5°	10.43%
8	+ 10°	9.94%
9	+ 15°	9.16%
10	+ 20°	8.16%
11	+ 25°	7.01%

**Tabel 4: Toegepaste richtingsverspreiding in de HARES berekeningen**

De verschillende HARES runs (n) kunnen, op basis van de lineaire golftheorie, als volgt worden opgeteld:

$$H_{s\_samengesteld} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \text{percentage}_i \cdot H_{s,i}^2}$$

#### 4.5 Reflectie coëfficiënten

Reflectie van golven is afhankelijk van de golfsteilheid, de taludhelling en het materiaal van de aanwezige constructies. Een talud van losse breuksteen zal bijvoorbeeld veel minder golfenergie reflecteren dan een talud van gezette steen en veel minder dan een damwand.

Voor de bepaling van de reflectie coëfficiënten is gebruik gemaakt van de Shore Protection Manual, figuur 2-65. Deze figuur is weergegeven in appendix 1, hierin is de reflectie coëfficiënt X gegeven als functie van de Iribarren parameter  $\xi$ .

Deze Iribarren parameter is gedefinieerd als:

$$\xi = \frac{1.0}{\cot\theta \sqrt{H_i/L_0}}$$

Met:  $\theta$  = steilheid talud

$H_i$  = inkomende golfhoogte

$L_0$  = diep water golflengte

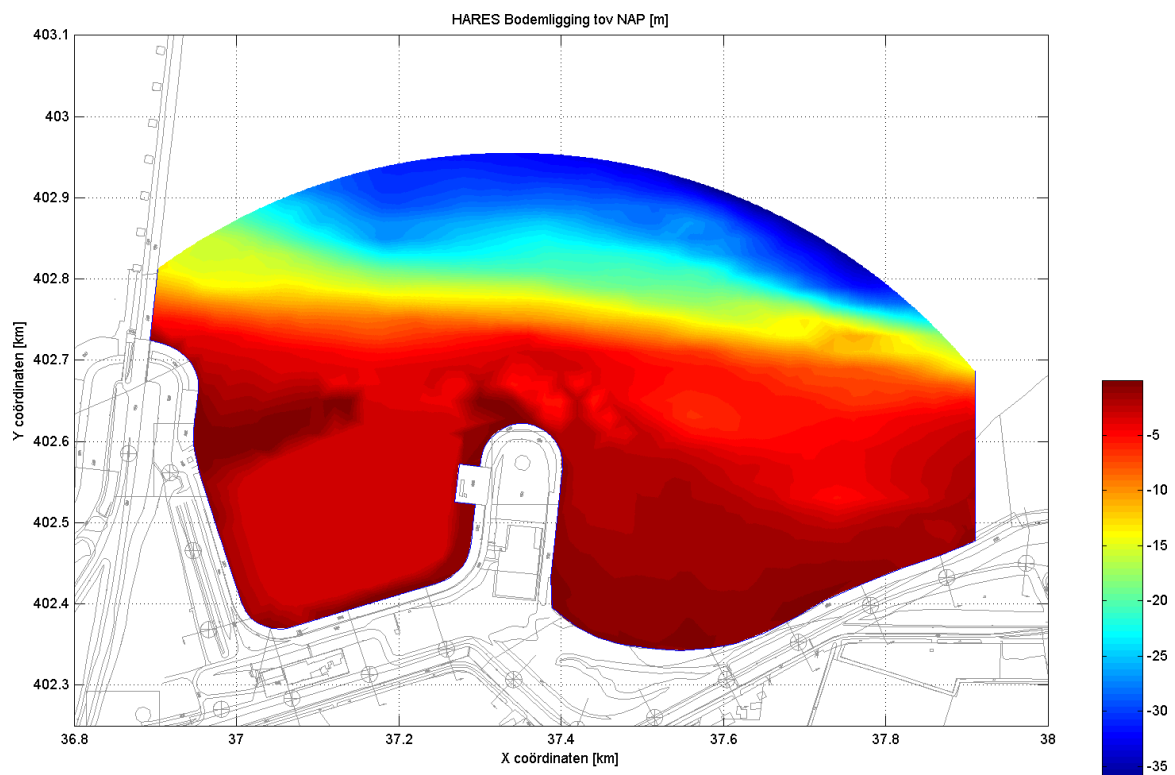
Voor de bepaling van de reflectie coëfficiënt is de lokale golfhoogte voor het talud nodig. Voor deze HARES berekeningen is een lokale golfhoogte van 1,00 á 1,50 meter aangehouden. De resulterende reflectie coëfficiënten zijn weergegeven in tabel 1.

#### 4.6 Bodemligging

De bodemligging in het modelgebied is weergegeven in figuur 6. De diepte in de Jacobahaven is op NAP-3m aangenomen, gelijk aan de bodem in de monding van de haven. Voor de noordelijke dam is een maximale hoogte van NAP aangehouden in overleg met projectbureau Zeeweringen.



Deze dam is weliswaar niet bestand tegen maatgevende condities met een kans van voorkomen van eens per 4000 jaar, maar deze dam van 35 meter breedte zal ook niet geheel kunnen verdwijnen tijdens een maatgevende storm. Er wordt aangenomen dat deze dam niet verder af zal slaan dan NAP. Opgemerkt moet worden dat indien er een lagere damhoogte wordt aangehouden dat dit voor de waterstanden NAP+3m en NAP+4m nauwelijks effect zal hebben op de golfcondities in de haven, omdat deze golven niet dieptebeperkt zijn bij voorplanting over deze dam. Voor lagere waterstanden heeft een lagere dam wel enigszins effect op de golfcondities in de haven. Echter bij deze waterstanden zijn de golfbelastingen aanzienlijk lager en wordt niet verwacht dat de dam afslaat tot onder NAP.

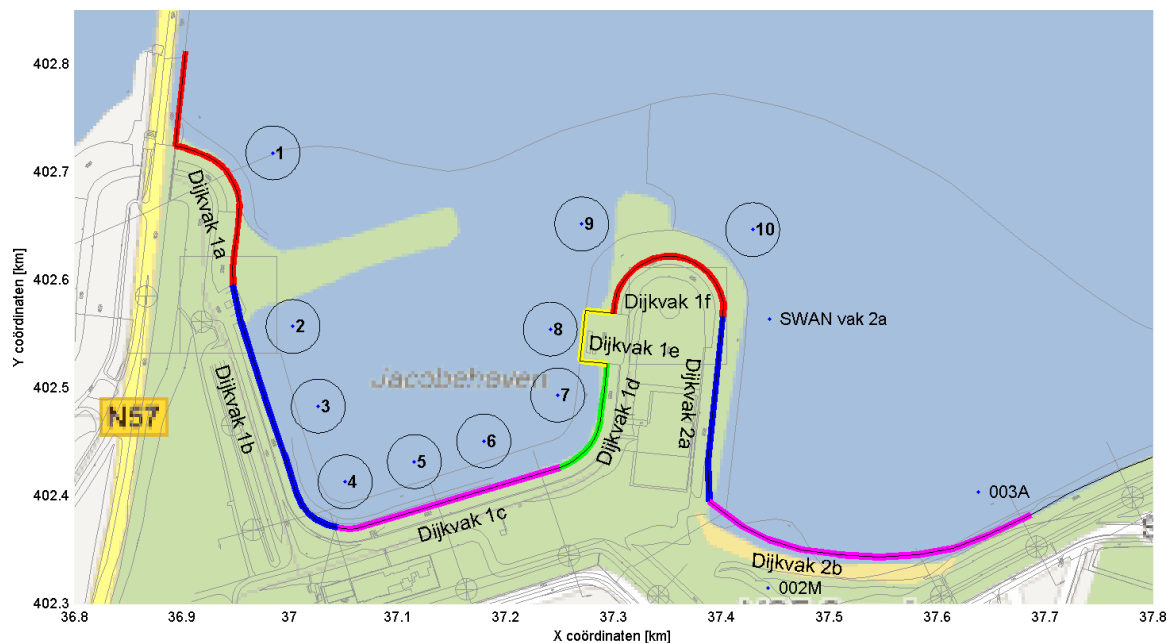


**Figuur 6: Toegepaste bodemligging**

#### 4.7 Uitvoerpunten en dijkvakken

In de omgeving van de Jacobahaven zijn een tiental verschillende HARES-uitvoerpunten gecreëerd, welke vervolgens zijn samengevoegd tot een zestal dijkvakken. Deze uitvoerpunten dienen voor bepaling van de golfcondities voor de dijkvakken 1a t/m 1f (zie Figuur 7). Uitvoerpunt 1 behoort bij dijkvak 1a, de uitvoerpunten 2 t/m 4 bij vak 1b, de uitvoerpunten 4 t/m 6 bij vak 1c, uitvoerpunt 7 bij dijkvak 1d, uitvoerpunt 8 bij dijkvak 1e (de damwand) en de uitvoerpunten 9 en 10 bij vak 1f. De ligging van de uitvoerpunten en dijkvakken is weergegeven in Figuur 7.

De golfcondities voor de dijkvakken 2a en 2b wordt bepaald op basis van SWAN-berekeningen [ref 3 en 4]. Daarbij is voor dijkvak 2a een nieuw SWAN-uitvoerpunt gecreëerd ( $X=37445$ ,  $Y=402564$ ). Daarnaast zijn de grenzen van dijkvak 2a gewijzigd ten opzichte van het meest recente advies [ref 5], omdat de oostelijke dam onderdeel wordt van de dijkversterking. Voor de oostelijke dam zijn vier verschillende dijkvakken gecreëerd, welke het oorspronkelijke dijkvak 2a vervangen (vergelijk Figuur 1 met Figuur 7). Voor dijkvak 2b worden de bestaande SWAN-uitvoerpunten '002M' en '003A' gebruikt, overeenkomstig het vorige advies [ref 5].



**Figuur 7: Ligging uitvoerpunten en grenzen dijkvakken**

## 5 Resultaten HARES golfberekeningen

De ruimtelijke verdeling van een aantal HARES berekeningen is weergegeven in de Appendices 2.1 t/m 2.6, namelijk voor de windrichtingen 270, 300, 330, 360, 30 en 60 graden, allen bij de waterstand NAP+3m. Voor de 10 uitvoerlocaties, gedefinieerd als cirkels met een diameter van 50 meter, is de gemiddelde golfhoogte per cirkel bepaald. Alle uitvoerlocaties zijn ook steeds weergegeven in de appendices met de ruimtelijke verdeling van de HARES resultaten. Alle gepresenteerde golfhoogtes in de haven zijn nog exclusief de lokale windgroei. De lokale golfgroei is in een nabewerking kwadratisch bij de HARES golfcondities opgeteld. In de figuren van Appendices 2.1 t/m 2.6 is dezelfde schaalverdeling gebruikt, om de figuren onderling goed te kunnen vergelijken.

De volgende stappen zijn gevolgd om tot de tabellen 5.1 t/m 5.4 te komen:

- Gecorrigeerde golfcondities op de modelrand (zie tabel 2 en 3) zijn met behulp van HARES doorvertaald van diep water naar de waterkering in de haven (en de directe omgeving) voor 31 verschillende situaties (9 windrichtingen en 3 of 4 waterstanden). Aangezien elke situatie bestaat uit een elftal HARES runs, is het aantal HARES-berekeningen gelijk aan 341.
- De verschillende HARES runs worden vervolgens op basis van de lineaire golftheorie opgeteld (zie paragraaf 4.4). Deze uitvoer is te zien in de figuren van Appendices 2.1 t/m 2.6.
- Voor 10 gedefinieerde uitvoerlocaties (zie figuur 7), gedefinieerd als cirkels met een diameter van 50 meter, is vervolgens de gemiddelde golfhoogte per cirkel bepaald voor de 31 beschouwde situaties.
- Het effect van lokale golfgroei wordt bij de uitkomsten volgend uit HARES kwadratisch opgeteld (zie paragraaf 4.1.2) voor de 31 beschouwde situaties voor 10 verschillende uitvoerpunten.
- Vervolgens zijn met behulp van vier verschillende belastingfuncties [ref 9] de maatgevende golfcondities in de uitvoerpunten bepaald (per waterstand) op basis van alle berekende waarden voor de golfhoogte en de golfperiode). Dit resulteert in een

viertal tabellen met golfcondities, welke behoren bij verschillende bekledingstypen en faalmechanismen (zie Appendix 3).

- Met behulp van de maatgevende golfcondities per uitvoerpunt gebruikmakende van de vier belastingfuncties [ref 9] zijn vervolgens de maatgevende golfcondities per dijkvak bepaald (zie de tabellen 5.1 t/m 5.4). Voor het ontwerp dient per bekledingstypen en/of faalmechanisme dan ook een afzonderlijke tabel toegepast te worden.

Tabel 5.1 is maatgevend voor (gekantelde) betonblokken en patroon gepenetreerde breuksteen, Tabel 5.2 voor betonzuilen, Tabel 5.3 voor het mechanisme afschuiving en de bekledingstypen WAB, OSA en vol en zat gepenetreerde breuksteen en Tabel 5.4 voor losse breuksteen van de kreukelberm.

Dijk- vak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP				Tpm [s] bij waterstand t.o.v. NAP				Windrichting (°) nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
	1a	1,07	1,27	1,34	1,48	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330
1b	0,74	0,90	1,07	1,36	5,69	5,69	5,69	6,38	60	60	60	90
1c	0,74	1,06	1,33	1,03	5,69	7,16	7,16	6,38	60	330	330	90
1d	1,04	1,36	1,47	1,10	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
1e	0,91	1,06	1,33	1,03	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
1f	1,40	1,90	2,12	1,47	6,38	7,16	7,16	6,38	300	300	300	90

**Tabel 5.1: Maatgevende golfcondities voor (gekantelde) betonblokken en patroon gepenetreerde breuksteen**

Dijk- vak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP				Tpm [s] bij waterstand t.o.v. NAP				Windrichting (°) nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
	1a	1,09	1,30	1,40	1,48	5,69	5,69	5,69	5,69	60	60	60
1b	0,74	0,90	1,07	1,36	5,69	5,69	5,69	6,38	60	60	60	90
1c	0,74	1,06	1,33	1,15	5,69	7,16	7,16	5,69	60	330	330	60
1d	1,04	1,36	1,47	1,13	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
1e	0,91	1,06	1,33	1,15	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
1f	1,40	1,90	2,12	1,62	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60

**Tabel 5.2: Maatgevende golfcondities voor betonzuilen**

Dijk- vak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP				Tpm [s] bij waterstand t.o.v. NAP				Windrichting (°) nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
	1a	1,09	1,30	1,40	1,48	5,69	5,69	5,69	5,69	60	60	60
1b	0,74	0,90	1,09	1,36	5,69	5,69	5,34	6,38	60	60	30	90
1c	0,74	1,06	1,33	1,15	5,69	7,16	7,16	5,69	60	330	330	60
1d	1,04	1,36	1,47	1,13	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
1e	0,91	1,06	1,33	1,15	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
1f	1,40	1,90	2,12	1,47	6,38	7,16	7,16	6,38	300	300	300	90

Tabel 5.3: Maatgevende golfcondities voor afschuiving, WAB, OSA en vol en zat gepenetreerde breuksteen

Dijk- vak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP				Tpm [s] bij waterstand t.o.v. NAP				Windrichting (°) nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
	1a	1,07	1,27	1,34	1,48	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330
1b	0,74	0,90	1,07	1,36	5,69	5,69	5,69	6,38	60	60	60	90
1c	0,74	1,06	1,33	1,15	5,69	7,16	7,16	5,69	60	330	330	60
1d	1,04	1,36	1,47	1,10	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
1e	0,91	1,06	1,33	1,15	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
1f	1,40	1,90	2,12	1,62	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60

Tabel 5.4: Maatgevende golfcondities voor losse breuksteen kreukelberm

Uit tabel 5.1 t/m 5.4 blijkt dat bij een waterstand van NAP+4m in alle gevallen de windrichtingen 60 of 90 graden maatgevend zijn. (Noord-) westelijke richtingen kunnen bij deze waterstand niet maatgevend zijn doordat de kering dan gesloten is.

Bij de dijkvakken 1a en 1c varieert de maatgevende windrichting tussen 330 en 60 graden bij de waterstanden NAP+0m/+2m en +3m. Voor de dijkvakken 1d, 1e en 1f bij de waterstanden NAP+0m/+2m en +3m zijn de windrichtingen 300 of 330 graden maatgevend, doordat deze dijkvakken minder beschermt liggen voor golven uit (noord-)westelijke windrichtingen. Bij dijkvak 1b zijn bij deze waterstanden juist (noord-)oostelijke windrichtingen maatgevend, doordat dit dijkvak erg beschermt ligt voor golven uit (noord-)westelijke windrichtingen.

In een aantal gevallen is de golfhoogte en/of golfperiode bij NAP +3m hoger dan bij NAP +4m (zie oranje arcering in de Tabellen 5.1 t/m 5.4). Dit komt omdat bij NAP +4m de Oosterscheldekering is gesloten. Daarnaast is bij dijkvak 2 bij de maatgevende golfcondities voor afschuiving, WAB, OSA en vol en zat gepenetreerde breuksteen (Tabel 5.3) de golfperiode hoger bij een waterstand van NAP +2m in vergelijking met NAP +3m (oranje gearceerd). Dit wordt veroorzaakt doordat bij een hogere waterstand een andere windrichting maatgevend wordt.

De golfcondities van de dijkvakken 2a en 2b, welke zijn gebaseerd op SWAN-berekeningen, worden niet beschreven in dit advies. Deze worden beschreven in het nog te herziene advies "Maria-, Anna Friso en Jacobapolder, inclusief Sophiahaven en Roompot" [ref 5]. Projectbureau Zeeweringen heeft gevraagd dat advies te herzien, omdat er recent aangescherpte correctiefactoren zijn bepaald voor de compensatie van de onnauwkeurigheid van het golfmodel SWAN [ref 6]. Daarnaast wordt de nieuwe dijkvakindeling (zoals bepaald in dit advies, zie Figuur 7) in de omgeving van de Jacobahaven beschreven.

## Referenties

- [1.] Kamsteeg, A.T. et al: '*Golfberekeningen Oosterschelde*', RIKZ/2001.006
- [2.] Alkyon: '*Update golfcondities RAND2001 beïnvloedingsgebied OS-kering, Herberekening westelijke winden*', d.d. augustus 2005, Alkyonrapport.
- [3.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: '*Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 1A van 3: Checklist detailadviezen vanaf april 2010*', d.d. 23 februari 2011
- [4.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: '*Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 2 van 3: Achtergrond detailadviezen*', d.d. 23 februari 2011
- [5.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: '*2010.19C\_Update detailadvies Maria-, Anna Friso en Jacobapolder, inclusief Sophiahaven en Roompot*', d.d. 1 november 2010, kenmerk: 1605/U10283/C/PvdR.
- [6.] Svašek Hydraulics, van de Rest, P.: '*Memo afleiding correctiewaarden Oosterschelde*', d.d. 4 september 2012, kenmerk: 1665/U12188/B/PvdR.
- [7.] RIKZ: '*Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebieden*' RIKZ\2004.001, d.d. 15 februari 2004.
- [8.] Svašek Hydraulics: '*HARES – Numerical model for the determination of wave penetration in harbour basins – Validation report (rev. 2)*', november 2012, kenmerk: 1331/05490/C/BE
- [9.] Svašek Hydraulics, van de Rest, P.: '*Memo Nieuwe belastingfuncties steenbekledingen*' d.d. 18 januari 2010, PvdR/09358/1573/D.
- [10.] Svašek Hydraulics, van de Rest, P.: '*Update correctiewaarden Zeeland*', d.d. november 2010, kenmerk: 1585/U10250/D/PvdR.
- [11.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: '*2012.13A\_Golfrandvoorwaarden Jacobahaven*' (*havenberekening volgens VTV-methode*), d.d. 22 november 2012, CONCEPT,

## APPENDICES

Appendix 1	Golf reflectie coëfficiënten	Blz 15
Appendix 2.1	HARES resultaten voor windrichting 270°N en waterstand NAP+3m	16
Appendix 2.2	HARES resultaten voor windrichting 300°N en waterstand NAP+3m	17
Appendix 2.3	HARES resultaten voor windrichting 330°N en waterstand NAP+3m	18
Appendix 2.4	HARES resultaten voor windrichting 360°N en waterstand NAP+3m	19
Appendix 2.5	HARES resultaten voor windrichting 30°N en waterstand NAP+3m	20
Appendix 2.6	HARES resultaten voor windrichting 60°N en waterstand NAP+3m	21
Appendix 3	Samenvattende tabel HARES resultaten	22

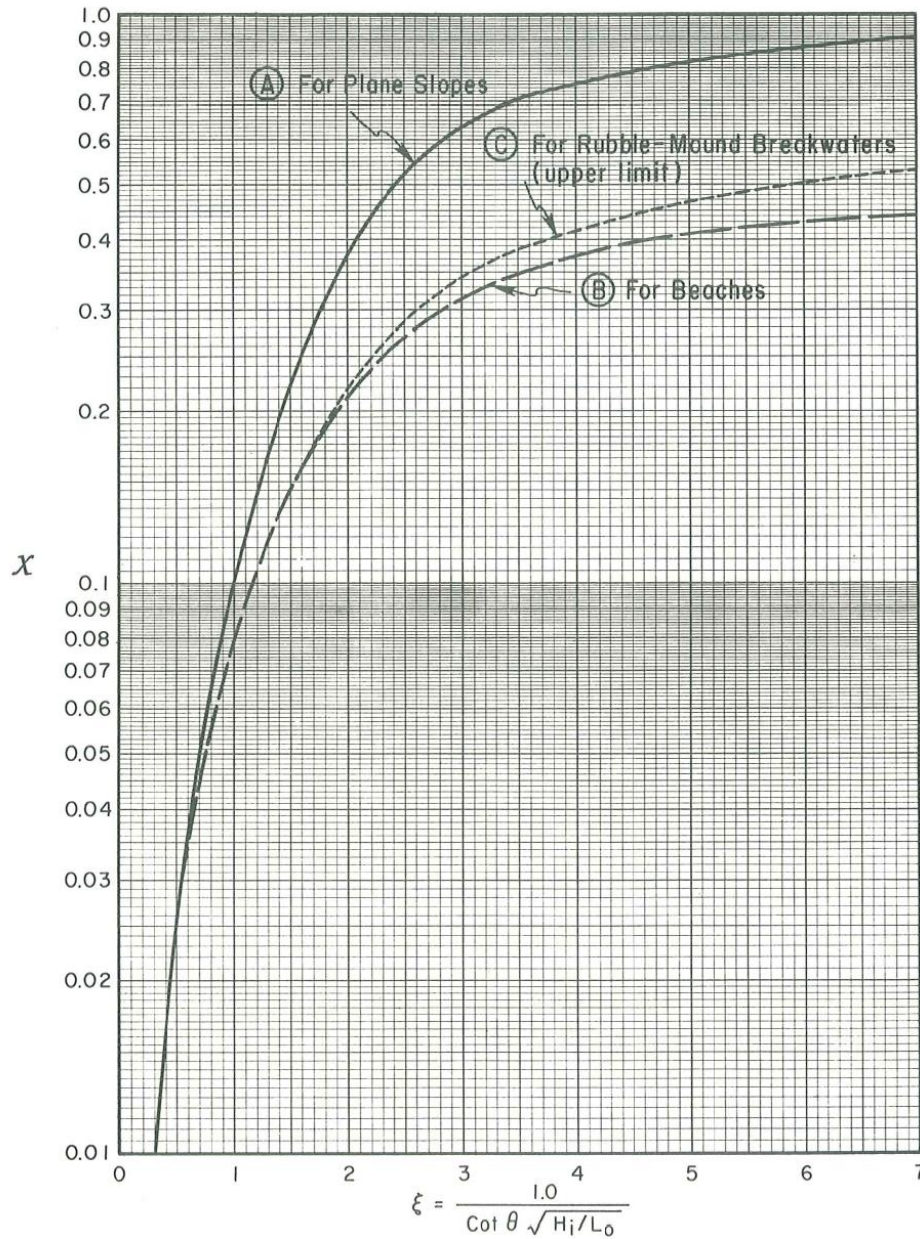
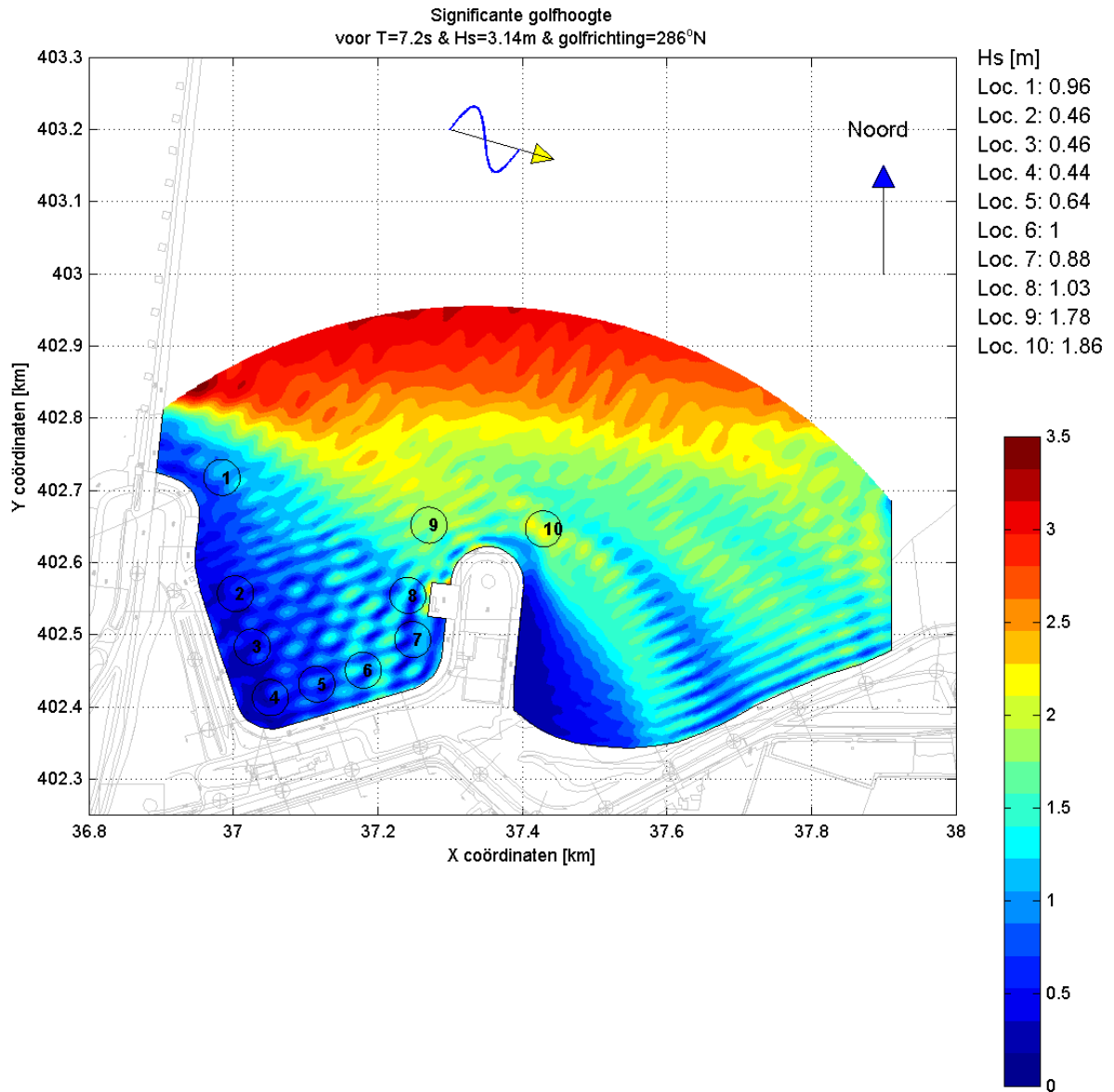
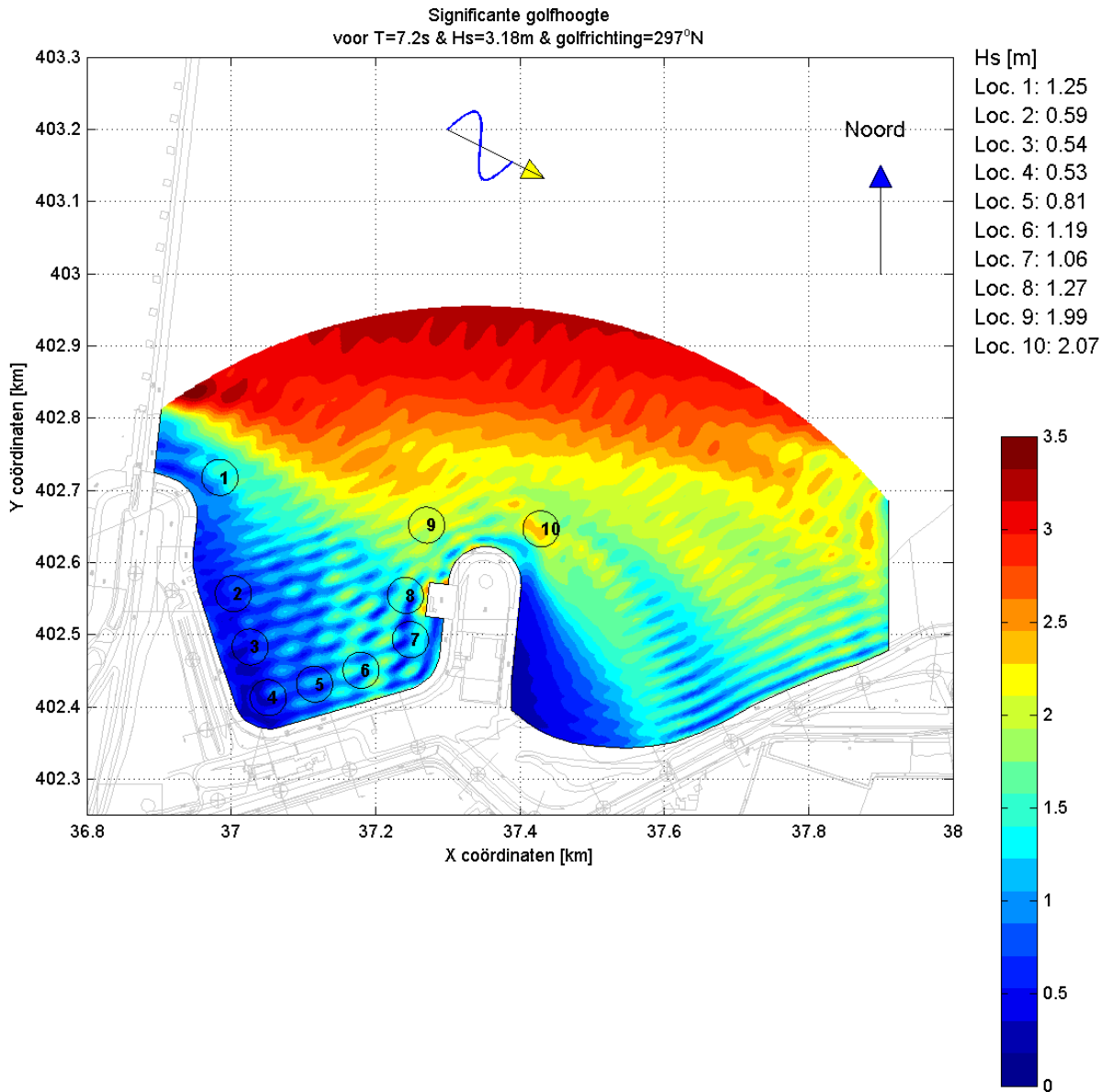
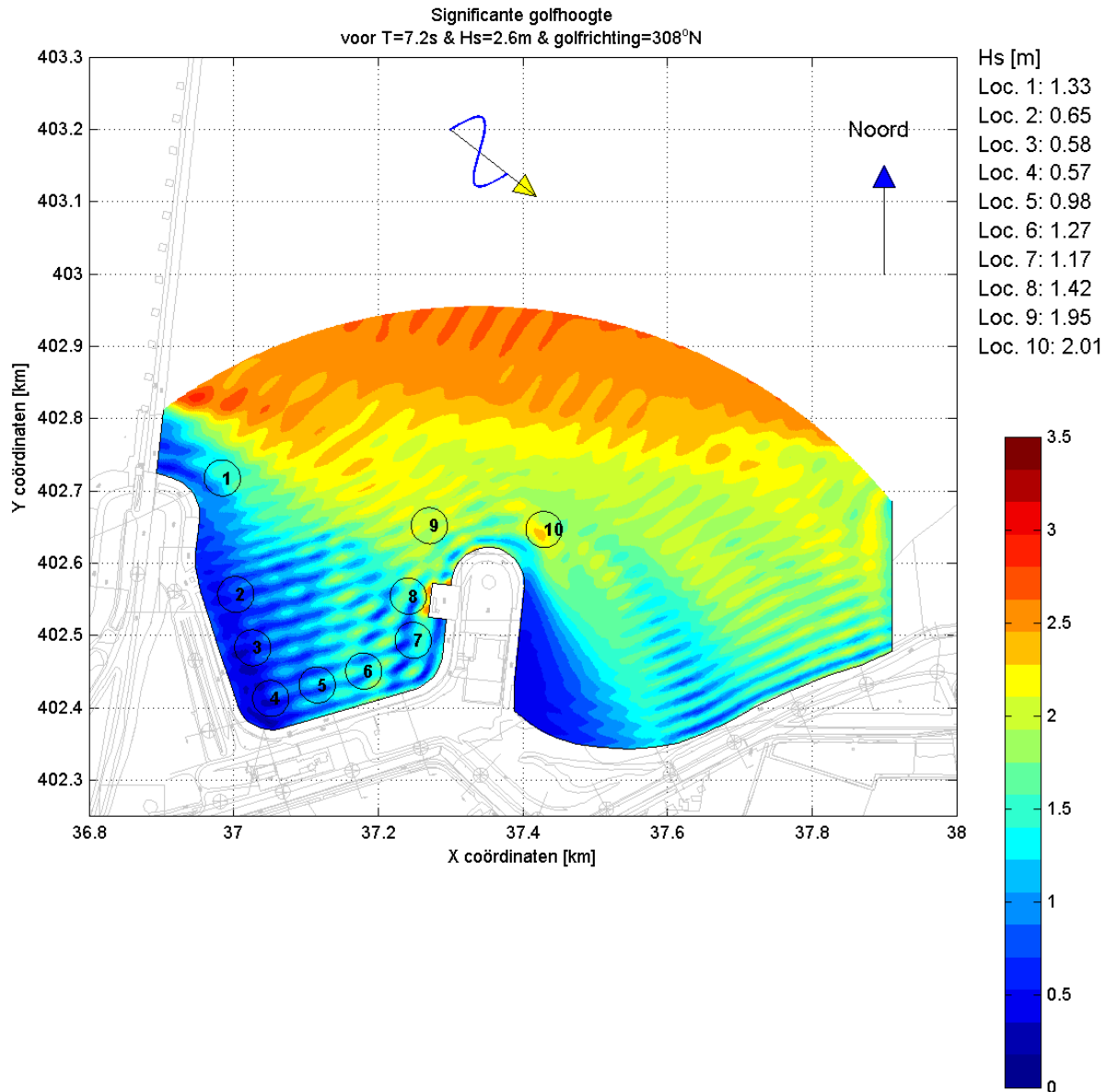


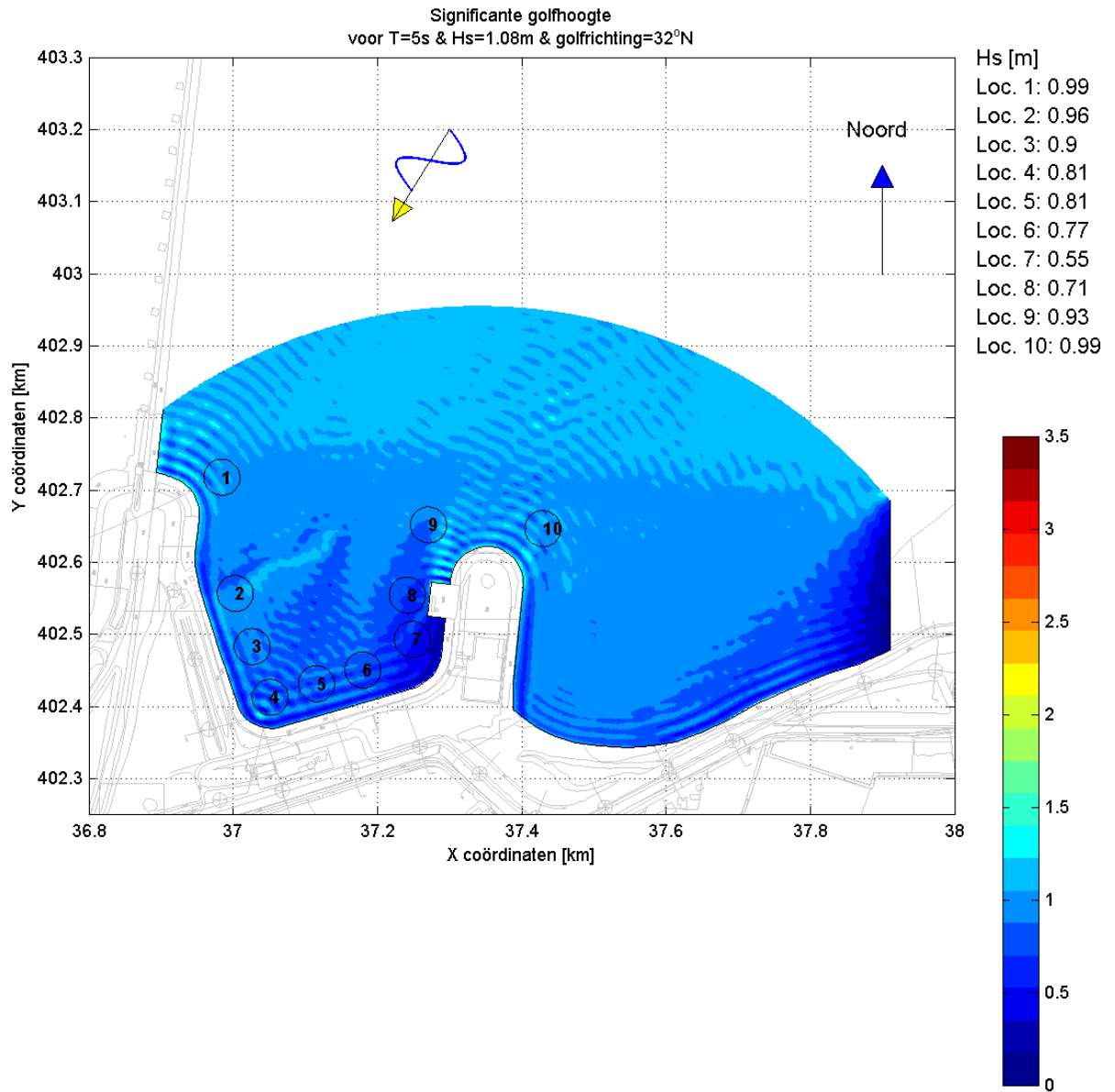
Figure 2-65. Wave reflection coefficients for slopes, beaches, and rubble-mound breakwaters as a function of the surf similarity parameter  $\xi$ .

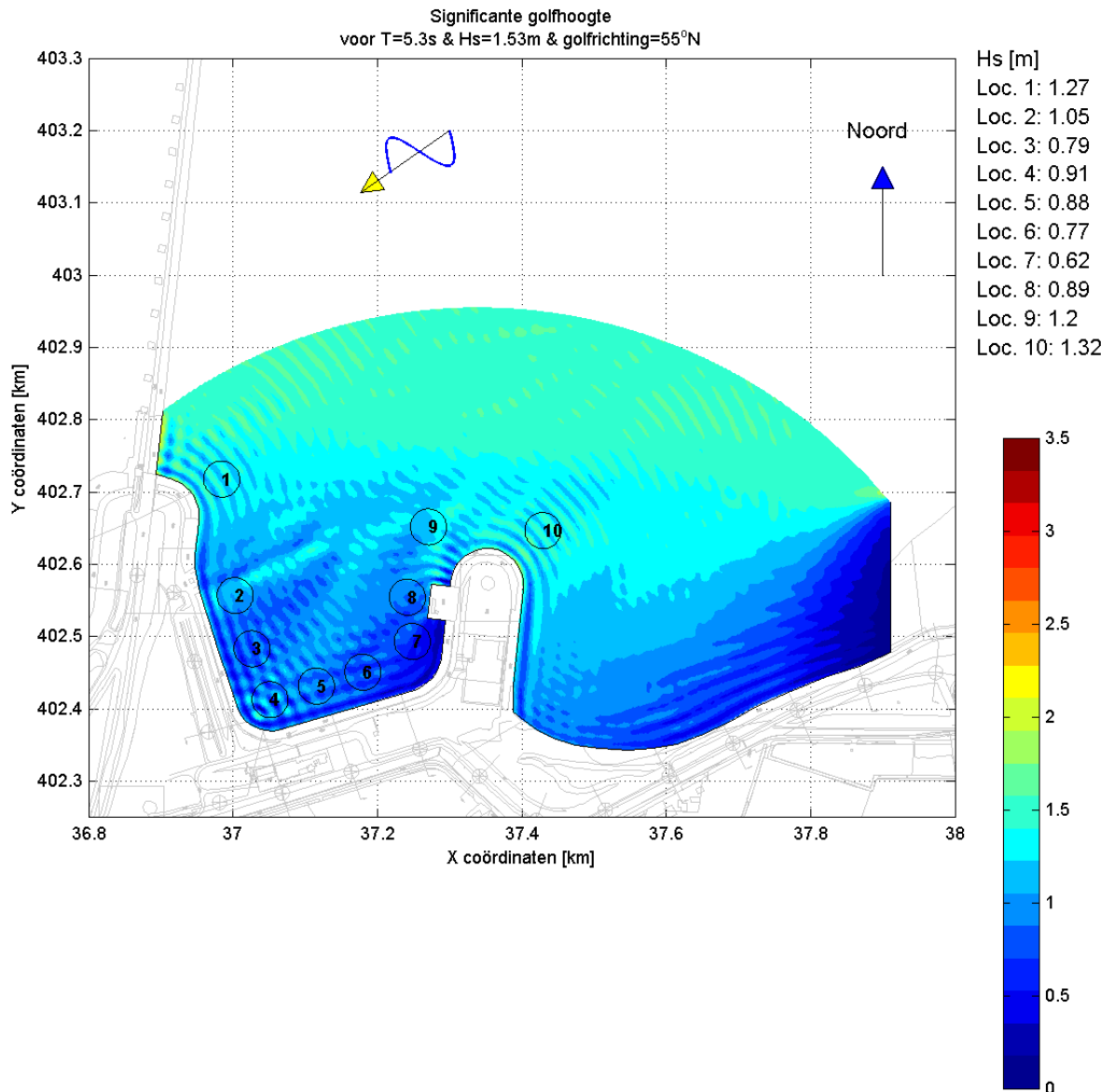


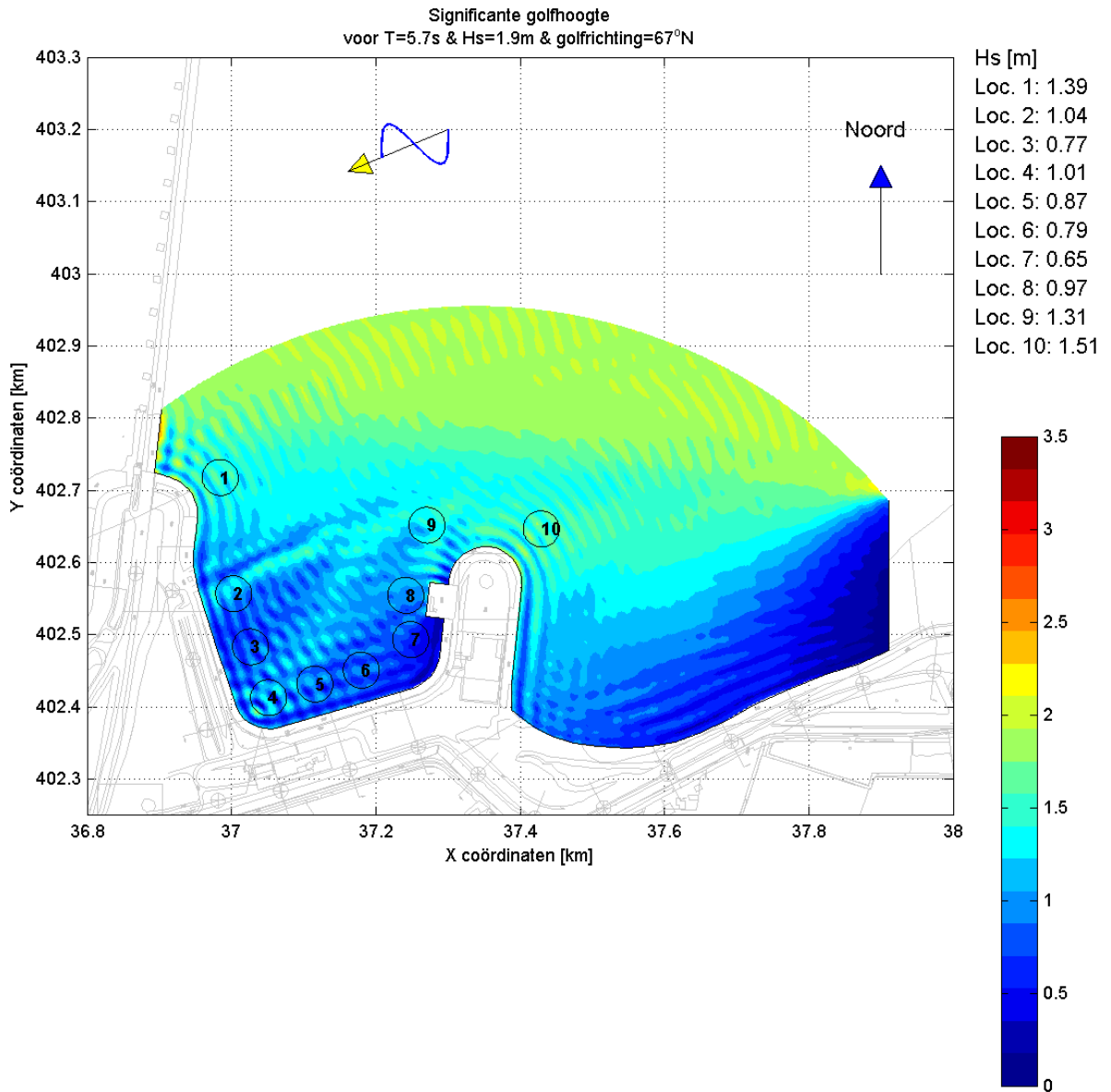












### Appendix 3 Resultaten HARES berekeningen: maatgevende golfcondities per uitvoerpunt

Z4 (gekantelde) betonblokken en patroon gepenetreerde breuksteen)																
					Hs				Tpm				Windrichting			
	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4
1	6,808	9,124	9,619	8,441	1,07	1,27	1,34	1,48	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
2	1,787	4,283	6,086	8,664	0,31	0,75	1,07	1,36	5,69	5,69	5,69	6,38	60	60	60	90
3	2,686	3,871	4,726	5,854	0,47	0,68	0,66	1,03	5,69	5,69	7,16	5,69	60	60	315	60
4	4,201	5,095	6,012	6,578	0,74	0,90	1,06	1,03	5,69	5,69	5,69	6,38	60	60	60	90
5	4,073	6,732	7,526	6,325	0,72	0,94	1,05	0,99	5,69	7,16	7,16	6,38	60	330	330	90
6	3,433	7,579	9,534	5,423	0,54	1,06	1,33	0,85	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
7	5,821	7,579	8,853	4,402	0,91	1,06	1,24	0,69	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
8	6,624	9,747	10,507	7,003	1,04	1,36	1,47	1,10	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
9	8,923	13,219	14,674	8,208	1,40	1,85	2,05	1,44	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60
10	8,841	13,615	15,214	9,357	1,39	1,90	2,12	1,47	6,38	7,16	7,16	6,38	300	300	300	90
Z5 (betonzuilen)																
					Hs				Tpm				Windrichting			
	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4
1	0,226	0,262	0,280	0,293	1,09	1,30	1,40	1,48	5,69	5,69	5,69	5,69	60	60	60	60
2	0,067	0,163	0,223	0,283	0,34	0,78	1,07	1,36	4,50	5,06	5,69	6,38	30	30	60	90
3	0,108	0,156	0,192	0,216	0,53	0,76	0,94	1,03	4,50	4,50	4,98	5,69	30	360	360	60
4	0,149	0,185	0,221	0,238	0,74	0,90	1,06	1,15	5,69	5,69	5,69	5,69	60	60	60	60
5	0,144	0,185	0,210	0,225	0,72	0,94	1,05	1,08	5,69	7,16	7,16	5,69	60	330	330	60
6	0,115	0,212	0,273	0,192	0,58	1,06	1,33	0,93	3,55	7,16	7,16	5,69	360	330	330	60
7	0,184	0,212	0,252	0,142	0,91	1,06	1,24	0,69	6,38	7,16	7,16	5,06	330	330	330	360
8	0,213	0,280	0,305	0,233	1,04	1,36	1,47	1,13	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
9	0,290	0,380	0,414	0,286	1,40	1,85	2,05	1,44	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60
10	0,288	0,389	0,427	0,315	1,39	1,90	2,12	1,62	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60
Z6 (afschuiving, WAB, OSA en vol en zat gepenetreerde breuksteen)																
					Hs				Tpm				Windrichting			
	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4
1	1,089	1,296	1,404	1,484	1,09	1,30	1,40	1,48	5,69	5,69	5,69	5,69	60	60	60	60
2	0,344	0,782	1,087	1,358	0,34	0,78	1,09	1,36	4,50	5,06	5,34	6,38	30	30	30	90
3	0,526	0,763	0,943	1,038	0,53	0,76	0,94	1,04	4,50	4,50	4,98	5,06	30	360	360	360
4	0,738	0,895	1,057	1,152	0,74	0,90	1,06	1,15	5,69	5,69	5,69	5,69	60	60	60	60
5	0,716	0,940	1,051	1,082	0,72	0,94	1,05	1,08	5,69	7,16	7,16	5,69	60	330	330	60
6	0,582	1,058	1,332	0,927	0,58	1,06	1,33	0,93	3,55	7,16	7,16	5,69	360	330	330	60
7	0,912	1,058	1,236	0,690	0,91	1,06	1,24	0,69	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
8	1,038	1,361	1,467	1,126	1,04	1,36	1,47	1,13	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
9	1,399	1,846	2,049	1,443	1,40	1,85	2,05	1,44	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60
10	1,386	1,902	2,125	1,616	1,39	1,90	2,12	1,62	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60
Z7 (losse breuksteen kreukelberm)																
					Hs				Tpm				Windrichting			
	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4
1	2,203	2,636	2,742	2,695	1,07	1,27	1,34	1,48	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
2	0,841	1,620	2,108	2,640	0,31	0,75	1,07	1,36	5,69	5,69	5,69	6,38	60	60	60	90
3	1,142	1,502	1,817	2,048	0,47	0,68	0,94	1,03	5,69	5,69	4,98	5,69	60	60	360	60
4	1,597	1,845	2,089	2,230	0,74	0,90	1,06	1,15	5,69	5,69	5,69	5,69	60	60	60	60
5	1,560	2,098	2,281	2,127	0,72	0,94	1,05	1,08	5,69	7,16	7,16	5,69	60	330	330	60
6	1,319	2,293	2,724	1,893	0,54	1,06	1,33	0,93	6,38	7,16	7,16	5,69	330	330	330	60
7	1,959	2,293	2,577	1,589	0,91	1,06	1,24	0,69	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
8	2,158	2,770	2,930	2,251	1,04	1,36	1,47	1,10	6,38	7,16	7,16	6,38	330	330	330	90
9	2,699	3,481	3,764	2,639	1,40	1,85	2,05	1,44	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60
10	2,680	3,559	3,868	2,874	1,39	1,90	2,12	1,62	6,38	7,16	7,16	5,69	300	300	300	60