

## Memo

Aan : Dennis Hordijk  
Van : Thijs van der Laan  
2<sup>e</sup> Lezer : Mathijs van Ledden  
Datum : 23 augustus 2005  
Onze referentie : 05281/MJA  
Status : Definitief  
**Betreft : Golfcondities Paal Noordelijke Havendam**  
vraagsteller : Hans Johanson

---

### 1.1 Inleiding

Het projectbureau Zeeweringen heeft op de planning staan volgend jaar de dijkbekleding van de haven van Paal (Westerschelde) te gaan vervangen. De primaire waterkering loopt achter de haven van Paal langs.

In de reguliere tabellen met ontwerpwaarden die in 1999 opgeleverd zijn aan het projectbureau, zijn geen golfcondities opgenomen in havenbekkens. De reden hiervoor was het ontbreken van een eenvoudige methodiek om golfcondities in havens te berekenen. Inmiddels is deze methodiek wel ontwikkeld en in 2004 opgenomen in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (RIKZ, 2004). Hierbij gaat het om een formulering die de golfcondities in de havenmonding vertaalt naar golfcondities bij de waterkering.

Voor het plateau en talud in de haven van Paal (zie figuur 1), waar harde bekleding aanwezig is, heeft het projectbureau golfcondities nodig om te bepalen of deze meegenomen kan worden in de toetsing. Hiertoe dient de belastingsfunctie  $H_s * T_p$  onder de waarde 1,6 te blijven. Indien dit niet het geval is moet rekeningen gehouden worden met ontgroning van het haventerrein en zal de primaire waterkering tot onder het niveau van het plateau versterkt moeten worden of moet de bekleding van het plateau versterkt worden.



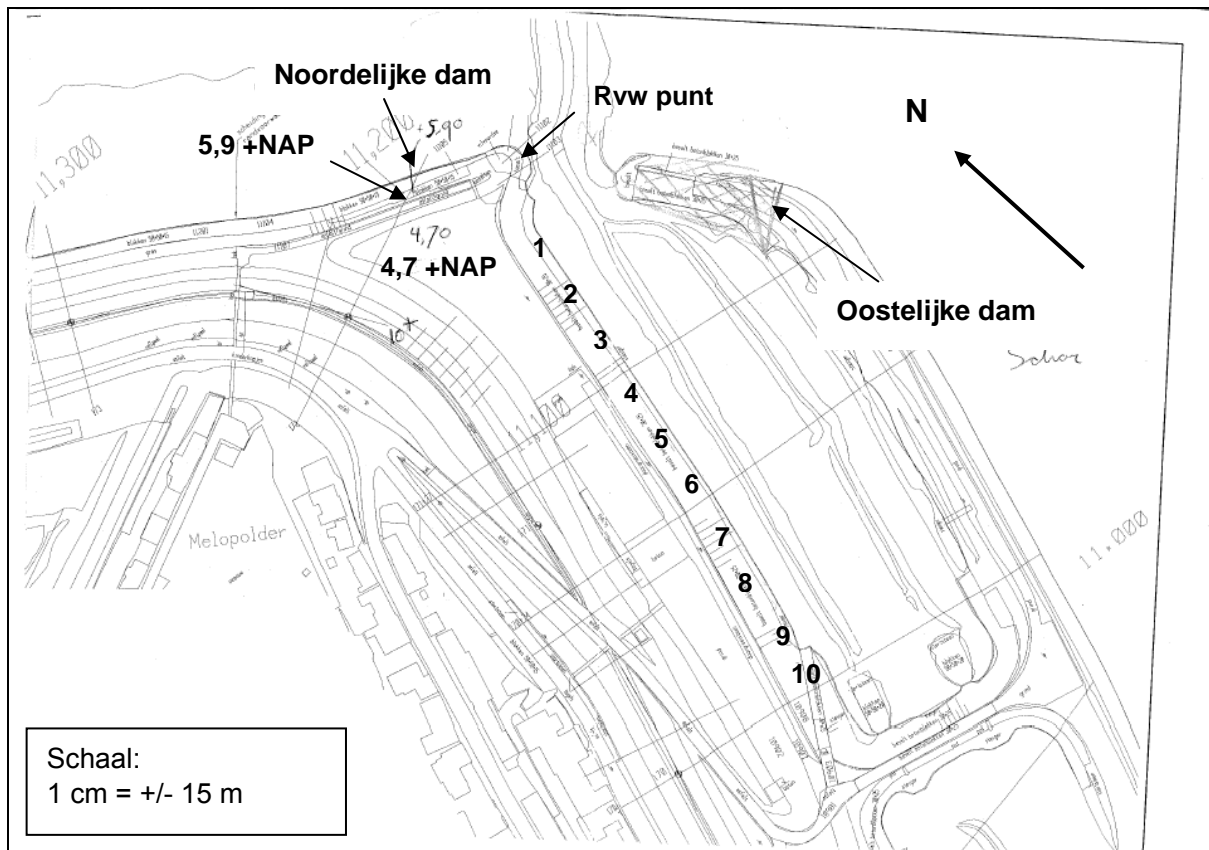
Figuur 1: Haven van Paal

## 1.2 Beschrijving

De haven van Paal is een kleine haven in de Westerschelde tegen het Land van Saeftinge aan. Deze haven ligt langs de primaire waterkering; aan de noordzijde ligt een kleine dam en aan de oostzijde een vrij lage en zwakke dam. De kleine dam aan de noordzijde heeft een hoogte van NAP+5,90 m en bestaat uit blokken 50-50-15 met een punt van basalt. De oostelijke dam heeft een hoogte van NAP+4,70 m en bestaat uit grind. Het haventerrein ligt op NAP+4,70 m en bestaat uit gras/grind met aan de bekkenzijde een talud van basaltblokken.

## 2. Aanpak

Voor de haven van Paal zijn de golfcondities op het plateau in de haven bepaald voor de windrichtingen 300°, 330°, 360°, 30° en 60° bij waterstanden van 2m+NAP, 4 m+NAP en 6 m+NAP. De overige golfrichtingen zijn niet beschouwd omdat deze niet als maatgevend beschouwd worden. Voor deze condities zijn op 10 locaties in de haven de golfcondities berekend volgens de VTV methode (zie figuur 2).



Figuur 2: Haven van Paal met de 10 locaties in de haven

Uitgangspunt bij de VTV methode zijn de golfcondities bij de havenmond. De golfcondities ter plaatse van de havenmond zijn gegenereerd op basis van de golfberekeningsresultaten van SWAN voor de Westerschelde. Deze gegevens zijn samengevat in Tabel 1. De golfhoogten zijn met +0,2 m gecorrigeerd voor de invloed van stroming. De golfperioden zijn gecorrigeerd met +0,15 s voor de invloed van stroming en daarna met +15% gecorrigeerd voor de onderschatting door SWAN conform RIKZ/2003.044. Als minimum voor de correctie van de golfperiode is +1 s

gehanteerd. Omdat alleen gegevens beschikbaar zijn van de piekperiode ( $T_p$ ) zijn soms de waarden voor verschillende omstandigheden identiek.

Windrichting (°)	Waterstand (m)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Golfrichting (°)
300	2	0,74	3,63	334
300	4	1,09	4,96	334
300	6	1,43	6,13	332
330	2	0,77	3,63	345
330	4	1,13	4,46	346
330	6	1,42	4,46	344
360	2	0,72	3,63	356
360	4	1,08	4,02	2
360	6	1,36	4,46	4
30	2	0,64	2,17	17
30	4	1,01	3,63	25
30	6	1,31	4,46	33
60	2	0,61	2,17	58
60	4	1,01	3,26	54
60	6	1,40	4,46	56

Tabel 1: Golfcondities net buiten de haven van Paal langs de Westerschelde (inclusief correcties)

De golfhoogte ( $H_s$ ) en golfperiode ( $T_p$ ) in Tabel 1 zijn vervolgens gebruikt volgens de VTV-methodiek om de golfcondities in de haven te bepalen. Bij deze berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Aantal havendammen: 1 havendam aan de noordzijde. De oostelijke havendam is niet sterk genoeg en mag daarom verwaarloosd worden.
- Type havendam: open stortstenen dam met talud 1:1,5. De bijbehorende transmissiecoëfficiënten in de formulering van Goda zijn  $\alpha = 2,6$  en  $\beta = 0.15$ .
- Kruinhoogte havendam: 5.9 m+NAP.
- Richtings spreiding: 10 graden (= standaard voor lokale windgolven)
- Diffractie wordt meegenomen in de berekening.
- Transmissie: idem
- Interactie diffractie-transmissie: idem
- Lokale golfgroei: dit proces is verwaarloosd in de berekening. Gelet op de beperkte lengte van de haven (ca. 250 m) is lokale golfgroei verwaarloosbaar.
- Hoog voorland: er wordt geen rekening gehouden met een hoog voorland aangezien alle golfcondities in de buurt van de havenkade bepaald worden.

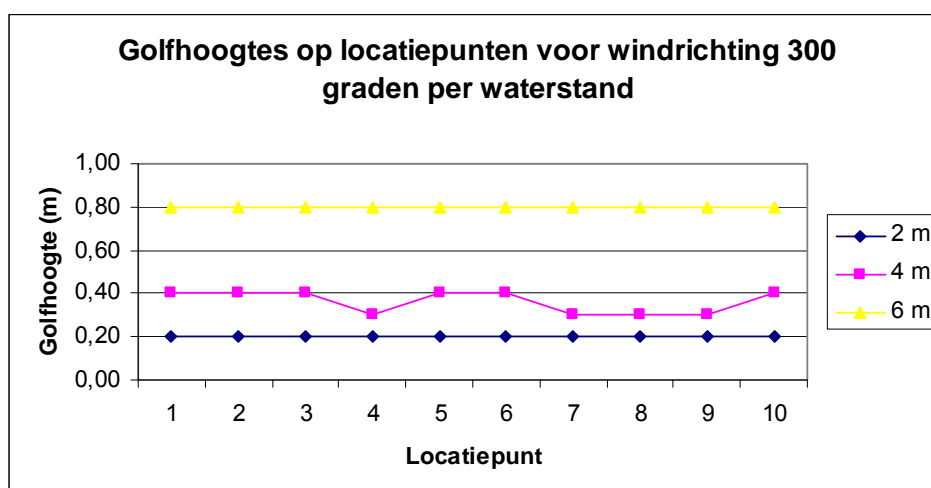
### 3. Resultaten

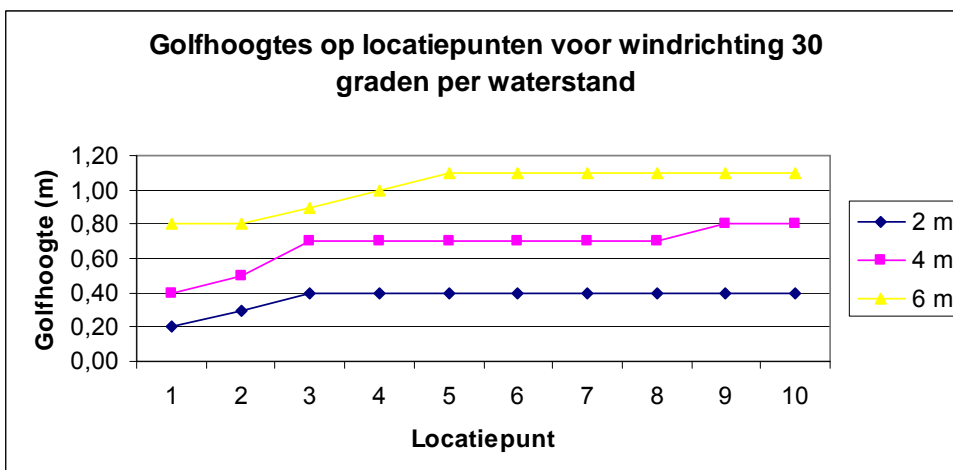
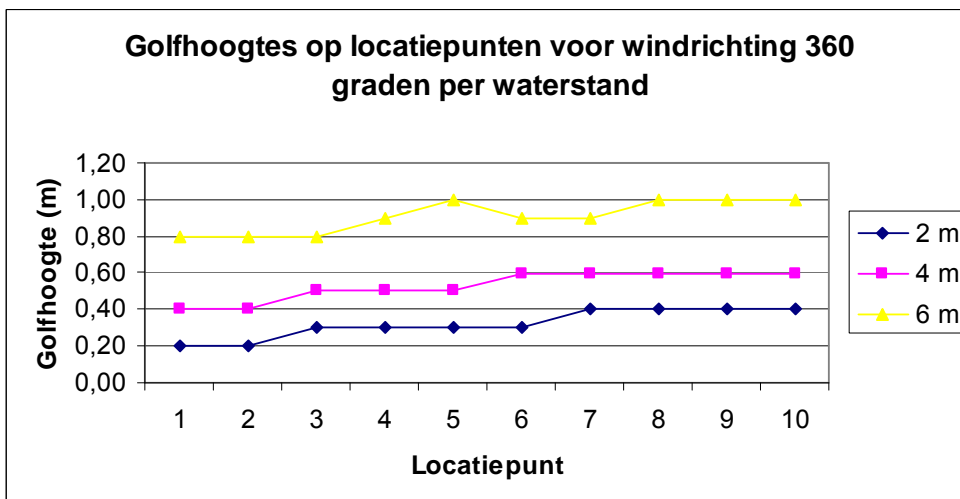
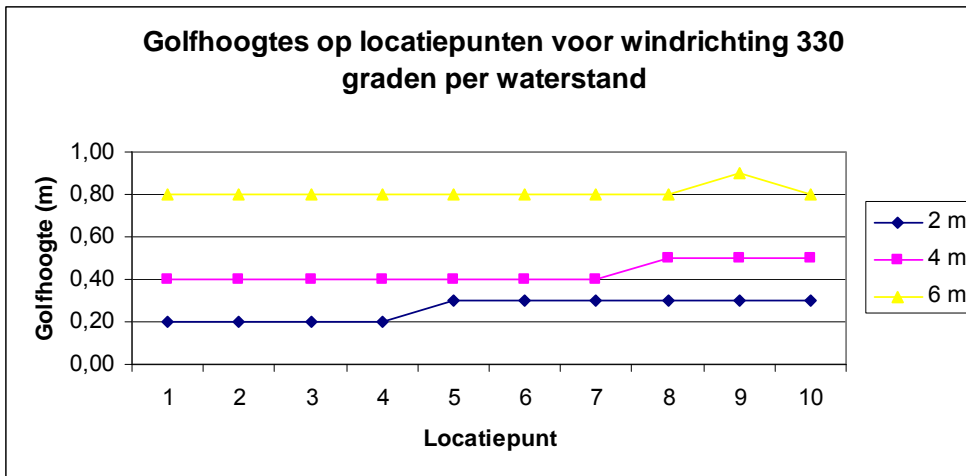
Op basis van de bovengenoemde uitgangspunten zijn volgens de VTV methode de golfcondities in de haven bepaald. De resultaten daarvan zijn samengevat in Tabel 2. Tevens zijn in Figuur 3 de golfcondities langs de haven voor iedere windrichting afzonderlijk gegeven.

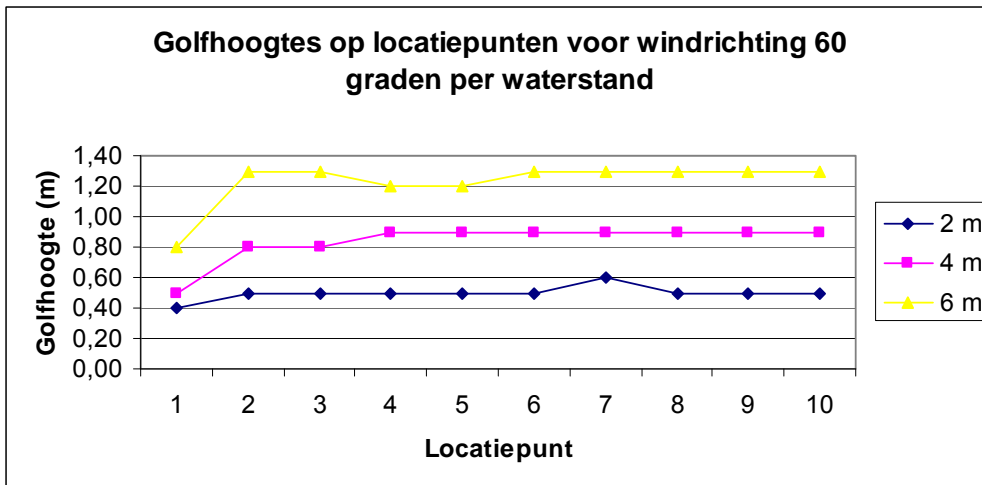
Wind-richting (°)	Golf-richting (°)	Water-stand (m)	Lokatie 1		Lokatie 2		Lokatie 3		Lokatie 4		Lokatie 5	
			Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)
300	334	2,0	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60
300	334	4,0	0,40	5,00	0,40	5,00	0,40	5,00	0,30	5,00	0,40	5,00
300	332	6,0	0,80	6,10	0,80	6,10	0,80	6,10	0,80	6,10	0,80	6,10
330	345	2,0	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60	0,30	3,60
330	346	4,0	0,40	4,50	0,40	4,50	0,40	4,50	0,40	4,50	0,40	4,50
330	344	6,0	0,80	4,50	0,80	4,50	0,80	4,50	0,80	4,50	0,80	4,50
360	356	2,0	0,20	3,60	0,20	3,60	0,30	3,60	0,30	3,60	0,30	3,60
360	2	4,0	0,40	4,00	0,40	4,00	0,50	4,00	0,50	4,00	0,50	4,00
360	4	6,0	0,80	4,50	0,80	4,50	0,80	4,50	0,90	4,50	1,00	4,50
30	17	2,0	0,20	2,20	0,30	2,20	0,40	2,20	0,40	2,20	0,40	2,20
30	25	4,0	0,40	3,60	0,50	3,60	0,70	3,60	0,70	3,60	0,70	3,60
30	33	6,0	0,80	4,50	0,80	4,50	0,90	4,50	1,00	4,50	1,10	4,50
60	58	2,0	0,40	2,20	0,50	2,20	0,50	2,20	0,50	2,20	0,50	2,20
60	54	4,0	0,50	3,30	0,80	3,30	0,80	3,30	0,90	3,30	0,90	3,30
60	56	6,0	0,80	4,50	1,30	4,50	1,30	4,50	1,20	4,50	1,20	4,50

Wind-richting (°)	Golf-richting (°)	Water-stand (m)	Lokatie 6		Lokatie 7		Lokatie 8		Lokatie 9		Lokatie 10	
			Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)	Hs (m)	Tp(s)
300	334	2,0	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60	0,20	3,60
300	334	4,0	0,40	5,00	0,30	5,00	0,30	5,00	0,30	5,00	0,40	5,00
300	332	6,0	0,80	6,10	0,80	6,10	0,80	6,10	0,80	6,10	0,80	6,10
330	345	2,0	0,30	3,60	0,30	3,60	0,30	3,60	0,30	3,60	0,30	3,60
330	346	4,0	0,40	4,50	0,40	4,50	0,50	4,50	0,50	4,50	0,50	4,50
330	344	6,0	0,80	4,50	0,80	4,50	0,80	4,50	0,90	4,50	0,80	4,50
360	356	2,0	0,30	3,60	0,40	3,60	0,40	3,60	0,40	3,60	0,40	3,60
360	2	4,0	0,60	4,00	0,60	4,00	0,60	4,00	0,60	4,00	0,60	4,00
360	4	6,0	0,90	4,50	0,90	4,50	1,00	4,50	1,00	4,50	1,00	4,50
30	17	2,0	0,40	2,20	0,40	2,20	0,40	2,20	0,40	2,20	0,40	2,20
30	25	4,0	0,70	3,60	0,70	3,60	0,70	3,60	0,80	3,60	0,80	3,60
30	33	6,0	1,10	4,50	1,10	4,50	1,10	4,50	1,10	4,50	1,10	4,50
60	58	2,0	0,50	2,20	0,60	2,20	0,50	2,20	0,50	2,20	0,50	2,20
60	54	4,0	0,90	3,30	0,90	3,30	0,90	3,30	0,90	3,30	0,90	3,30
60	56	6,0	1,30	4,50	1,30	4,50	1,30	4,50	1,30	4,50	1,30	4,50

Tabel 2: Golfcondities voor de windrichtingen 300, 330, 360, 30 en 60 graden







Figuur 3: Golfhoogtes op de locatiepunten voor 3 waterstanden per windrichting voor 1 havendam

De figuren laten duidelijk zien dat golfhoogtes bij locatiepunt 1 laag zijn ten opzichte van de golfhoogtes net buiten de haven voor de verschillende windrichtingen. Deze locatie ligt duidelijk in de schaduwzone van de noordelijke havendam. De golfreducties voor de windrichtingen 300 en 330 graden zijn een stuk groter dan bij de windrichtingen 360 en 30 graden. Bij windrichting 60 graden ondervinden de golven weinig invloed van de havendam vanwege de ligging.

Voor de piekperiode geldt dat deze voor het gehele havenbekken constant is en gelijk aan de piekperiode in de havenmonding voor alle combinaties van windrichting en waterstand. Dit is een conservatieve aanname waarvan in de methodiek is uitgegaan.

Bij een windrichting van 60 graden treden de maatgevende golfhoogte en de golfperiode op in de haven van Paal uitgaande van het mechanisme  $Z = H_s * T_{pm}$  (zie Tabel 2). De golfcondities zijn voor de gehele haven nagenoeg hetzelfde met uitzondering van punt 1 dichtbij de noordelijke havendam (zie ook Figuur 3). Dit komt omdat bij deze windrichting de golven uit het noordoosten komen en dus nauwelijks beïnvloed worden door de noordelijke havendam.

Waterstand (m+NAP)	Significante golfhoogte (m)	Piekperiode (s)	Faalmecanisme Z
2,0	0,50	2,20	1,10
4,0	0,90	3,30	2,97
6,0	1,30	4,50	5,85

Tabel 3: Maatgevende golfcondities haven Paal voor 1 havendam

#### 4. Aanvullende maatregelen

De golfcondities bij een waterstand van 4,0 en 6,0 m+NAP overschrijden de maximale golfcondities voor havens (d.w.z.  $H_s * T_p = \text{ca. } 1.2 - 1.6$ ). Het projectbureau heeft gevraagd om aan te geven hoe de layout van de dammen veranderd kan worden om de golfbelasting in de haven omlaag te brengen. Enkele varianten zijn hierbij onderzocht. Er is gekeken naar het ophogen van de havendam en het toepassen van een ander talud. Ook is geanalyseerd of het herstellen en ophogen van de oostelijke havendam mogelijkheden biedt om de golfcondities in de haven significant te verlagen.

##### 4.1 Ophogen havendam / ander talud

In Tabel 4 staat het resultaat van het ophogen van de havendam tot 8,0 m+NAP. Door deze maatregel veranderen de golfhoogte en de golfperiode niet. Bij 4,0 en 6,0 m+NAP wordt ook met deze maatregel niet voldaan aan de eis  $H_s * T_p < 1.6$ . Deze maatregel heeft geen effect omdat de maatgevende golfrichting 60 graden is, waardoor de golven rechtstreeks de haven in lopen zonder daarbij gehinderd te worden door de noordelijke havendam.

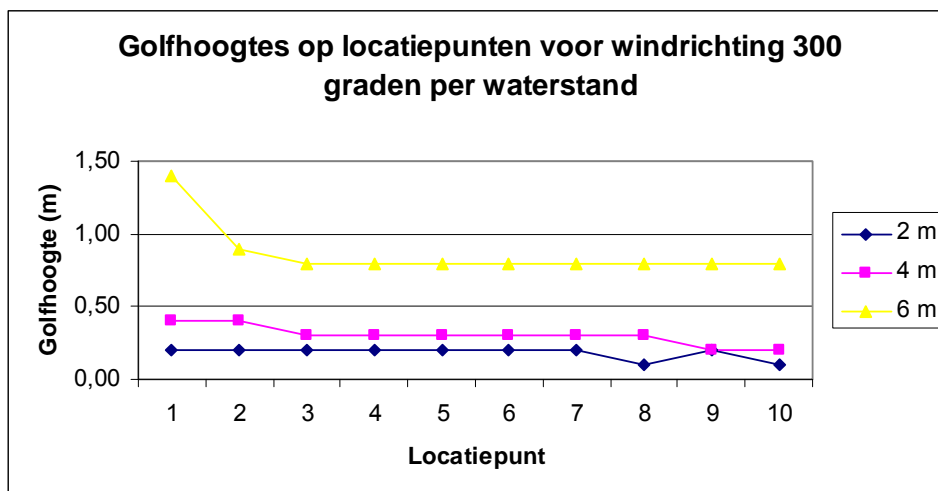
Waterstand (m+NAP)	Significante golfhoogte (m)	Piekperiode (s)	Faalmechanisme Z
2,0	0,50	2,20	1,10
4,0	0,90	3,30	2,97
6,0	1,30	4,50	5,85

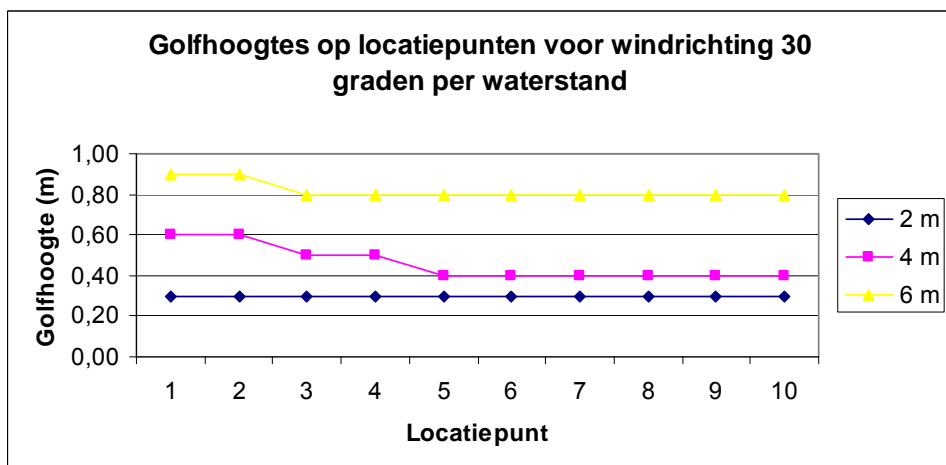
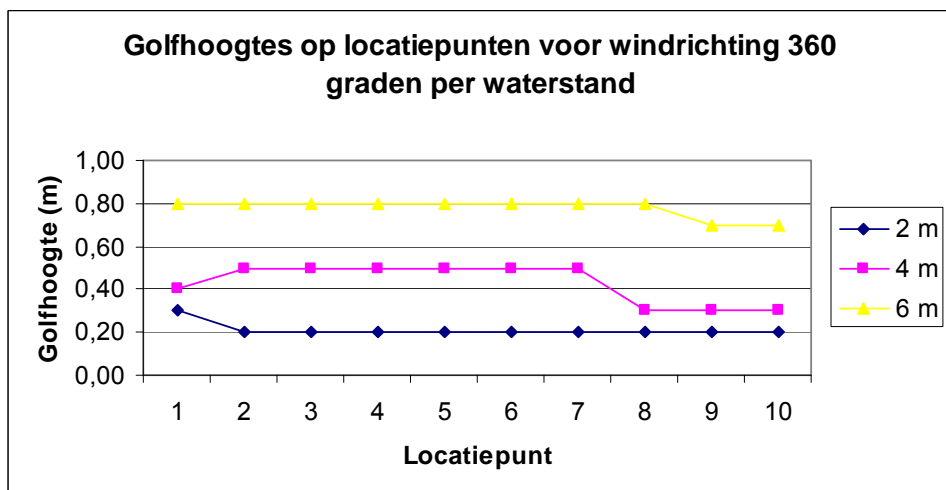
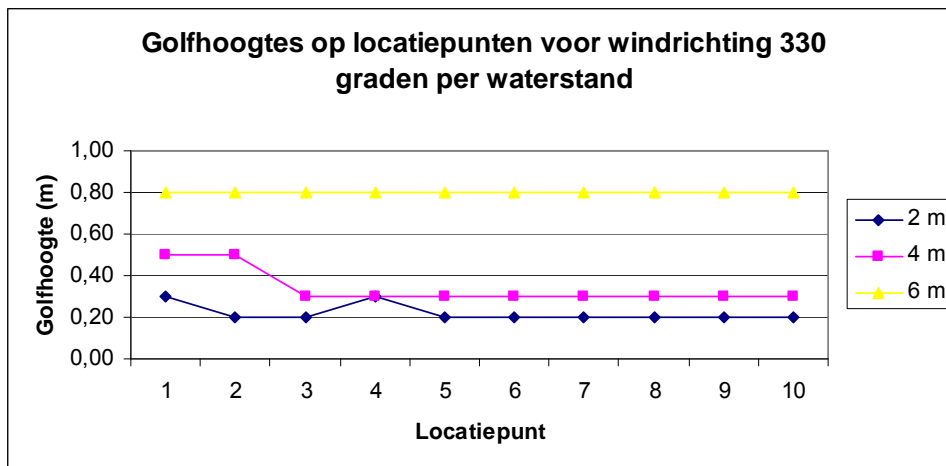
Tabel 4: Maatgevende golfcondities haven van Paal bij verhoogde noordelijke havendam tot 8m+NAP

Ook is er gekeken naar een maatregel van een glad talud 1:4 bij een kruinhoogte van de havendam tot 5,9m+NAP. De maatgevende golfcondities bij 60 graden voor deze maatregel geven geen verandering voor golfhoogte en piekperiode.

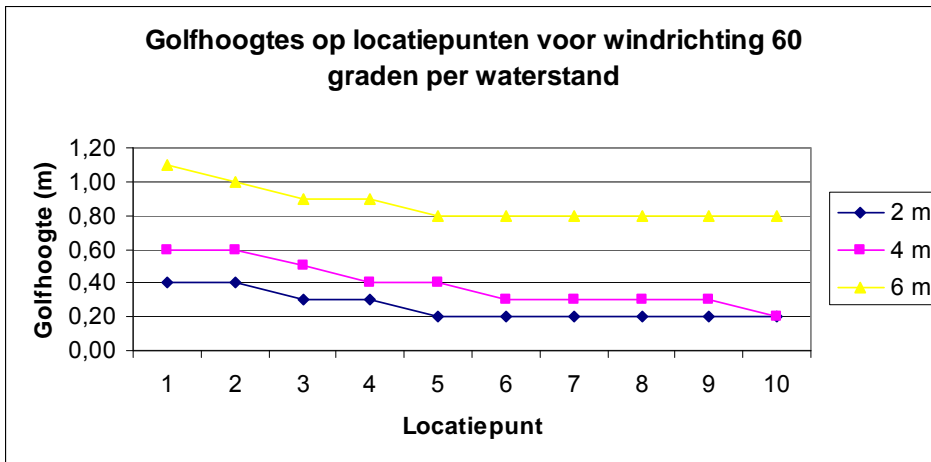
##### 4.2 Twee havendammen

Als extra alternatief is gekeken naar een situatie voor 2 havendammen, 1 aan de noordzijde en 1 aan de oostzijde. Er wordt gerekend met dezelfde golfcondities net buiten de haven. De dammen zijn 5,9 m+NAP hoog en hebben een talud van 1:1,5. Voor deze situatie wordt met een equivalente openingsbreedte gewerkt, die afhangt van de hoek van inval van de golven in de opening tussen de havendammen. In figuur 4 worden de grafieken weergegeven van de situatie met 2 havendammen voor de verschillende windrichtingen.









Figuur 4: Golfhoogtes op de locatiepunten voor 3 waterstanden per windrichting voor 2 havendammen

Voor de windrichtingen 300 en 330 graden zijn de golfhoogtes vergelijkbaar met de situatie met 1 havendam. De tweede havendam heeft voor deze richtingen weinig invloed op de golfhoogte. Voor de windrichtingen 360, 30 en 60 graden is duidelijk te zien dat de tweede havendam zorgt voor een reductie in de golfhoogte, vooral wat verder achter in de haven.

Ook voor deze maatregel is gekeken naar de maatgevende golfcondities. Bij een windrichting van 60 graden gelden de condities gegeven in Tabel 5. Bij 4,0 en 6,0 m+NAP wordt ook met deze maatregel niet voldaan aan de eis  $H_s * T_p < 1.6$ .

Waterstand (m+NAP)	Significante golfhoogte (m)	Piekperiode (s)	Faalmechanisme Z
2,0	0,40	2,20	0,88
4,0	0,60	3,30	1,98
6,0	1,10	4,50	4,95

Tabel 5: Maatgevende golfcondities haven Paal voor 2 havendammen

Een eventuele verdere verhoging van beide havendammen leidt tot een nog verder gaande reductie van de golfhoogte en –periode. Uit berekeningen blijkt dat een verhoging tot 9m+NAP leidt tot reductie van de golfhoogte en –periode, maar dat nog steeds niet voldaan wordt aan de eis  $H_s * T_p < 1.6$ . Verdere ophoging heeft geen zin, omdat transmissie dan niet meer van belang is, en de golfdoordringing puur bepaald wordt door diffractie.

## 5. Conclusie

In deze notitie zijn op basis van de VTV-methode golfcondities afgeleid voor de haven van Paal. Uit de resultaten is gebleken dat de condities bij de huidige lay-out van de haven zodanig zijn dat het product  $H_s * T_p$  in de haven bij hogere waterstanden groter is dan 1.6 (de maximaal toelaatbare waarde in de haven)

Er is onderzocht welke maatregelen genomen kunnen worden om de golfcondities in de haven te verlagen. Ophogen en een andere bekleding van de noordelijke havendam leiden niet tot reductie van de maatgevende condities.

Herstel en ophogen van de oostelijke havendam heeft wel verlaging van de golfcondities tot gevolg, echter het is niet mogelijk om met herstel van de oostelijke havendam en ophoging van de beide havendammen voor alle condities te voldoen aan de eis  $H_s * T_p < 1.6$ .

## Referentie

RIKZ, 2004. Golfbelasting in Havens en Afgeschermd gebied. Een gedetailleerde methode voor het bepalen van de golfbelastingen voor het toetsen van waterkeringen. RIKZ\2004.001.