

Memo

Werkgroep Kennis

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Projectbureau Zeeweringen

P2DT-M-05 296 ker

31 AUG 2005

Betreft (actie en nr.)

Golfcondities voor ontwerp dijkbekleding en kruinhoogte Westelijk dijkgedeelte buitenhaven Vlissingen

Vraagsteller

[REDACTED]

Beantwoord door

[REDACTED]

Doorkiesnummer

[REDACTED] 3

Status

Definitief

Datum

Maart 2003

Datum

18 Maart 2003

Bijlage(n)

1

Kenmerk

k-03-03-09

1. Aanleiding en vraagstelling

In mei 2001 is door Alkyon een studie uitgevoerd naar de golfcondities voor het (her) ontwerpen van dijken (dijkbekledingen en kruinhoogten) die de buitenhaven van Vlissingen omringen [Lit 1]. Deze studie is uitgevoerd met geavanceerde berekeningen met SWAN (inclusief reflectie) en DIFFRAC. Deze studie heeft geresulteerd in ontwerp golfcondities voor dijkbekledingen en kruinhoogten voor de dijken die aan de havenkaden liggen. Voor het dijkgedeelte tussen de westelijke havenkade en de veerbootsteiger [zie bijlage 1, dijkvak 10] zijn geen golfcondities bepaald.

Aan RIKZ is gevraagd om voor dit dijktraject golfcondities te bepalen met de in 2002 ontwikkelde methode voor golfbelastingen in havens en afgeschermd gebied [Lit 2], naast de golfcondities die in 2001 door Alkyon berekend zijn. Bij de vraagstelling is aangegeven dat, conform de gebruikte methodiek voor projectbureau zeeweringen, de golfcondities in het havenbekken robuust dienen te zijn.

2. Golfcondities uit HR-2001

Voor de buitenhaven van Vlissingen staan in het HR-2001 [Lit 3] golfbelastingen weergegeven voor 10 dijkvakken. Voor dijkvak 10 staan alleen lokaal opgewekte golven weergegeven, en is de golfperiode en het effect van golfdoordringing vanaf de Westerschelde niet opgenomen in de toets-randvoorwaarden. In tabel 1 zijn deze toetsrandvoorwaarden weergegeven.

Tabel 1: golfcondities HR-2001

Vaknr	Toetspeil 2006	Lokaal opgewekte golven			Seiche toeslag
	[m. t.o.v. NAP]	Hs [m]	Tp [s]	Beta [°]	[m]
10	5,30	0,60	-	90	0,30

Projectbureau Zeeweringen

Postadres p/a postbus 114, 4460 AC Goes

Bezoekadres p/a waterschap Zeeuwse Eilanden,

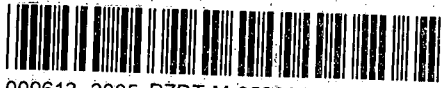
Piet-Heinstraat 77 Goes

Telefoon (0113) 24 13 70

Telefax (0113) 21 61 24

Het project Zeeweringen wordt uitgevoerd i.s.m. de Zeeuwse waterschappen en de provincie Zeeland.

Vanaf NS station richting centrum, na 150 m. rechts.



009613 2005 PZDT-M-05296 ken

Golfcondities voor ontwerp dijkbekleding en kruinh

3. Beschrijving methodiek geavanceerde methode

In de studie die door Alkyon uitgevoerd is voor de buitenhaven van Vlissingen is onderstaande methodiek gebruikt:

Meegenomen processen:

- Locale golfgroei door de wind
- Terugkaatsing van golven bij verticale constructies
- Afscherming van golven door de havendam
- Diffractie van golven rondom de havendam (bijdraaien van golven)
- Refractie van golven (bijdraaiing van golven loodrecht op de isolijnen van de bodem)
- Shoaling (het hoger worden van golven bij een afnemende waterdiepte)
- Dissipatie van energie door het breken van golven en bodemwrijving
- Transmissie van golven over de havendam, inclusief de veranderingen van de spectrale vorm.

Aanpak:

1. Bereken alle effecten van de golfdoordringing vanaf de Westerschelde in het havenbekken. Hierbij wordt de bijdrage van lokaal in het havenbekken opgewekte golven niet meegenomen. De golfhoogte en golfperiode aan de monding van de haven zijn berekend conform de methode die door RIKZ toegepast is voor de Westerschelde [Lit 4, 5 en 6].
2. Bereken alleen het effect van golven die lokaal in het havenbekken opgewekt worden. Verder wordt in deze berekening ook rekening gehouden met de golfenergie die door transmissie over de havendam komt.
3. Als derde stap worden de in 1 en 2 berekende spectra bij elkaar opgeteld
4. Als laatste worden de spectra gesplitst in een invallende en gereflecteerd deel, zodat alleen de energie die naar de kering toekomt meegenomen worden. Op basis van dit invallend spectrum worden Hs en Tpm berekend.

4. Resultaten met de geavanceerde methode

Volgens de hierboven beschreven methodiek heeft Alkyon golfcondities bepaald voor kruinhoogte en dijkbekleding. De golfcondities voor kruinhoogte zijn alleen bepaald voor de dijkvakken 1-9, terwijl de golfcondities voor steenbekledingen bepaald zijn voor alle dijkvakken. In tabel 2 zijn de golfcondities weergegeven voor dijkvak 10, berekend voor de belastingsfunctie $Z=H_s \cdot T_{pm}$

Tabel 2: golfcondities Alkyon dijkbekledingen (uitvoerpunt V56, zonder reflectie)

Waterstand [m. t.o.v. NAP]	Diepte [m]	Hs [m]	Tpm [s]	Mg-windrichting [°N] [°]
2	4,2	0,65	5,25	150
4	6,2	0,75	5,50	150
5	7,2	0,75	5,60	150
5,5	7,7	0,75	5,65	150
6	8,2	0,80	5,65	150

- Bij de berekening van deze randvoorwaarden voor steenbekledingen is geen rekening gehouden met de kans van voorkomen van een bepaalde waterstand in de haven. De kans dat de waterstand bij een windrichting van 150° hoger dan 6 meter wordt is kleiner dan eens per 1.000.000 jaar! [Lit 7, bijlage 13°]

5. Beschrijving methodiek gedetailleerde methode

In 2002 is in opdracht van projectbureau Zeeweringen door RIKZ een gedetailleerde methode opgezet om voor de toetsing van waterkeringen in havens de in HR-2001 gegeven golfbelastingen buiten de haven, te vertalen naar golfbelastingen in de haven. De ontwikkelde methode is gebaseerd op algemeen geaccepteerde kennis van golfprocessen in havens. Een groot gedeelte van deze methode is afkomstig uit de Shore Protection Manual van het US-Army Corps of Engineers [Lit 8]. In de Leidraad Toetsen op Veiligheid, die naar verwachting juni 2003 verschijnt, wordt deze methode aanbevolen als een tweede stap in de toetsing van de dijkbekleding rondom de haven. In de eerste toetsingsstap wordt getoetst met de golftrandvoorwaarden die aan de buitenkant van de haven gelden, daarna wordt de zogenaamde gedetailleerde methode ingezet om een vertaling te maken van de golftrandvoorwaarden aan de buitenkant van de haven naar de waterkering in de haven. Indien de waterkering met deze methode bij de toetsing niet de score "voldoende" behaalt, kan de toetsers beslissen om een geavanceerde methode in te zetten. Een voorbeeld van deze geavanceerde methode is de studie die door Alkyon uitgevoerd is voor de buitenhaven van Vlissingen.

Voor de onderzochte gevallen (5 havens) waarbij de gedetailleerde methode vergeleken werd met de geavanceerde methode is geconstateerd dat de ontwikkelde gedetailleerde methode in alle gevallen leidt tot conservatievere (les hogere) waarden voor de golfbelasting dan de geavanceerde methoden.

In de gedetailleerde methode die ook voor de buitenhaven van Vlissingen toegepast is, zijn de volgende processen opgenomen:

Meegenomen processen:

- Locale golfgroei door de wind
- Afscherming van golven door de havendam
- Diffractie van golven rondom de havendam (bijdraaien van golven)
- Transmissie van golven over de havendam, inclusief de veranderingen van de spectrale vorm.
- Interactie van de processen diffractie om- en transmissie over de havendam.
- Golfhoogtebeperking door een ondiep voorland (havenkade etc.)

Aanpak voor de buitenhaven van Vlissingen

1. Bepaling golfcondities buiten de haven

Een vereiste voor het toepassen van de gedetailleerde methode is de beschikbaarheid van golfbelastingen bij de havenmonding bij alle relevante windrichtingen. Hiermee is bij de berekening van golfcondities voor projectbureau zeeweringen [Lit 4 en 5] geen rekening mee gehouden; er zijn geen uitvoerpunten bij havenmondingen meegenomen. Wel is er een uitvoerpunt (HVLIS) meegenomen in de berekeningen op ca. 2 kilometer uit de monding [zie ook bijlage 1]. De golfperiode voor de havenmonding is gelijk gekozen aan de golfperiode berekend bij deze diepere locatie. De golfhoogte en golfperiode is bepaald uit de tweedimensionale uitvoer van het rekenrooster D38 voor de monding van de haven. De golfcondities zijn bepaald voor windrichtingen 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 285°, 300° en 315°, en zijn weergegeven in bijlage 2.

2. Schematisatie van de haven

Het havenbekken is geschematiseerd met behulp van rechte lijnen. Ook de havendam is geschematiseerd door een rechte lijn. Op ongeveer 50 meter uit de teen van de dijk is een

uitvoerpunt bepaald. Conform de ontwikkelde gedetailleerde methodiek is per windrichting de X-afstand en Y-afstand t.o.v. het uiteinde van de havendam bepaald, waarbij de Y-as gelijk genomen wordt aan de golfrichting. Een voorbeeld van de schematisatie van deze assen is weergegeven in bijlage 3.

3. Vertaling golfcondities buiten naar binnen

Met behulp van de Ms-Excel-applicatie zijn de golfcondities die aan de buitenkant van de haven bepaald zijn, voor 3 waterstanden en 7 windrichtingen, vertaald naar golfcondities bij de waterkering. Hierbij zijn de processen transmissie, diffractie, en interactie tussen deze processen voor alle windrichtingen meegenomen. Lokale golfgroei in het havenbekken is alleen voor de windrichtingen 150, 180 en 210° in rekening gebracht. De invoer en uitvoer van deze berekeningen zijn weergegeven in bijlage 4a tot 4c

4. Berekening belastingsfuncties t.b.v. dijkbekledingen en kruinhoogte

Bij het ontwerp van vrijwel alle dijkvakken aan de Westerschelde is er van uit gegaan dat de hoogste waarde voor de golfbelasting optreedt bij de hoogste waterstand. In veel gevallen gaat dit ook op, en worden de hoogste (langste) golven opgewekt bij windrichtingen tussen 285° en 330°. Deze windrichtingen veroorzaken ook de hoogste waterstanden. Zoals in bijlage 4 te zien is treedt de hoogste golfbelasting, bij waterstanden NAP+2 meter en NAP+4 meter, op bij windrichting 150°. De kans dat bij deze windrichting een waterstand van NAP+4 meter optreedt is nagenoeg nul. Daarom is de onderstaande aanpak gevolgd, waarbij de belastingsfuncties alleen berekend is voor waterstanden die een kans van voorkomen van 1/4000 hebben.

- Op basis van de richtingsafhankelijke statistiek van Vlissingen [Lit 7] is per windrichting de waterstand bepaald die eens per 4000 jaar voor kan komen.
- Bij deze waterstand is 55 cm hoogwaterstijging t.g.v. zeespiegelstijging opgeteld, conform de waarde aan de monding van de buitenhaven (NAP+5,25 + 55 cm ZSS). Deze waarden zijn weergegeven in tabel 3.
- Naast de berekende golfhoogten en golfperioden voor de standaard waterstanden (NAP+2, +4 en +6 meter) is per windrichting ook de golfhoogte en golfperiode berekend voor alle waterstanden die per windrichting een kans van voorkomen hebben van 1/4000 jaar. Hierbij is gebruik gemaakt van lineaire interpolatie tussen de waarden die in stap 3 berekend zijn bij de standaard waterstanden. De berekende waarden voor Hs en Tp zijn weergegeven in bijlage 5.
- Voor alle berekende waterstanden zijn daarna 2 belastingsfuncties doorgerekend per waterstand. Dit zijn:
Dijkbekleding : $Z = Hs * Tpm$
Kruinhoogte : $Z2\% = 0,74 * Tpm * \text{Wortel}(g * Hs) * \text{Tan alpha} (=1/3)$
Deze berekende waarden voor beide belastingsfuncties zijn weergegeven in bijlage 6.

5. Bepaling maatgevende belastingen

- Nadat voor elke combinatie van wind en waterstand berekend was, zijn de maatgevende windrichtingen bepaald per waterstand voor dijkbekledingen, en kruinhoogte. Hierbij is de volgende definitie gebruikt:
- Dijkbekledingen; per waterstand is de berekende waarde voor $Hs * Tpm$ vergeleken voor de windrichtingen die bij die waterstand een kans van voorkomen groter dan 1/4000 hebben. De windrichtingen die een kans van voorkomen kleiner dan 1/4000 jaar hebben zijn hierbij niet meegenomen (grijze cellen in bijlage 5 en 6). De maatgevende windrichting per waterstand is de windrichting waarbij de hoogste waarde van $Hs * Tpm$ voorkomt.
- Kruinhoogte; Alle berekende Z2% waarden (Z2% + OWP) die een kans van voorkomen groter dan 1/4000 jaar hebben zijn met elkaar vergeleken. De maatgevende windrichting is de windrichting die de hoogste waarde van Z2% + Wst oplevert.

Tabel 3: Waterstand per windrichting bij ov.freq. 1/4000 jaar.

	Windrichtingen [°N]								
	omni	150	180	210	240	270	285	300	315
1/4000 kwantiel HW-standen Vlissingen	5.23	3.16	3.56	4.05	4.56	4.77	4.96	5.02	4.86
HW-standen + Toeslag ZSS (55 cm)	5.80	3.75	4.15	4.60	5.15	5.35	5.55	5.60	5.45

6. Resultaten gedetailleerde methode

De hierboven beschreven stappen resulteren in twee typen golfcondities. In tabel 4 zijn de berekende golfcondities weergegeven voor de kruinhoogte. Voor dit faalmechanisme is windrichting 285° maatgevend. Bij deze windrichting worden zowel hoge waterstanden (NAP +5,55) als hoge golven gegenereerd. In tabel 4 zijn als waterstand de hoogst optredende waterstand (bij windrichting 300°) en de omnidirectionele waterstand weergegeven.

Tabel 4: Golfcondities t.b.v. kruinhoogte

Ontwerp waterstand [m t.o.v. NAP]	Hs [m]	Tpm [s]	Mg. Wind [° N]
5.6	1.00	7.80	285
5.8 (omnidirectioneel)	1.00	7.80	285

Bij de bepaling van maatgevende windrichtingen per waterstand is duidelijk het effect van het bijdraaien van lange golven te zien in de haven. Bij lage waterstanden zijn de golven die uit het Zuidoosten komen maatgevend. Dit zijn over het algemeen hoge golven met lage golfperioden. Bij een toenemende waterstand worden golven vanaf de Noordzee steeds belangrijker, en wordt de maatgevende windrichting steeds westelijker. Omdat de hoogste waterstanden alleen voor kunnen komen bij west tot noordwestelijke windrichtingen worden deze richtingen maatgevend bij de hoogste waterstanden. De golfcondities voor dijkbekledingen zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5: Golfcondities t.b.v. dijkbekledingen

Waterstand [m t.o.v. NAP]	Hs [m]	Tpm [s]	Mg. Wind [° N]
2.00	1.50	5.00	150
3.75	1.60	5.30	150
4.15	1.05	5.95	210
4.60	1.15	6.00	210
5.15	1.00	7.85	240
5.35	0.95	7.70	270
5.55	1.00	7.80	285
5.60	0.90	7.80	300
5.80	0.70	8.05	315

Omdat dit vrijwel de eerste toepassing is waarbij de gedetailleerde methode in de praktijk ingezet is om hydraulische belastingen te bepalen is in bijlage 7 een evaluatie van de methode en het instrument opgenomen.

7. Vergelijking golfcondities gedetailleerde en geavanceerde methode.

In dit advies zijn, naast de reeds beschikbare golfcondities die door Alkyon berekend zijn met een geavanceerde methode ook golfcondities bepaald met de gedetailleerde methode die opgenomen wordt in de Leidraad Toetsen op Veiligheid. Beide methoden hebben zowel overeenkomsten als fundamentele verschillen. In tabel 6 zijn de berekende golfcondities voor dijkvak 10 met elkaar vergeleken voor beide methoden.

Tabel 6: Vergelijking resultaten gedetailleerde en geavanceerde methode(dijkbekledingen)

Waterstand [m t.o.v. NAP]	Gedetailleerde methode	Hs [m]		Gedetailleerde methode	Tpm [s]		Maatgevende windrichting [°N]		
		Geavanceerde methode zonder reflectie	Geavanceerde methode met reflectie		Geavanceerde methode zonder reflectie	Geavanceerde methode met reflectie	Gedetailleerde methode	Geavanceerde methode zonder reflectie	Geavanceerde methode met reflectie
2.00	1.50	0.65	0.65	5.00	5.25	5.25	150	150	150
3.75	1.60	0.75	0.75	5.30	5.50	5.50	150	150	150
4.15	1.05	0.75	0.75	5.95	5.55	5.55	210	150	150
4.60	1.15	0.75	0.75	6.00	5.55	5.55	210	150	150
5.15	1.00	0.75	0.65	7.85	5.60	7.30	240	150	195
5.35	0.95	0.75	0.50	7.70	5.65	9.60	270	150	255
5.55	1.00	0.80	0.35	7.80	5.65	11.90	285	150	315
5.60	0.90	0.80	0.40	7.80	5.65	11.40	300	150	300

Verklaring verschillen

Gedetailleerde methode

Golfhoogte is altijd aan de conservatieve kant, doordat de haven oneindig diep verondersteld wordt.

Doordat bij berekening van de belasting alleen combinaties van wind en waterstanden meegenomen zijn die een overschrijdingsfrequentie lager dan 1/4000 jaar hebben, ontstaat een fysisch realistisch beeld van de maatgevende windrichtingen bij toenemende waterstanden

De golfperiode in het havenbekken wordt wellicht iets onderschat doordat de invloed van reflectie niet in beschouwing genomen wordt.

De gedetailleerde methode maakt geen onderscheid tussen een invallende spectrum en een gereflecteerd spectrum. Hierdoor kan soms een overschatting van de golfhoogte ontstaan. Deze methode is conform alle berekeningen die voor de Westerschelde en Oosterschelde uitgevoerd zijn

Geavanceerde methode

Golfhoogte wordt beïnvloed door dieptebeperking en refractie

Bij de geavanceerde methode is alleen voor kruinhoogte de afhankelijkheid van de waterstand voor de windrichting in beschouwing genomen. Hierdoor ontstaat voor dijkbekledingen de niet reële situatie dat windrichting 150° maatgevend wordt bij NAP +6 meter.

De golfperiode in het havenbekken wordt met reflectie soms erg hoog. In principe is het mogelijk dat de golfperiode toeneemt bij reflectie van golven, maar referentiemateriaal (lees metingen) ontbreken.

Bij de geavanceerde methode wordt bij de som met reflectie de invallende energie gesplitst van de gereflecteerde energie. Voor kruinhoogte is dit naar verwachting acceptabel, omdat alleen de invallende golven overslag veroorzaken. Voor steenbekledingen ligt dit minder duidelijk. De golven reflecteren tegen de constructie en ook de reflecterende energie zorgt dus voor een belasting op de constructie. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de huidige ontwerpformules altijd uitgaan van de invallende golf.

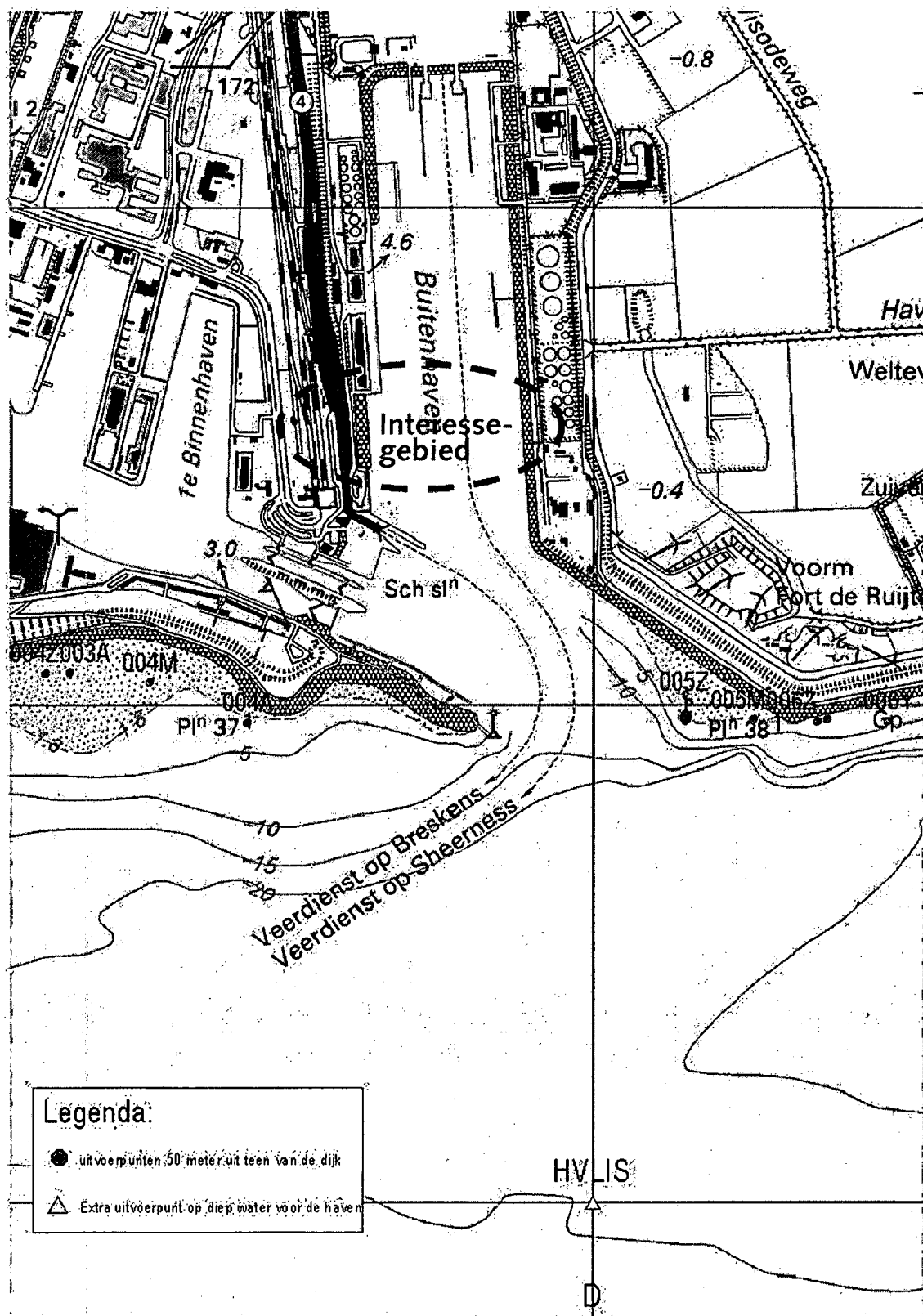
8. Conclusies en advisering

1. Voor de buitenhaven van Vlissingen is naast de geavanceerde methode ook de gedetailleerde methode toegepast om golfcondities te berekenen in het havenbekken. In alle onderzochte gevallen geeft de gedetailleerde methode een vertrouwenwekkend resultaat. In alle berekende gevallen levert de gedetailleerde methode een hogere golfhoogte op dan de geavanceerde methode.
2. Conform het beleid van robuust ontwerpen en scherp toetsen adviseert RIKZ om de geavanceerde methode waarbij de gereflecteerde energie niet meegenomen is, niet te gebruiken voor het ontwerpen van dijkhoogtes en dijkbekledingen. Hoewel de geavanceerde methode theoretisch goed in elkaar zit, en alleen de energie die naar de kering komt in beschouwing neemt, kan deze aanname voor het ontwerpen van kruinhoogten en dijkbekledingen tot onveilige situaties leiden. Al enige jaren bestaat het vermoeden dat de richtingsspreiding van golven in SWAN incorrect is, maar er zijn weinig goede metingen van richtingsspreiding bij storm beschikbaar. Een incorrecte richtingsspreiding kan grote gevolgen hebben bij toepassing van de resultaten van de geavanceerde methode met reflectie bij het ontwerp.
3. Het RIKZ adviseert op voor dijkvak 10 gebruik te maken van de berekende resultaten van de geavanceerde methode zonder reflectie of de resultaten van de gedetailleerde methode. Hierbij zijn enkele kanttekeningen te plaatsen:
 - a. Bij de geavanceerde methode is voor dijkbekleding geen rekening gehouden met de afhankelijkheid van de waterstand voor de wind. Hierdoor is de maatgevende windrichting Zuidoost. Door de hoge golven bij zuidoostelijke windrichtingen in combinatie met de lage golfperiode kan het zijn dat de golfperiode onderschat wordt. Bij westelijke windrichtingen zal de totale belastingsfunctie vrijwel gelijk zijn, maar de golfperiode aanzienlijk hoger zijn (ca. 8 sec.)
 - b. Bij beide methoden is geen rekening gehouden met het ontstaan van Seiches in het havenbekken. In het HR-2001 is hiervoor voor de toetsing wel een toeslag weergegeven van 30 centimeter.
 - c. Beide methoden gaan er impliciet van uit de havendam onderdeel uitmaakt van de primaire waterkering, en een veiligheidsniveau heeft van 1/4000 jaar.
 - d. In de gedetailleerde methode is de golfrichting niet meegenomen bij het bepalen van de golfploophoogte. Wel kan met zekerheid gezegd worden dat de golfrichting bij dijkvak 10 vrijwel nooit loodrecht zal zijn, maar onder een hoek van ca. 30° het talud zal naderen.

9. Geraadpleegde Literatuur

Ref.	Auteur(s)	Titel	Pub. datum	Registratie
Lit 1	Vledder, G. Ph. van	Hydraulische randvoorwaarden buitenhaven Vlissingen	Mei 2001	A677
Lit2	RIKZ	Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebied	September 2002	RIKZ/2002.034
Lit 3	Ministerie Verkeer en Waterstaat	Hydraulische Randvoorwaarden 2001	December 2001	
Lit 4	Andorka Gál, J.H.; Jong, J.C.M. de; Kamsteeg, A.T.	Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid	1997	RIKZ-97.046
Lit 5	Kamsteeg, A.T., Andorka Gál, J.H.; Ronde, J.G. de; Jong, J.C.M. de.	Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid (deel 2)	1998	RIKZ-98.018
Lit 6	Kamsteeg, A.T., Andorka Gál, J.H.; Ronde, Jacobse, J.J.	Golfberekeningen Oosterschelde	2001	RIKZ/2001.006
Lit 7	Roskam, A.P.; Hoekema, J.; Seijffert, J.J.W.	Richtingsafhankelijke extreme waarden voor HW-standen, golfhoogte en golfperioden	2000	RIKZ/2000.040
Lit 8	US Army Corps of Engineers	Shore Protection Manual	1984	

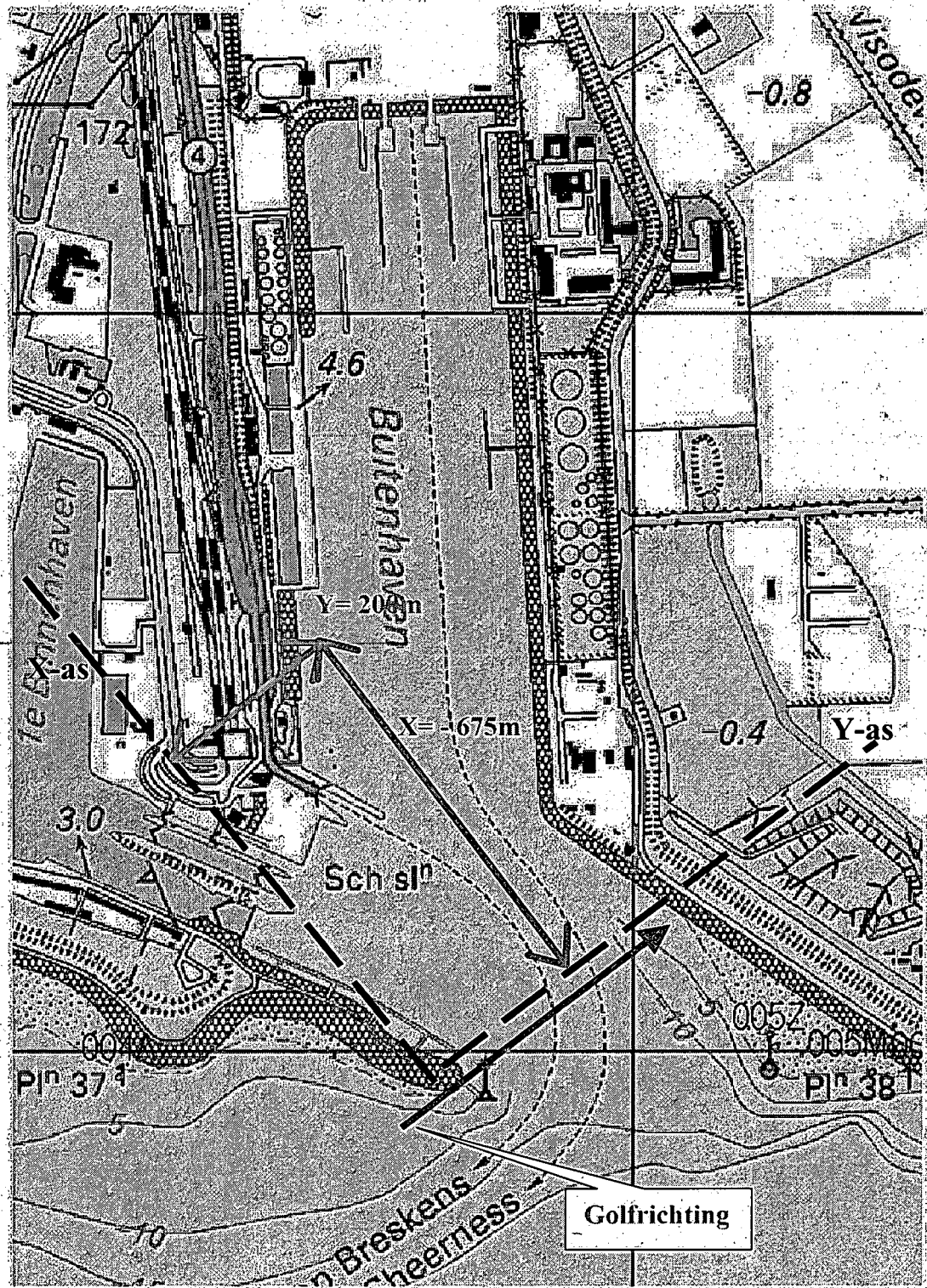
Bijlage 1 : topografisch kaartje, met de ligging van de uitvoerpunten van SWAN



Bijlage 2: Golfcondities in de havenmondning van de buitenhaven Vlissingen

	Wst	Windrichting [°N]							
		150	180	210	240	270	285	300	315
Hs [m]	2	1.5	1.5	1.9	2	2	1.7	1.5	1.2
	4	1.6	1.6	2.1	2.2	2.2	2	1.7	1.4
	6	1.7	1.6	2.2	2.5	2.4	2.2	1.9	1.6
Tpm [s]	2	5	4.9	5.7	6.7	7.2	7.2	7.1	6.9
	4	5.3	5.1	5.9	7.4	7.4	7.8	7.8	7.4
	6	5.5	5.3	6.2	8.1	7.8	7.8	7.8	8.1
Golfrichting [°N]	2	150	190	215	235	240	245	250	250
	4	150	190	215	235	240	245	250	250
	6	150	190	215	235	240	245	250	250

Bijlage 3: Schematisatie assenstelsel diffractie gedetailleerde methode



Bijlage 4a: Berekende golfcondities gedetailleerde methode; NAP +2 m

Buitenhaven Vlissingen; golfcondities berekend met methode voor rww in havens NAP+2m								
	150	180	210	240	270	285	300	315
Invoer								
Hs	1.5	1.5	1.9	2	2	1.7	1.5	1.2
Tp	5	4.9	5.7	6.7	7.2	7.2	7.1	6.9
Beta	65	25	0	-10	-25	-40	-45	-45
Waterstand	2	2	2	2	2	2	2	2
L0	39.03	37.49	50.73	70.09	80.94	80.94	78.71	74.33
DiffRACTIE								
Aantal dammen	1	1	1	1	1	1	1	1
Smax	10	10	10	10	10	10	10	10
B	0	0	0	0	0	0	0	0
X	190	-250	-450	-675	-580	-600	-610	-600
Y	620	560	450	200	180	150	80	70
B/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Diagram	0	0	0	0	0	0	0	0
X/L	4.87	-6.67	-8.87	-9.63	-7.17	-7.41	-7.75	-8.07
Y/L	15.88	14.94	8.87	2.85	2.22	1.85	1.02	0.94
Kd	0.9	0.53	0.39	0.2	0.22	0.2	0.2	0.2
Transmissie								
Kruinhoogte	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Type dam	4	4	4	4	4	4	4	4
Omschrijving anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Alpha anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Beta anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Alpha-reken	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Beta-reken	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Vrijboord	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
Kt	0	0	0	0	0	0	0	0
Interactie								
Kd,t	0.9	0.53	0.39	0.2	0.22	0.2	0.2	0.2
Lokale golfgroei								
Aangrijppunt strijklengte	0	0	0	0	0	0	0	0
F	650	500	400	0	0	0	0	0
U10	30	30	30	0	0	0	0	0
Fdimensieloos	7.09	5.45	4.36	0	0	0	0	0
Hs lg	0.58	0.51	0.45	0	0	0	0	0
Elg	0.0208	0.0161	0.0129	0	0	0	0	0
Berekeningsresultaten								
Golfhoogte	1.5	0.9	0.9	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
Golfperiode	5	4.9	5.7	6.7	7.2	7.2	7.1	6.9
Golfhoek	0	0	0	0	0	0	0	0
Waarschuwingen								
Afgekapte diffractiecoëfficiënt	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Hs*Tp	7.5	4.41	5.13	2.68	2.88	2.16	2.13	1.38
Hs2*Tp	11.25	3.969	4.617	1.072	1.152	0.648	0.639	0.276
Hs*Tp2	37.5	21.609	29.241	17.956	20.736	15.552	15.123	9.522

Bijlage 4b: Berekende golfcondities gedetailleerde methode; NAP +4 m

Buitenhaven Vlissingen; golfcondities berekend met methode voor rvw in havens NAP+4m								
	150	180	210	240	270	285	300	315
Invoer								
Hs	1.6	1.6	2.1	2.2	2.2	2	1.7	1.4
Tp	5.3	5.1	5.9	7.4	7.4	7.8	7.8	7.4
Beta	65	25	0	-10	-25	-40	-45	-45
Waterstand	4	4	4	4	4	4	4	4
L0	43.86	40.61	54.35	85.5	85.5	94.99	94.99	85.5
DiffRACTIE								
Aantal dammen	1	1	1	1	1	1	1	1
Smax	10	10	10	10	10	10	10	10
B	0	0	0	0	0	0	0	0
X	190	-250	-450	-675	-580	-600	-610	-600
Y	620	560	450	200	180	150	80	70
B/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Diagram	0	0	0	0	0	0	0	0
X/L	4.33	-6.16	-8.28	-7.89	-6.78	-6.32	-6.42	-7.02
Y/L	14.14	13.79	8.28	2.34	2.11	1.58	0.84	0.82
Kd	0.9	0.58	0.38	0.2	0.21	0.2	0.2	0.2
Transmissie								
Kruinhoogte	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Type dam	4	4	4	4	4	4	4	4
Omschrijving anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Alpha anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Beta anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Alpha-reken	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Beta-reken	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Vrijboord	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Kt	0.08	0.08	0.13	0.14	0.14	0.12	0.09	0.05
Interactie								
Kd,t	0.9	0.58	0.4	0.24	0.25	0.23	0.22	0.21
Lokale golfgroei								
Aangrijppunt strijklengte	0	0	0	0	0	0	0	0
F	650	500	400	0	0	0	0	0
U10	30	30	30	0	0	0	0	0
Fdimensieloos	7.09	5.45	4.36	0	0	0	0	0
Hs_lg	0.58	0.51	0.45	0	0	0	0	0
Elg	0.0208	0.0161	0.0129	0	0	0	0	0
Berekeningsresultaten								
Golfhoogte	1.6	1.1	1	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3
Golfperiode	5.3	5.1	5.9	7.4	7.4	7.8	7.8	7.4
Golfhoek	0	0	0	0	0	0	0	0
Waarschuwingen								
Afgekapte diffractiecoefficient	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Samenvatting								
Hs*Tp	8.48	5.61	5.9	3.7	4.44	3.9	3.12	2.22
Hs ² *Tp	13.568	6.171	5.9	1.85	2.664	1.95	1.248	0.666
Hs*Tp ²	44.944	28.611	34.81	27.38	32.856	30.42	24.336	16.428

Bijlage 4c: Berekende golfcondities gedetailleerde methode; NAP +6 m

Buitenhaven Vlissingen; golfcondities berekend met methode voor rww in havens NAP+6m								
	150	180	210	240	270	285	300	315
Invoer								
Hs	1.7	1.6	2.2	2.5	2.4	2.2	1.9	1.6
Tp	5.5	5.3	6.2	8.1	7.8	7.8	7.8	8.1
Beta	65	25	0	-10	-25	-40	-45	-45
Waterstand	6	6	6	6	6	6	6	6
L0	47.23	43.86	60.02	102.44	94.99	94.99	94.99	102.44
DiffRACTIE								
Aantal dammen	1	1	1	1	1	1	1	1
Smax	10	10	10	10	10	10	10	10
B	0	0	0	0	0	0	0	0
X	190	-250	-450	-675	-580	-600	-610	-600
Y	620	560	450	200	180	150	80	70
B/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Diagram	0	0	0	0	0	0	0	0
X/L	4.02	-5.7	-7.5	-6.59	-6.11	-6.32	-6.42	-5.86
Y/L	13.13	12.77	7.5	1.95	1.89	1.58	0.84	0.68
Kd	0.9	0.58	0.38	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Transmissie								
Kruinhoogte	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
Type dam	4	4	3	3	4	3	3	4
Omschrijving anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Alpha anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Beta anders...	0	0	0	0	0	0	0	0
Alpha-reken	2.4	-2.4	2.6	2.6	2.4	2.6	2.6	2.4
Beta-reken	0.4	0.4	0.15	0.15	0.4	0.15	0.15	0.4
Vrijboord	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
Kt	0.41	0.41	0.48	0.48	0.4	0.48	0.49	0.41
Interactie								
Kd,t	0.92	0.67	0.58	0.51	0.44	0.51	0.52	0.45
Lokate golfgroei								
Aangrijppunt strijklengte	0	0	0	0	0	0	0	0
F	650	500	400	0	0	0	0	0
U10	30	30	30	0	0	0	0	0
Fdimensieloos	7.09	5.45	4.36	0	0	0	0	0
Hs_lg	0.58	0.51	0.45	0	0	0	0	0
Elg	0.0208	0.0161	0.0129	0	0	0	0	0
Berekeningsresultaten								
Golfhoogte	1.7	1.2	1.4	1.3	1.1	1.1	1	0.7
Golfperiode	5.5	5.3	6.2	8.1	7.8	7.8	7.8	8.1
Golfhoek	0	0	0	0	0	0	0	0
Waarschuwingen								
Afgekapte diffractiecoefficient	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Hs*Tpm	9.35	6.36	8.68	10.53	8.58	8.58	7.8	5.67
Hs2*Tpm	15.895	7.632	12.152	13.689	9.438	9.438	7.8	3.969
Hs*Tpm2	51.425	33.708	53.816	85.293	66.924	66.924	60.84	45.927

Bijlage 5: interpolatie van Hs en Tpm naar de 1/4000 waterstanden per windrichting.

 Kans van voorkomen kleiner dan 1/4000 jaar.

Hs standaard waterstanden [m. t.o.v. NAP]	Windrichtingen [°N]									
	omni	150	180	210	240	270	285	300	315	
2		1.5	0.9	0.9	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	
4		1.6	1.1	1	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	
6		1.7	1.2	1.4	1.3	1.1	1.1	1	0.7	
1/4000 kwantiel HW-standen Vlissingen	5.23	3.16	3.56	4.05	4.56	4.77	4.96	5.02	4.86	
HW-standen + Toeslag ZSS (55 cm)	5.80	3.75	4.15	4.60	5.15	5.35	5.55	5.60	5.45	
geïnterpoleerde waarde Hs (1/4000)		1.59	1.11	1.12	0.96	0.94	0.97	0.88	0.59	
wst per windrichting [m. t.o.v. NAP]	Windrichtingen [°N]									
	150	180	210	240	270	285	300	315		
(wst bij 150°)	3.75	1.59	1.08	0.99	0.49	0.58	0.48	0.39	0.29	
(wst bij 180°)	4.15	1.61	1.11	1.03	0.56	0.64	0.55	0.45	0.33	
(wst bij 210°)	4.6	1.63	1.13	1.12	0.74	0.75	0.68	0.58	0.42	
(wst bij 240°)	5.15	1.66	1.16	1.23	0.96	0.89	0.85	0.75	0.53	
(wst bij 270°)	5.35	1.67	1.17	1.27	1.04	0.94	0.91	0.81	0.57	
(wst bij 285°)	5.55	1.68	1.18	1.31	1.12	0.99	0.97	0.87	0.61	
(wst bij 300°)	5.6	1.68	1.18	1.32	1.14	1.00	0.98	0.88	0.62	
(wst bij 315°)	5.45	1.67	1.17	1.29	1.08	0.96	0.94	0.84	0.59	
(wst onmidirectioneel)	5.8	1.69	1.19	1.36	1.22	1.05	1.04	0.94	0.66	

Tpm standaard waterstanden [m. t.o.v. NAP]	Windrichtingen [°N]									
	omni	150	180	210	240	270	285	300	315	
2		5	4.9	5.7	6.7	7.2	7.2	7.1	6.9	
4		5.3	5.1	5.9	7.4	7.4	7.8	7.8	7.4	
6		5.5	5.3	6.2	8.1	7.8	7.8	7.8	8.1	
1/4000 kwantiel HW-standen Vlissingen	5.23	3.16	3.56	4.05	4.56	4.77	4.96	5.02	4.86	
HW-standen + Toeslag ZSS (55 cm)	5.80	3.75	4.15	4.60	5.15	5.35	5.55	5.60	5.45	
geïnterpoleerde waarde Hs (1/4000)		5.26	5.12	5.99	7.80	7.67	7.80	7.80	7.91	
wst per windrichting [m. t.o.v. NAP]	Windrichtingen [°N]									
	150	180	210	240	270	285	300	315		
(wst bij 150°)	3.75	5.26	5.08	5.88	7.31	7.38	7.73	7.71	7.34	
(wst bij 180°)	4.15	5.32	5.12	5.92	7.45	7.43	7.80	7.80	7.45	
(wst bij 210°)	4.6	5.36	5.16	5.99	7.61	7.52	7.80	7.80	7.61	
(wst bij 240°)	5.15	5.42	5.22	6.07	7.80	7.63	7.80	7.80	7.80	
(wst bij 270°)	5.35	5.44	5.24	6.10	7.87	7.67	7.80	7.80	7.87	
(wst bij 285°)	5.55	5.46	5.26	6.13	7.94	7.71	7.80	7.80	7.94	
(wst bij 300°)	5.6	5.46	5.26	6.14	7.96	7.72	7.80	7.80	7.96	
(wst bij 315°)	5.45	5.45	5.25	6.12	7.91	7.69	7.80	7.80	7.91	
(wst onmidirectioneel)	5.8	5.48	5.28	6.17	8.03	7.76	7.80	7.80	8.03	

Bijlage 6: interpolatie van belastingsfuncties voor dijkbekledingen en kruinhoogte naar de 1/4000 waterstanden per windrichting.



Kans van voorkomen kleiner dan 1/4000 jaar.

Hs*Tpm		Windrichtingen [°N]								
standaard waterstanden	<i>[m. t.o.v. NAP]</i>	<i>omni</i>	150	180	210	240	270	285	300	315
2			7.50	4.41	5.13	2.68	2.88	2.16	2.13	1.38
4			8.48	5.61	5.90	3.70	4.44	3.90	3.12	2.22
6			9.35	6.36	8.68	10.53	8.58	8.58	7.80	5.67
<i>1/4000 kwantiel HW-standen Vlissingen</i>		5.23	3.16	3.56	4.05	4.56	4.77	4.96	5.02	4.86
<i>HW-standen + Toeslag ZSS (55 cm)</i>		5.80	3.75	4.15	4.60	5.15	5.35	5.55	5.60	5.45
geïnterpoleerde waarde Hs (1/4000)			8.36	5.67	6.73	7.63	7.23	7.53	6.86	4.72
wst per windrichting		<i>[m. t.o.v. NAP]</i>	150	180	210	240	270	285	300	315
(wst bij 150°)		3.75	8.36	5.46	5.80	3.57	4.25	3.68	3.00	2.12
(wst bij 180°)		4.15	8.55	5.67	6.11	4.21	4.75	4.25	3.47	2.48
(wst bij 210°)		4.6	8.74	5.84	6.73	5.75	5.68	5.30	4.52	3.26
(wst bij 240°)		5.15	8.98	6.04	7.50	7.63	6.82	6.59	5.81	4.20
(wst bij 270°)		5.35	9.07	6.12	7.78	8.31	7.23	7.06	6.28	4.55
(wst bij 285°)		5.55	9.15	6.19	8.05	8.99	7.65	7.53	6.75	4.89
(wst bij 300°)		5.6	9.18	6.21	8.12	9.16	7.75	7.64	6.86	4.98
(wst bij 315°)		5.45	9.11	6.15	7.92	8.65	7.44	7.29	6.51	4.72
(wst onmidirectioneel)		5.8	9.26	6.29	8.40	9.85	8.17	8.11	7.33	5.33

Z2% = 0,74*Tpm*Wortel(g*Hs)*Tan alpha		Windrichtingen [°N]								
standaard waterstanden	<i>[m. t.o.v. NAP]</i>	<i>omni</i>	150	180	210	240	270	285	300	315
2			6.73	5.59	6.18	5.27	5.52	5.05	5.00	4.38
4			9.18	8.13	8.56	8.04	8.43	8.26	7.81	7.13
6			11.54	10.49	11.67	13.14	12.32	12.32	12.03	11.24
<i>1/4000 kwantiel HW-standen Vlissingen</i>		5.23	3.16	3.56	4.05	4.56	4.77	4.96	5.02	4.86
<i>HW-standen + Toeslag ZSS (55 cm)</i>		5.80	3.75	4.15	4.60	5.15	5.35	5.55	5.60	5.45
geïnterpoleerde waarde Hs (1/4000)			8.87	8.31	9.49	10.97	11.06	11.41	11.18	10.11
wst per windrichting		<i>[m. t.o.v. NAP]</i>	150	180	210	240	270	285	300	315
(wst bij 150°)		3.75	8.87	7.81	8.26	7.70	8.06	7.86	7.46	6.79
(wst bij 180°)		4.15	9.36	8.31	8.79	8.42	8.72	8.57	8.13	7.44
(wst bij 210°)		4.6	9.89	8.84	9.49	9.57	9.60	9.48	9.08	8.36
(wst bij 240°)		5.15	10.54	9.49	10.35	10.97	10.67	10.60	10.23	9.49
(wst bij 270°)		5.35	10.77	9.72	10.66	11.48	11.06	11.00	10.66	9.90
(wst bij 285°)		5.55	11.01	9.96	10.97	11.99	11.44	11.41	11.08	10.31
(wst bij 300°)		5.6	11.07	10.01	11.05	12.12	11.54	11.51	11.18	10.41
(wst bij 315°)		5.45	10.89	9.84	10.81	11.73	11.25	11.20	10.87	10.11
(wst onmidirectioneel)		5.8	11.30	10.25	11.36	12.63	11.93	11.91	11.60	10.83

Bijlage 7: Evaluatie van het gebruik van de gedetailleerde methode voor golfbelastingen in havens en afgeschermd gebieden.

Uit toepassing van de gedetailleerde methode volgen de onderstaande leerpunten:

- Het schematiseren van de haven en van de diffractie-assen is niet triviaal. Hiermee worden gemakkelijk fouten gemaakt.
- De methode moet altijd toegepast worden voor alle relevante windrichtingen, en niet alleen voor de windrichting die aan de havenmonding maatgevend is.
- Het rekeninstrument werkt met aparte rekenregels. Indien in het instrument de knop "onderbreken" geselecteerd wordt, wordt het rekeninstrument ontkoppeld van de rekenregels. Hierdoor is het dus onvoldoende om alleen de macro "herstarten" te gebruiken om een nieuwe som te starten, maar dient Excel na een onderbreking opnieuw opgestart te worden.
- Het doorrekenen van diverse relevante windrichtingen bij meerdere waterstanden is zeer tijdrovend. Daarom adviseert RIKZ om bij een grootschalige toepassing, zoals een toetsing, het instrument ook als spreadsheet te laten functioneren. Dit zou praktisch vormgegeven kunnen worden door een keuzescherf eenvoudig / geavanceerd in te bouwen. Indien de gebruiker "geavanceerd" kiest wordt het spreadsheet opgestart.