

GOLFBREKERONTWERP VOOR RUSTIG GOLFKLIMAAT TEN BEHOEVE VAN DE HAVENUITBREIDING VAN ST. EUSTATIUS

EEN HAALBAARHEIDSSTUDIE

DEEL 1 ONTWERP GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIE

JULI 1998




TU Delft

**GOLFBREKERONTWERP VOOR RUSTIG
GOLFKLIMAAT TEN BEHOEVE VAN DE
HAVENUITBREIDING VAN ST. EUSTATIUS**

EEN HAALBAARHEIDSSSTUDIE

DEEL 1 ONTWERP GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIE

JULI 1998

Afstudeerverslag

Door: M.G.G. Raupp

Technische Universiteit Delft,
Faculteit der Civiele Techniek,
Vakgroep Waterbouwkunde.

Afstudeercommissie:

prof. drs. ir. Vrijling,

ir. H.K.T. Kuijper,

dr. ir. L.H. Holthuijsen,

ir. A.D. Maier.

sectie Constructieve Waterbouwkunde

sectie Constructieve Waterbouwkunde

sectie Vloeistofmechanica

raadgevend ingenieur

VOORWOORD

Dit afstudeerrapport is geschreven voor het behalen van mijn ingenieurstitel aan de faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. Hiervoor is onderzoek gedaan naar een golfbreker voor rustig golfklimaat voor de havenuitbreiding van St. Eustatius. Welke onderdelen aan bod zijn gekomen en hoe het onderzoek is uitgevoerd kunt u lezen in deel 1 en deel 2. Dit gedeelte is bestemd voor het bedanken van de mensen die het mij mogelijk hebben gemaakt mijn studie te volgen en af te ronden.

Als eerste wil ik mijn afstudeercommissie bedanken voor de begeleiding en ondersteuning tijdens mijn afstudeeronderzoek. Zij hebben telkens met veel geduld mijn ingeleverde werk beoordeeld en voorzien van commentaar. Mijn familie, mijn vader en moeder in het bijzonder, wil ik bedanken voor de steun en het eeuwige vertrouwen de afgelopen jaren.

Verder wil ik mijn vrienden, mijn huis, Aeolus en de waterbouwkamer bedanken voor de afleiding en ontspanning tijdens mijn studie in Delft. Zonder hun was het waarschijnlijk allemaal anders verlopen.

Als laatste wil ik Renée bedanken voor haar vertrouwen en ondersteuning. Haar uitdrukking "Het waait dictaatjes" zal binnenkort helaas niet meer van toepassing zijn.

Maarten Raupp

SAMENVATTING

Nadat een orkaanwaarschuwing voor het Caribisch gebied, waarin gelegen het eiland St. Eustatius, is afgegeven, vertrekken plezierjachten, cruise-schepen en vissersbootjes naar veilige gebieden, waardoor de haven van St. Eustatius geen functie heeft tijdens het passeren van een orkaan. In deze haalbaarheidsstudie is onderzocht of het mogelijk is een golfdempende constructie te ontwerpen die functioneert tijdens normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden en die overleeft tijdens het passeren van een orkaan door het opheffen van de golfdempende functie. Hierdoor is naar een oplossing gezocht binnen een toepassing van verticale golfdempende schermen of drijvende golfbrekers.

De golfdempende eigenschappen van de constructie worden bepaald door het ondiepwater golfklimaat aan de zeezijde van de constructie en het gewenste havenklimaat aan de havenzijde van de constructie. Met behulp van het computermodel SWAN, zijn de diepwatergolfdaten, waarin aangebracht de invloeden van de omliggende eilanden en riffen, omgerekend naar een ondiepwatergolfklimaat op locatie in de Oranjebaai waar de waterdiepte ca. 7 m bedraagt. De gewenste golfdempende eigenschappen van de constructie zijn berekend met CREON, een computermodel wat de golfdoordringing in een haven simuleert.

Aan de hand van het uitgevoerde literatuuronderzoek zijn 3 alternatieven voor het ontwerp opgesteld. De alternatieven 1 en 2 voldoen aan de gestelde uitgangspunten en randvoorwaarden en alternatief 3 is een permanente constructie, waarmee de alternatieven 1 en 2 zijn vergeleken. In het onderzoek zijn de volgende alternatieven uitgewerkt:

- Alternatief 1, 'Draagconstructie met neerklapbare schotten'
- Alternatief 2, 'Draagconstructie met "wegwerp" golfdempende elementen'
- Alternatief 3, 'Permanente constructie die een orkaan kan weerstaan'

De golfdempende constructie is opgebouwd uit een draagconstructie, waarin de waterkerende elementen worden bevestigd. De golfdempende eigenschappen van de constructie zijn bepaald aan de hand van het normale golfklimaat en rustige weersomstandigheden. Bij de alternatieven 1 en 2 wordt tijdens het optreden van een gekozen ontwerp golfhoogte de golfdempende functie opgeheven. Op deze ontwerp golfhoogte worden de waterkerende elementen gedimensioneerd. De draagconstructie van de alternatieven 1 en 2 is berekend op de maximale individuele golfhoogte bij gegeven waterdiepte van ca. 7 m. Voor alternatief 3 zijn zowel de draagconstructie als de waterkerende elementen gedimensioneerd op een maximale individuele golfhoogte bij gegeven waterdiepte van ca. 7 m.

Na de constructieve evaluatie en de evaluatie met betrekking tot de praktijkuitvoering van de verschillende alternatieven is geconcludeerd dat alternatief 1 het meest geschikt is als golfdempende constructie voor de havenuitbreiding van St. Eustatius, binnen een toepassing van verticale golfdempende schermen of drijvende golfbrekers. Door middel van een globale berekening van de constructiekosten voor alternatief 1 en een stortstenen golfbreker is vastgesteld dat de constructiekosten voor alternatief 1 ca. 10% bedragen van de constructie kosten van een stortstenen golfbreker. Alhoewel de berekening zeer globaal is, geeft deze aan dat het toepassen van het ontwerp voor de golfdempende constructie winstgevend kan zijn.

Hierbij wordt opgemerkt dat het gedrag van het afgezonken golfschot van alternatief 1 tijdens het optreden van een orkaan bepalend is voor het succesvol toepassen van het ontwerp. Aanbevolen wordt om door middel van modelonderzoek dit gedrag vast te stellen.

LIJST MET SYMBOLEN

<u>Symbol</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>dimensie</u>
B	breedte constructie (in dwarsdoorsnede)	[m]
c	golfvoortplantingssnelheid	[m/s]
C _D	'drag' coëfficiënt	[-]
C _L	'lift' coëfficiënt	[-]
D	diepte constructie beneden gemiddeld zeeniveau	[m]
D	paaldiameter	[m]
E	golffenergie	[J/m ²]
E	elasticiteitsmodulus	[N/m ²]
g	zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
h	waterdiepte	[m]
h _F	aangrijphoogte kracht F	[m]
H _D	ontwerpgolfhoogte	[m]
H _I	inkomende golfhoogte	[m]
H _R	gereflecteerde golfhoogte	[m]
H _T	doorgelaten golfhoogte	[m]
H _S	significante golfhoogte	[m]
H _{SO}	significante golfhoogte op diepwater	[m]
H _m	maximale golfhoogte	[m]
I	traagheidsmoment	[m ⁴]
k	golffgetal	[rad/m]
K _p	passieve gronddrukcoëfficiënt	[-]
K _R	reflectiecoëfficiënt	[-]
K _S	shoalingfaktor	[-]
K _T	transmissiecoëfficiënt	[-]
L	golflengte	[m]
L _D	ontwerpgolflengte	[m]
L _{jacht}	lengte plezierjacht	[m]
m	massa	[N]
p	porositeit	[%]
p	druk	[N/m ²]
P	horizontale belasting	[N]
R _e	getal van Reynolds	[-]
t	inheidiepte	[m]
t ₀	diepteligging momentennulpunt belasting	[m]
T	golffperiode	[s]
T _N	eigenperiode	[s]
T _Z	"zero-crossing" golffperiode	[s]
W	weerstandmoment	[m ³]
β	steilheid van de vooroever	[°]
δ	verplaatsing	[m]
γ	soortelijk gewicht	[N/m ³]
γ _{br}	brekerparameter	[-]
γ _{eff}	effectief volume gewicht van de grond	[N/m ³]
ρ	dichtheid van (zee)water	[N/m ³]
ξ	Irribaren brekerparameter	[-]
η	Golfhoogte	[m]

LIJST MET AFKORTINGEN:

<u>Afkorting</u>		<u>Betekenis</u>
BMO	:	The British Meteorological Office
FTB	:	Floating Tire Breakwater
GWS	:	Global Wave Statistics
H.W.S	:	High Water Spring
L.W.S.	:	Low Water Spring
M.S.L.	:	Mean Sea Level
OWS	:	Ocean Wave Statistics
ref. #	:	referentie #
SPM	:	Shore Protection Manual, 1984

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

SAMENVATTING

LIJST MET SYMBOLEN

LIJST MET AFKORTINGEN

1. INLEIDING	3
1.1 Probleemomschrijving.....	4
1.2 Probleemstelling	4
1.3 Doelstelling	4
1.4 Aanpak van de opdracht	5
1.5 Opbouw van de rapportage	5
2. BESCHRIJVING HUIDIGE SITUATIE	6
2.1 Geografische situatie	6
2.1.1 <i>De geografische ligging van St. Eustatius</i>	6
2.1.2 <i>De ligging van de Oranjebaaï haven</i>	6
2.1.3 <i>De bathymetrie van de zeebodem en de bodemgesteldheid in de haven</i>	6
2.2 Het klimaat.....	7
2.2.1 <i>Het weerklimaat</i>	7
2.2.2 <i>Het lokale ondiepwatergolfklimaat</i>	7
2.3 Algemeen	8
2.3.1 <i>Geschiedenis</i>	8
2.3.2 <i>De beroepsbevolking en de economische ontwikkelingen</i>	8
2.3.3 <i>Het toekomstperspectief</i>	8
3. UITGANGSPUNTEN, RANDVOORWAARDEN EN AANNAMEN.....	9
3.1 Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden golfdempende constructie	9
3.2 Randvoorwaarden opgelegd door de bezoekende schepen	10
3.2.1 <i>Afmetingen bezoekende schepen</i>	10
3.2.2 <i>Ontwerpgolfhoogte voor plezierjachthavens</i>	10
3.2.3 <i>Ontwerpgolfperiode voor plezierjachthavens</i>	11
3.3 Aannamen	13
3.3.1 <i>Ontwerpgolfhoogte en -periode voor het functioneren van de golfdempende constructie</i> 13	
3.3.2 <i>Ontwerpgolfhoogte en -periode tijdens orkaanomstandigheden</i>	14
4. FORMULERING VAN ALTERNATIEVEN	16
4.1 Conclusie literatuuronderzoek	16
4.2 Bepalen van de verticale schermafmetingen van de golfdempende constructie	16
4.3 Beschrijving van alternatieven	17
4.3.1 <i>Alternatief 1</i>	18
4.3.2 <i>Alternatief 2</i>	19
4.3.3 <i>Alternatief 3</i>	19

1. Inleiding

Het is een wens van de autoriteiten van het Bovenwindse eiland St. Eustatius om de welvaart ter plaatse te vergroten. Dit wil men bereiken door het eiland aantrekkelijker te maken voor het toerisme. Het eiland is te bereiken per boot of met het vliegtuig. Door onder andere de aanlegfaciliteiten voor zeiljachten en de afmeerfaciliteiten voor middelgrootte cruise-schepen in de Oranjebaai haven nabij Oranjestad te verbeteren, willen de autoriteiten het aantrekkelijker maken voor toeristen en touroperators om het eiland in hun rondreis door het Caribisch gebied op te nemen.

St. Eustatius is gelegen in een orkaangevoelige zone van het Caribisch gebied (zie figuur 1.1). Hierdoor dienen permanente constructies in zee te worden gedimensioneerd op de belastingen voortkomend uit orkanen, waardoor de onkosten hoog oplopen. Wanneer een orkaanwaarschuwing wordt afgegeven, vetrekken de plezierjachten, cruise-schepen en vissersbootjes naar veiligere gebieden. Hierdoor heeft de haven van St. Eustatius geen beschermende functie tijdens het passeren van een orkaan, maar moet deze wel kunnen overleven.

In deze haalbaarheidsstudie is onderzocht of het mogelijk is om een constructie te ontwerpen die functioneert tijdens normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden en die overleeft tijdens een orkaan door het opheffen van de golfdempende functie. Hierdoor zal bij toenemende golfhoogten de belasting niet toenemen, waardoor onderdelen van de constructie op een lagere belasting kunnen worden gedimensioneerd dan de belasting voortkomend uit orkaanomstandigheden. Een lagere belasting resulteert in het algemeen in een goedkopere constructie.

Voor het dimensioneren van de golfdempende onderdelen van de constructie op een lagere belasting dan de orkaanbelasting is het noodzakelijk dat deze onderdelen (tijdelijk) kunnen worden verwijderd, waardoor de golfdempende functie wordt opgeheven. Hierdoor wordt het ontwerp gezocht in een toepassing met verticale golfdempende schermen of drijvende golfbrekers. Door middel van literatuuronderzoek is onderzocht wat de beste optie is voor een mogelijke toepassing als golfdemper voor de uitbreiding van de Oranjebaai haven.

De eigenschappen van de golfdempende constructie worden bepaald door het golfklimaat aan de zeezijde van de constructie en door het gewenste golfklimaat aan de havenzijde van de constructie. Om de randvoorwaarden aan de zeezijde vast te stellen, is met het computermodel SWAN een ondiepwatergolfklimaat berekend aan de zeezijde van de mogelijke locatie van de te ontwerpen constructie. SWAN berekent onder andere de voortplanting van golven in ondiepe kustzones. De benodigde eigenschappen van de constructie zijn berekend met behulp van het computermodel CREON, waarmee de golfdoordringing in havens kan worden gesimuleerd.

De benodigde golfdempende eigenschappen resulteren in minimale afmetingen van de constructie. Voor een eerste ontwerp zijn twee alternatieven opgesteld en doorgerekend, welke worden vergeleken met een permanente golfdempende constructie. Na het dimensioneren worden de alternatieven geëvalueerd en getoetst op haalbaarheid. Tevens worden de globale constructiekosten van het alternatief met de grootste haalbaarheid vergeleken met de constructiekosten van een stortstenen golfbreker.

Aan de hand van het literatuuronderzoek, het golfonderzoek, de dimensionering en de evaluatie worden conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek gegeven.

1.1 Probleemomschrijving

Momenteel ondervinden zeiljachten, die in de Oranjebaai haven op St. Eustatius onder normale weersomstandigheden voor anker liggen, voornamelijk hinder van deining. Dit is te ondervangen door het aanleggen van een golfdempende constructie. Uit onderzoek in het verleden is gebleken dat uitbreiding van de haven op de conventionele manier, dat wil zeggen de huidige golfbreker verlengen met de reeds eerder toegepaste constructie, op dit moment te kostbaar is.

Een conventionele golfbreker (stortsteen- en/of monolietconstructie) in het Caribisch gebied dient te worden gedimensioneerd op golven die ontstaan tijdens zware stormen en orkanen, vergelijkbaar met hurricane Luis (1995), één van de zwaarst waargenomen orkanen in het gebied. Hierdoor lopen de kosten hoog op voor een relatief kleine havenuitbreiding. Voor het verbeteren van het golfklimaat in de haven dient dus een relatief goedkoop en toch functioneel alternatief te worden bedacht.

Dit probleem speelt niet alleen op St. Eustatius, maar op meerdere eilanden in het Caribisch gebied. Hierdoor is het wenselijk dat de golfdempende constructie op meerdere locaties toepasbaar is, zij het na enige aanpassingen afhankelijk van de lokale omstandigheden.

1.2 Probleemstelling

Wanneer het Caribisch gebied wordt getroffen door een orkaan liggen de zeiljachten en cruise-schepen niet in de haven van St. Eustatius, omdat die na de tijdige orkaanwaarschuwing de locatie hebben verlaten. De eilandbewoners proberen gedurende deze extreme omstandigheden de (weinig) vissersboten onder te brengen in de haven van St. Maarten. Hierdoor heeft de haven van St. Eustatius geen functie tijdens stormcondities en kan de golfdempende functie tijdelijk worden opgeheven.

De te ontwerpen constructie, die het golfklimaat in de haven van St. Eustatius onder normale weersomstandigheden en rustig golfklimaat moet verbeteren, hoeft daarom niet te functioneren tijdens een orkaan, maar dient die wel te kunnen weerstaan. Ook is het om deze reden eventueel acceptabel dat sommige onderdelen van de constructie verwoest kunnen worden tijdens extreme golfaanval, waarna deze onder normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden op eenvoudige wijze opnieuw kunnen worden geïnstalleerd of vervangen. De golfdempende onderdelen kunnen hierdoor worden gedimensioneerd op het golfklimaat voortkomend uit normale weersomstandigheden, waardoor kosten kunnen worden bespaard.

1.3 Doelstelling

Twee typen golfdempende constructies, welke worden toegepast voor het aanleggen van plezierjachthavens, zijn verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers. Deze typen golfdempers zijn echter maar onder bepaalde omstandigheden bruikbaar. In deze haalbaarheidsstudie is onderzocht of het mogelijk is om deze typen golfdempers te gebruiken voor de uitbreiding van de haven op St. Eustatius.

Naar aanleiding van bovenstaande omschrijving is de volgende opdracht geformuleerd:

“Ontwerp globaal een golfdempende constructie die het golfklimaat in de haven van St. Eustatius onder normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden verbetert en die een orkaan kan overleven. Hierbij dient de oplossing te worden gezocht in het toepassen van verticale golfdempende schermen en/of drijvende golfbrekers. Deze toepassing dient constructief op haalbaarheid te worden getoetst.”

1.4 Aanpak van de opdracht

Om de civieltechnische mogelijkheden voor de bovenstaande opdrachtoomschrijving te onderzoeken, worden de volgende onderwerpen behandeld:

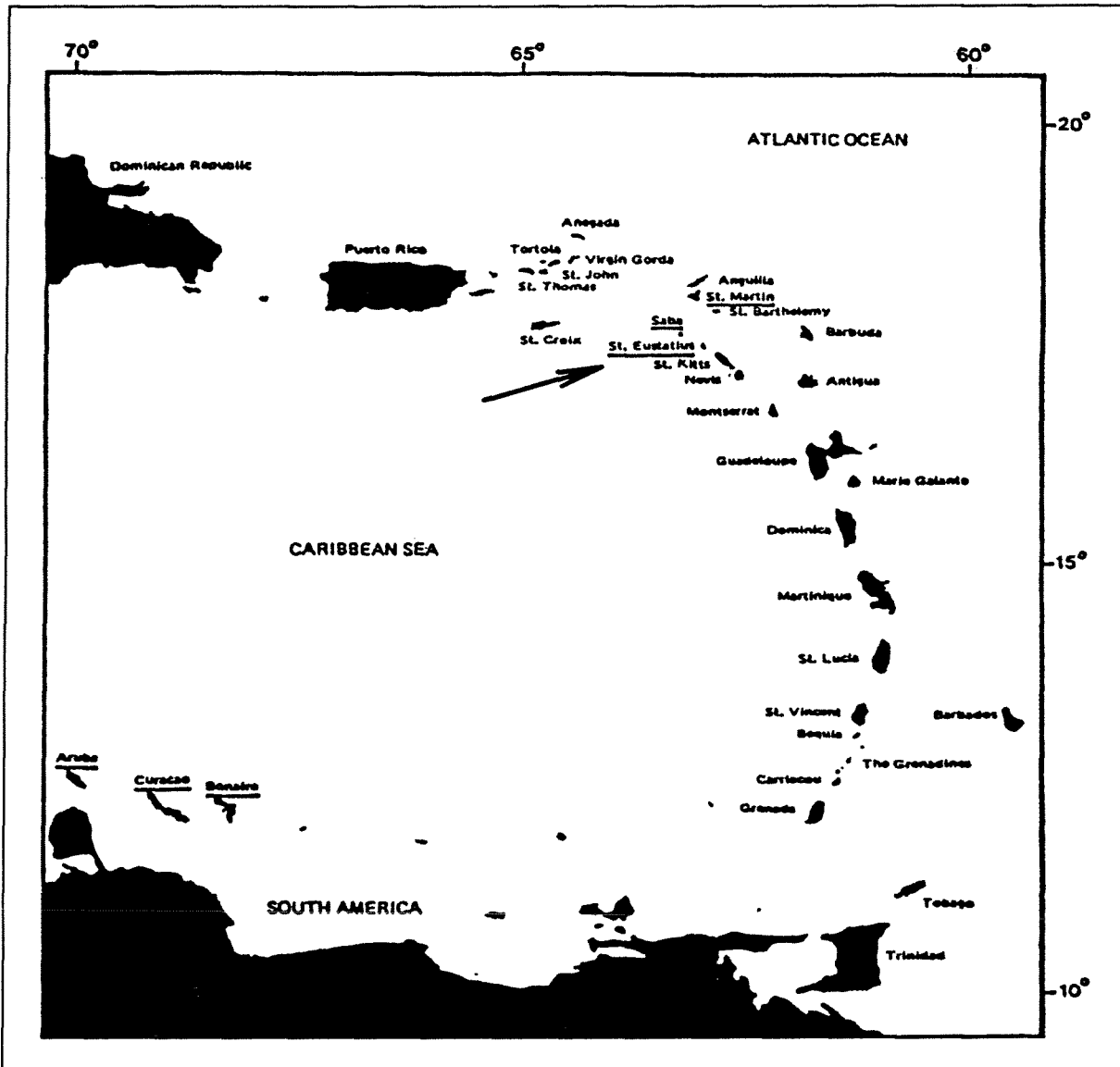
1. Het uitvoeren van literatuuronderzoek naar de golfdempende eigenschappen van verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers. Hierin wordt vastgesteld welke type constructie de beste optie is voor de havenuitbreiding van de Oranjebaai haven.
2. Het onderzoeken van het ondiepwatergolfklimaat nabij de Oranjebaai haven. Na het berekenen van het ondiepwatergolfklimaat kunnen de randvoorwaarden aan de zeezijde van de constructie worden vastgesteld.
3. Het onderzoeken van de invloed van een verlenging van de golfbreker op de golfdoordringing in de haven. Aan de hand van het vereiste golfklimaat in de haven kunnen de ontwerpparameters voor de constructie worden bepaald.
4. Het schetsmatig ontwerpen van een golfdempende constructie, naar aanleiding waarvan een uitspraak wordt gedaan over de constructieve haalbaarheid van een eventuele toepassing.

1.5 Opbouw van de rapportage

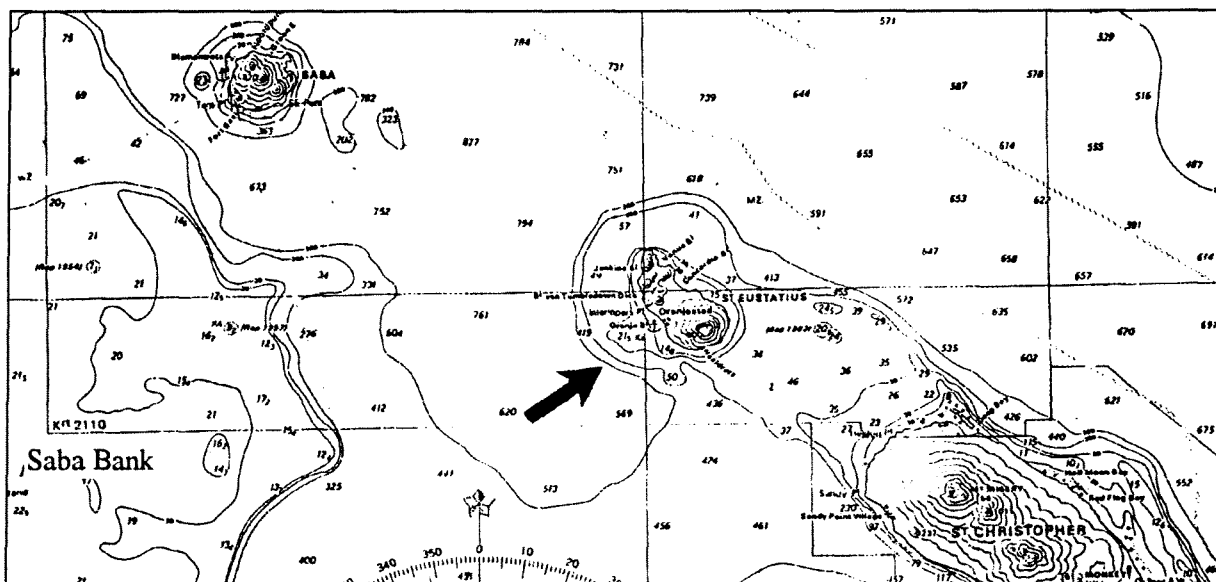
De rapportage van de haalbaarheidsstudie is opgebouwd uit twee delen. In deel 1 wordt het ontwerp van de golfdempende constructie behandeld en in deel twee wordt het uitgevoerde golfonderzoek beschreven.

Deel 1 is als volgt opgebouwd. Na de inleiding in hoofdstuk 1 en de beschrijving van de huidige situatie in hoofdstuk 2 wordt in hoofdstuk 3 uitgangspunten, randvoorwaarden en aannamen behandeld welke van toepassing zijn op het ontwerp van de golfdempende constructie. In hoofdstuk 4 worden de verschillende alternatieven beschreven, welke in hoofdstuk 5 worden doorgerekend. Na de evaluatie van de verschillende alternatieven in hoofdstuk 6, worden in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek gepresenteerd. Het literatuuronderzoek wordt beschreven in de bijlage van deel 1.

Deel 2 is als volgt opgebouwd. De inleiding geeft een korte beschrijving van de gebruikte modellen en geeft aan welke processen belangrijk zijn voor het golfonderzoek. In hoofdstuk 2 wordt het ondiepwatergolfklimaat berekend met behulp van het computermodel SWAN. In hoofdstuk 3 wordt de golfdempende eigenschap van de constructie vastgesteld na berekeningen met het computermodel CREON.



• *Figuur 2.1, Ligging St. Eustatius in het Caribisch gebied.*



• *Figuur 2.2, Ligging St. Eustatius t.o.v. Saba, St. Christopher en de Saba Bank (diepte in m).*

2. Beschrijving huidige situatie

In dit hoofdstuk worden de algemene achtergronden van het eiland behandeld en kan men een beeld vormen van de situatie, waarvoor de haalbaarheidsstudie is uitgevoerd. Er wordt kort ingegaan op de geschiedenis, het klimaat en de bevolking. Tevens wordt de projectlocatie omschreven, welke bepalend is voor de randvoorwaarden die worden opgelegd door de omgeving.

2.1 Geografische situatie

2.1.1 De geografische ligging van St. Eustatius

St. Eustatius maakt deel uit van de Bovenwindse Eilanden en is gelegen op 17°30' Noorderbreedte en 63°00' Westerlengte. Het eiland bestaat voornamelijk uit vulkanisch gesteente, is ongeveer 21 km² groot en het hoogste punt bevindt zich op ca. 600 m +M.S.L.. Het eiland rijst steil op vanaf de oceaانبodem, waarbij de waterdiepte op ca. 2 km afstand van het eiland al meer dan 500 m bedraagt. Rondom St. Eustatius en de andere omliggende eilanden bevinden zich relatieve ondiepten met een waterdiepte tussen de 20 m -M.S.L. en 60 m -M.S.L.. St. Eustatius bevindt zich samen met de eilanden St. Christopher en Nevis op een ondiepte, waar de diepte tussen 40 m -M.S.L. en 60 m -M.S.L. bedraagt.

De figuren 2.1 en 2.2 tonen de ligging van St. Eustatius ten opzichte van de andere eilanden, als ook de locaties van riffen, banken en de waterdiepte rondom het eiland. St. Eustatius heeft een deels steile, deels vlakke kust met enkele baaien. Twee berggroepen in het noorden en zuiden worden door een vlakte gescheiden. In het zuiden ligt de Quill, een uitgedoofde vulkaan, waarvan de top is begroeid met tropisch bos. Het lagere gedeelte van het eiland is voornamelijk begroeid met doornig struikgewas, welke de Crotonvegetatie wordt genoemd.

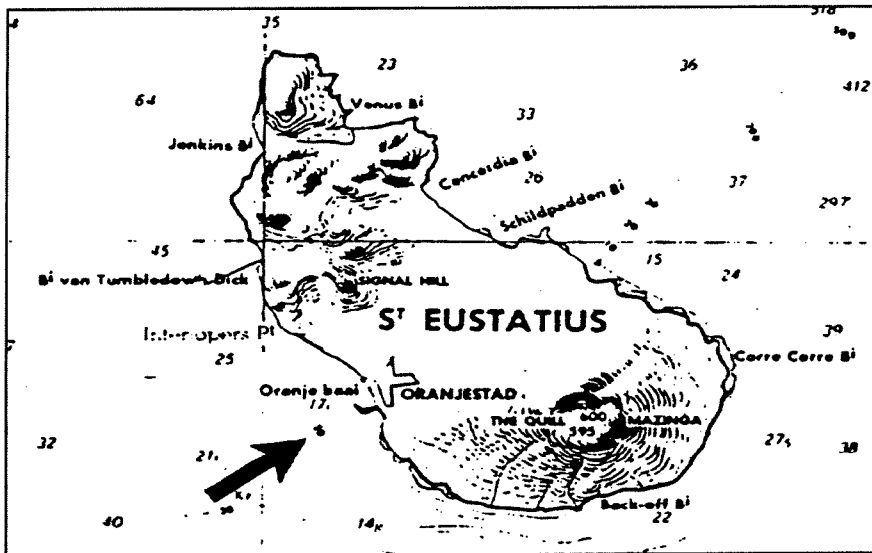
2.1.2 De ligging van de Oranjebaai haven

De enige haven van St. Eustatius, de Oranjebaai haven, is gelegen aan de zuid-westzijde (zie figuur 2.3) van het eiland. De huidige golfbreker steekt ca. 200 m in westelijke richting het water in en is opgebouwd uit stortsteen met verschillende gradaties. De golfbreker beschermt de haven vooral tegen het binnendringen van golven komende uit een gebied van het zuid-oosten, het zuiden tot aan het zuid-westen. Het eiland zelf biedt vooral bescherming tegen windgolven komend uit een gebied van het zuid-oosten tot aan het noorden. De haven is niet beschermd tegen golven die komen uit het westen en noord-westen. De kop van de golfbreker is gelegen tussen de 7 m en 8 m dieptelijn.

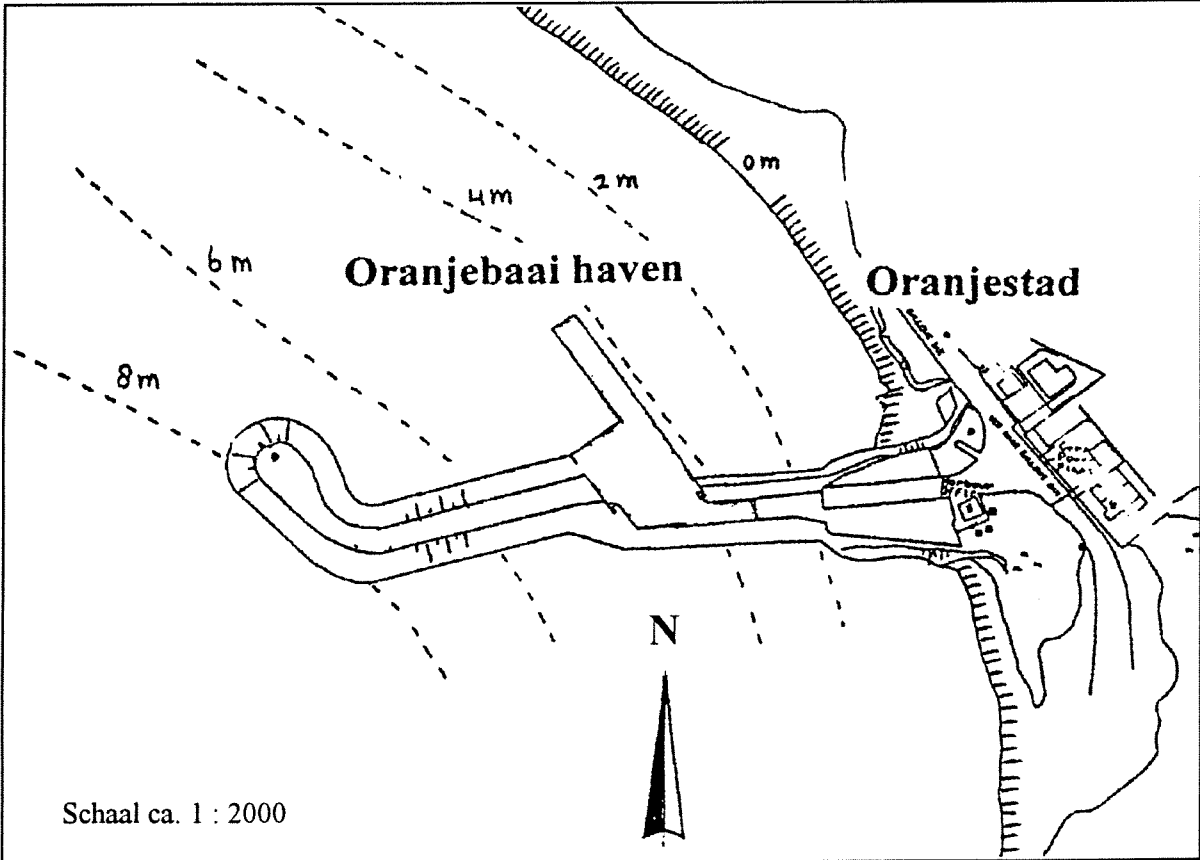
In de haven bevindt zich een gecombineerde stukgoed- en roosteiger voor de overslag van stukgoed (zie figuur 2.4). De kadelengete is ca. 60 m waar de waterdiepte minimaal ca. 4.5 m -L.W.S bedraagt. Over een kadelengete van ca. 85 m bedraagt de waterdiepte minimaal ca. 2.5 m -L.W.S. en is geschikt voor het afmeren van plezierjachten, vissersbootjes en tenders (bootjes die toeristen transporteren van hun cruise-schip, welke voor anker ligt voor de haven, naar de kade). Enkele kilometers ten noorden van de Oranjebaai haven bevindt zich een olie-overslag voor de olievoorziening op het eiland zelf en de bevoorrading van de omringende eilanden.

2.1.3 De bathymetrie van de zeebodem en de bodemgesteldheid in de haven

De dieptelijnen in en voor de haven lopen redelijk parallel aan de kustlijn met een hoofdricting ZO-NW, onder een helling van ca. 1:25 tot een waterdiepte van ca. 22 m. Hierna loopt de bodem stijl af tot grote diepte.



• *Figuur 2.3, Ligging Oranjebaai haven op St. Eustatius (diepte in m).*



• *Figuur 2.4, Huidige golfbreker met stukgoed- en roosteiger.*

In 1988 is er in opdracht van de Overheid van de Nederlandse Antillen een bodemonderzoek (ref. 1) uitgevoerd op de locatie waar momenteel de huidige golfbreker ligt. Het grondonderzoek bestond uit het maken van een 5-tal grondboringen, waarbij om de 1.5 m een Standard Penetration Test is uitgevoerd tot op een bodemdiepte van maximaal 10 m. Volgens het bodemonderzoek is de bodem op de locatie van de kop van de golfbreker opgebouwd uit een toplaag van ca. 3 m fijn zand, waaronder zich het oorspronkelijke bodemmateriaal bevindt. Dit oorspronkelijke bodemmateriaal bestaat voornamelijk uit vulkanische grind en grof zand. De grondboringen tonen geen aanwezigheid van noemenswaardige samendrukbare lagen. Aangenomen wordt dat dit bodemprofiel zich in en voor de haven doorzet.

2.2 Het klimaat

2.2.1 Het weerklimaat

Het eiland heeft een tropisch klimaat met een gemiddelde jaartemperatuur van 26 °C. De jaarlijkse neerslag bedraagt ca. 105 mm en de regenperiode duurt van januari tot en met juni. Het eendaags tijverschil bedraagt maximaal 0.50 m (L.W.S. = 0.30 m -M.S.L.).

De wind komt gedurende 80 % van de tijd uit noordoostelijke en oostelijke richtingen, welke de "Trade Winds" worden genoemd, waarbij de windsnelheid in het algemeen zwakker is dan 10 m/s op enkele uitschieters na van maximaal ca. 25 m/s. Minder dan 5 % van de tijd komt de wind uit een gebied van het zuidoosten tot het noordwesten en is de windsnelheid kleiner dan die van de "Trade Winds". Extreme windsnelheden worden bereikt, wanneer het eiland wordt getroffen door een zware storm of een orkaan. Binnen een straal van 170 km van de Bovenwindse eilanden, waartoe St. Eustatius behoort, komt minimaal één keer per jaar een tropische storm voor (ref. 2).

2.2.2 Het lokale ondiepwatergolfklimaat

Voor het ontwerp van een constructie in zee is het noodzakelijk om informatie te hebben over het golfklimaat op locatie. Hieruit kunnen onder andere de belastingen voor de constructie worden afgeleid en kan worden bekeken of het golfklimaat het toelaat om de verschillende werkzaamheden uit te voeren. Indien de duur van het project het toelaat kan door middel van metingen ter plaatse een beeld worden verkregen van het golfklimaat. Indien de duur en de kosten van het project het niet toelaat kan door middel van golfvoortplantingsberekeningen een ondiepwater golfklimaat worden berekend. In deel 2, hoofdstuk 2 van deze haalbaarheidsstudie is beschreven hoe het golfonderzoek is uitgevoerd.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de kansen van voorkomen van significante golfhoogten en gemiddelde golfperioden op locatie voor de haven waar de waterdiepte ca. 7 m bedraagt. Voor een gedetailleerdere beschrijving van het ondiepwatergolfklimaat wordt verwezen naar hoofdstuk 2 van deel 2.

Ondiepwatergolfdata voor de Oranjebaai haven (diepte 7 m)									
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)									Totaal
	>3	0	0	0.005	0.001	0	0	0	0.006
	2 tot 3	0	0.061	0.748	0.021	0.082	0.188	0	1.1
H_s	1.5 tot 2	0	0.278	0.417	0.185	0.606	0.364	0.019	1.869
(m)	1 tot 1.5	0.132	2.223	1.294	1.178	2.299	0.83	0.019	7.975
	0.5 tot 1	0.846	5.136	9.083	6.449	4.727	1.244	0	27.485
	0 tot 0.5	4.963	12.368	19.837	19.215	3.246	0.053	0	59.682
	Totaal	5.941	20.066	31.384	27.049	10.96	2.679	0.038	98.117
		<4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	
		T_z (s)							

• Tabel 2.1, Overzicht ondiepwatergolfklimaat

2.3 Algemeen

2.3.1 Geschiedenis

Het eiland St. Eustatius is ontdekt tijdens de tweede ontdekkingsreis van Christopher Columbus in 1493. Tot in de tweede helft van de 17^e eeuw is er heel weinig bekend van het eiland. In 1648, momenteel 350 jaar geleden, hebben de Hollanders zich het eiland toegeëigend. Daarna hebben Engelsen, Fransen en Hollanders afwisselend over St. Eustatius geheerst en werd het een handelscentrum voor schepen die voeren tussen de eilanden in het Caribisch gebied en Noord-Amerika, voordat het eiland aan het begin van de 19^e eeuw deel ging uitmaken van het Koninkrijk der Nederlanden. De enige "stad" op het eiland is Oranjestad, waar op dit moment ca. 2200 mensen wonen.

2.3.2 De beroepsbevolking en de economische ontwikkelingen

Op St. Eustatius bevindt zich nauwelijks industrie. De economie op het eiland wordt voornamelijk bepaald door het toerisme. De producten afkomstig van de landbouw zijn voor eigen gebruik of worden verkocht aan de hotelletjes op het eiland, maar er wordt niets noemenswaardigs geëxporteerd. Voor de visserij vanaf het eiland blijft er nauwelijks iets over, doordat alle rijke visgronden (Saba-bank) in de omgeving worden overbevist door de varende visfabrieken van de naburige landen in Zuid- en Midden-Amerika en van Japan. Volgens de Gevolmachtigde Minister van de Overheid van de Nederlandse Antillen in Den Haag, dhr. Sorton, is overbevissing niet te controleren daar er te weinig marineschepen zijn en het te controleren gebied te groot is. De vis die wordt gevangen door de vloot van St. Eustatius (max. 15 kleine scheepjes) is voor eigen gebruik.

2.3.3 Het toekomstperspectief

Over het toekomstperspectief voor St. Eustatius is weinig bekend. Het voornaamste probleem is dat voor de uitvoering van plannen geld beschikbaar moet worden gesteld door de Nederlandse overheid of door derden. De overheid van de Nederlandse Antillen heeft dit niet, vooral door het terugvallen van de olie-industrie op Curaçao. De voornaamste bron van inkomen op St. Eustatius is het toerisme, welke onder andere weer afhankelijk is van de bereikbaarheid van het eiland. Als de toegankelijkheid van de Oranjebaai haven wordt verbeterd, draagt dit direct bij aan het toenemen van de welvaart op het eiland.

3. Uitgangspunten, randvoorwaarden en aannamen

Voor het ontwerp van de golfdempende constructie zijn de uitgangspunten en randvoorwaarden opgesteld. Deze criteria zijn opgelegd door de ligging en de eigenschappen van de locatie en de bezoekende schepen. Daarnaast zijn er beperkingen opgelegd met betrekking tot de toe te passen constructie en de afmetingen daarvan.

3.1 Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden golfdempende constructie

De volgende uitgangspunten dienen voor het ontwerp in acht te worden genomen:

- golfdempende constructie moet functioneren tijdens normaal golfklimaat;
- golfdempende constructie dient te overleven tijdens orkaanomstandigheden;
- aangroeiing onderwater mag geen belemmering zijn voor het functioneren van de golfdempende constructie;
- opheffen van de golfdempende functie van de constructie bij een ontwerp golfhoogte;
- golfdempende constructie moet binnen de periode van orkaanwaarschuwing klaar te maken zijn voor extreme golfomstandigheden en dit mag geen arbeidsintensieve en tijdrovende bezigheid zijn;
- de constructie dient goedkoop te zijn in relatie tot de kosten van een stortstenen golfbreker;
- de constructie dient eenvoudig te zijn;
- tijdens het optreden van een storm of orkaan mogen zich geen bewegende onderdelen van de constructie zich bevinden op of net boven het wateroppervlak.

De volgende randvoorwaarden dienen voor het ontwerp in acht te worden genomen:

- bodemopbouw op locatie wordt aangenomen zoals wordt beschreven in het grondonderzoek, deel 1, paragraaf 2.1.3;
- getijverschil max. 0.50 m, L.W.L. = 0.30 -M.S.L, H.W.S. = 0.20 +M.S.L.;
- stroming op locatie is verwaarloosbaar;
- ondiepwatergolfklimaat zoals wordt beschreven in deel 2, paragraaf 2.5.2 en 2.5.3.

3.2 Randvoorwaarden opgelegd door de bezoekende schepen

Bij het voor anker gaan van een plezierjacht in een haven, dient het golfklimaat in de havenkom van dien aard te zijn dat het acceptabel is voor de mensen die aan boord verblijven. De ligging van het jacht ten opzichte van de inkomende golven is van belang voor de resulterende scheepsbewegingen, waarbij het gewicht van het jacht en rompvorm de belangrijkste scheepsparameters zijn.

Doordat de scheepsbewegingen afhankelijk zijn van de golfperiode en de ontwerpparameters voor de golfdempende constructie afhankelijk zijn van de periode van de dempen golf, hebben de afmetingen van de bezoekende jachten invloed op de ontwerpparameters van golfdempende constructie. Hierdoor worden er door de bezoekende jachten randvoorwaarden voor het ontwerp van de golfdempende opgelegd. Het is niet mogelijk om een scherpe grens aan te brengen welke zeegang acceptabel is en welke niet, daar het hier om gevoelswaarden gaat. Een oud dametje zal een lichte zeegang eerder als hinderlijk ervaren dan de stoere zeeman. In deel 1, paragraaf 3.2.2 en 3.2.3 wordt hier verder op ingegaan.

3.2.1 Afmetingen bezoekende schepen

De haven van St. Eustatius wordt momenteel gebruikt door verschillende soorten schepen. Hierbij maken deze gebruik van de roro-kade, stukgoedkade of gaan voor anker in of voor de haven. Door de uitbreiding zal de haven door meer type schepen gebruikt kunnen worden. In tabel 3.1 is weergegeven voor welke schepen de haven in de toekomst geschikt is. Door de toenemende waterdiepte in de haven, zal het gebruik van bepaalde afmeerfaciliteiten voor schepen met een grote diepgang beperkt zijn.

Afmetingen bezoekende schepen				
Type schip	lengte l (m)	breedte b (m)	diepgang d (m)	afmeerfaciliteit
plezierjacht I	< 8	2.25	2	haven, voor anker
plezierjacht II	8 < l < 12	3.0	2.5	haven, voor anker
plezierjacht III	12 < l < 18	3.5	3	haven, voor anker
cruise-schip	90.6 (max 100)	15.3 (max 17)	3.85 (max 4.8)	steiger
vissersboot	10.5	2.3	1.0	stukgoed kade
bevoorradingsschip I	22	6.0	3.0	roro-kade,
bevoorradingsschip II	45 (max 50)	12.2	2.1 (max 3.5)	roro-kade

• Tabel 3.1, Afmetingen bezoekende schepen.

3.2.2 Ontwerpgolfhoogte voor plezierjachthavens

Een wereldwijd geaccepteerde waarde voor de toelaatbare golfhoogte bij het ontwerpen van plezierjachthavens is 0.3 m. De Small Craft Harbour Branch, Northwest Hydraulics (ref. 3) heeft criteria opgesteld voor de toelaatbare golfhoogte in plezierjachthavens, afhankelijk van golfrichting, golfperiode en "Return Period", welke zijn gepresenteerd in tabel 3.2.

Ontwerpgolfhoogte plezierjachthavens, Small Craft Harbour Branch				
Golfvoortplantingsrichting t.o.v. schip	periode T (s)	Return Period		
		1x per 50 jaar	1x per 1 jaar	1x per week
kopzee	T < 2	n.v.t.	H 0.30 m	H 0.30 m
kopzee	2 < T < 6	H 0.60 m	H 0.30 m	H 0.15 m
kopzee	T > 6	H 0.60 m	H 0.30 m	H 0.15 m
dwarszee	T < 2	n.v.t.	H 0.30 m	H 0.30 m
dwarszee	2 < T < 6	H 0.25 m	H 0.15 m	H 0.10 m
dwarszee	T > 6	H 0.25 m	H 0.15 m	H 0.10 m

• Tabel 3.2, Ontwerpgolfklimaat plezierjachthavens, bron: Small Craft Harbour Branch

3.2.3 Ontwerpgolfperiode voor plezierjachthavens

De golfdempende constructie dient het golfklimaat te verbeteren binnen de invloedssfeer van de golfcondities, die de bewegingen van plezierjachten, afgemeerd in de haven, kunnen beïnvloeden. Voor het ontwerp is het belangrijk om deze golfcondities vast te stellen. De responsfuncties, te weten de functies tussen de inkomende golven en de resulterende bewegingen van het jacht, zijn belangrijk om de golfcondities af te bakenen, waarbinnen de golfdempende constructie moet functioneren. Zo is de invloed van lage golven met een hele korte periode klein op een voor anker liggend jacht en zal hetzelfde jacht de waterbeweging van golven met een hele lange periode volgen, zonder dat dit als onaangenaam wordt ervaren.

Bij bepaalde golfcondities kunnen de inkomende golven de resulterende bewegingen van een jacht versterken. De invloed van verschillende golflengten op de bewegingen van een schip worden vastgelegd in responsfuncties. Hierin is de verhouding tussen de amplitude van de inkomende golf en de resulterende amplitude van het jacht weergegeven ten opzichte van de relatieve golflengte (verhouding tussen de golflengte en de jachtlengte).

Een jacht heeft in totaal 6 vrijheidsgraden. Dit zijn 3 translaties en 3 rotaties om een x-y-z assenstelsel, waarbij de volgende bewegingen voor mensen aan boord het meest hinderlijk zijn:

- de "pitch" beweging: de rotatie om de horizontale breedte-as van het jacht;
- de "heave" beweging: de translatie in verticale richting;
- de "roll" beweging: de rotatie om de horizontale lengte-as van het jacht.

"Pitch" respons

De "pitch" respons, voor een jacht dat op kop ligt afgemeerd, is in het algemeen maximaal wanneer de lengte van het jacht de halve golflengte bedraagt. De lengte van de plezierjachten varieert tussen ca. 8 m en ca. 18 m. Hieruit is de golflengte en golfperiode af te leiden, welke hoort bij de maximale respons. Doordat de plaats waar de jachten kunnen afmeren bepaald wordt door de diepte, kunnen de kleinere boten in het ondiepe gedeelte van de haven afmeren en de grotere boten in het diepe gedeelte. Zo kunnen, afhankelijk van de scheepslengte en waterdiepte, golfperiodecriteria bij maximale "pitch" respons worden vastgesteld voor bepaalde delen van de haven.

In tabel 3.3, op de volgende bladzijde, is voor verschillende waterdiepten (h) en jachtlengten l_{jacht} de golfperiode uitgezet behorende bij de maximale "pitch" respons bij $l_{\text{jacht}} = 1/2 L$. De stippellijn geeft de grens aan waar de jachten bij het afmeren worden beperkt door de diepte.

Voorbeeld: Een jacht met een lengte van 11 m met een diepgang van maximaal 2.5 m kan afmeren op een locatie in de haven waar de waterdiepte 3 m bedraagt. Op deze locatie is de golfperiode voor maximale "pitch" respons 4 seconde. Een jacht met een lengte van 18 m met een diepgang van maximaal 3 m kan afmeren op een locatie in de haven waar de waterdiepte 4 m bedraagt. Op deze locatie is de golfperiode voor maximale "pitch" respons 5.7 seconde.

Golfperiodes (s) in de haven voor maximale "pitch" respons, bij inkomende golven van voren, afhankelijk van jachtlengte en waterdiepte.												
h	c	L voor maximum respons, welke optreedt bij $l_{jacht} = 1/2L$										
		16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
0-1	3,2	5	5,6	6,3	6,9	7,1	8,1	8,8	9,4	10	10,6	11,3
1-2	4,5	3,6	4	4,4	4,9	5,3	5,8	6,2	6,7	7,1	7,6	8
2-3	5,5	2,9	3,3	3,6	4	4,4	4,7	5,1	5,5	5,8	6,2	6,5
3-4	6,3	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,4	5,7
4-5	7,1	2,3	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1
5-6	7,7	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2	4,4	4,7
6-7	8,4	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,1	3,3	3,6	3,8	4	4,3

• Tabel 3.3, Golfperiode voor maximale "pitch" respons

waarin:

h = waterdiepte (m)

L = golflengte (m)

c = golfvoortplantingssnelheid (m/s)

"Heave" respons

De "heave" respons van jachten is maximaal wanneer de golflengte ongeveer even groot is als de lengte van het jacht. In onderstaande tabel 3.4 is een overzicht gegeven van de kritische golfperiode, afhankelijk van scheepslengte en bodemdiepte, voor maximale "heave" respons voor $l_{jacht} = L$. De stippellijn geeft de grens aan waar de schepen bij het afmeren worden beperkt door de diepte.

Voorbeeld: Een jacht met een lengte van 11 m met een diepgang van maximaal 2,5 m kan afmeren op een locatie in de haven waar de waterdiepte 3 m bedraagt. Op deze locatie is de golfperiode voor maximale "heave" respons 2 seconde. Een jacht met een lengte van 18 m met een diepgang van maximaal 3 m kan afmeren op een locatie in de haven waar de waterdiepte 4 m bedraagt. Op deze locatie is de golfperiode voor maximale "heave" respons 2,9 seconde.

Golfperiodes (s) in de haven voor maximale "heave" scheepsrespons, bij inkomende golven van voren, afhankelijk van jachtlengte en waterdiepte.												
h	c	L voor maximum respons, welke optreedt bij $l_{jacht} = L$										
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	3,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	5	5,3	5,6
2	4,5	1,8	2	2,2	2,4	2,7	2,8	3,1	3,3	3,6	3,8	4
3	5,5	1,5	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
4	6,3	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9
5	7,1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2	2,1	2,3	2,4	2,5
6	7,7	1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3
7	8,4	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,2	2,1

• Tabel 3.4, Golfperiode voor maximale "heave" respons

waarin:

h = waterdiepte (m)

L = golflengte (m)

c = golfvoortplantingssnelheid (m/s)

"Roll" respons

Wanneer de voortplanting van windgolven niet wordt belemmerd, zal de windrichting en voortplantingsrichting in diep water ongeveer samenvallen. Door refractie en diffractie is het mogelijk dat in een haven de voortplantingsrichting van de golven onder een hoek invalt op de windrichting. De schepen die gebruik maken van de haven van St. Eustatius dienen voor anker te gaan. Een plezierjacht, wat op kop ligt verankerd op een locatie zonder stroming, zal door een groter oppervlakte boven water dan onder water, altijd met de kop in de wind gaan liggen. Hierdoor is het mogelijk dat de golven onder een hoek invallen op het voor anker liggend jacht, welke maximaal 90° is.

Wanneer golven onder een hoek met een jacht invallen, kan het jacht gaan bewegen om zijn lengte-as. De "roll" respons is afhankelijk van de hoogte en de periode van de inkomende golven en de vorm van het onderwaterschip, het massacentrum en de metacenterhoogte van het plezierjacht. Voor het bepalen van de maximale "roll" respons zijn in de literatuur geen vuistregels beschikbaar, daar deze respons wordt bepaald door meerdere parameters.

Toetsing eigenperiode in computermodel SEAWAY

Met het programma SEAWAY (ref. 4) is het mogelijk om voor verschillende scheepsvormen de resulterende scheepsbewegingen en eigenperioden te bepalen voor verschillende golfcondities. Om de eigenperioden van de verschillende scheepsbewegingen vast te stellen, is er met dit programma een berekening gemaakt voor een kotterjacht met een lengte van 18 m. Bij deze berekening varieerde de hoek van golfinval ten opzichte van de lengte-as van het jacht van 0° tot 90° en zijn voor verschillende golfperioden de eigenperioden berekend. Uit deze berekening is opgemaakt dat de eigenperioden voor de onder andere "roll", "pitch" en "heave" beweging in geen enkele situatie groter zijn dan ca. 5 seconden.

Met behulp van het model is het mogelijk om de responsfunctie van een jacht te berekenen, afhankelijk van het golfspectrum. Deze responsfunctie zegt echter niets over de hinder die de aan boord verblijvende personen ondervinden. In overleg met een aantal leden van de afstudeercommissie is besloten om verder onderzoek met behulp van SEAWAY te stoppen.

3.3 Aannamen

3.3.1 *Ontwerpgolfhoogte en -periode voor het functioneren van de golfdempende constructie*

De golfdempende constructie dient te functioneren tijdens normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden. De transmissiecoëfficiënt van de constructie voor het functioneren wordt door het aanwezige golfklimaat aan de zeezijde en het gewenste golfklimaat in de havenzijde aan de constructie opgelegd. De maximale golfhoogte in de haven bedraagt 0.3 m met een Return Period van 1 jaar (zie deel 1, tabel 3.2.2). De transmissiecoëfficiënt van de constructie dient een golf met een bepaalde hoogte met een Return Period van 1 jaar buiten de haven (zeezijde) te reduceren tot 0.3 m in de haven. Deze golfhoogte aan de zeezijde van de constructie met een Return Period van 1 jaar bedraagt 1.1 m (zie deel 2, paragraaf 2.5.3).

De ontwerpgolfhoogte van 0.3 m geldt voor golven met een periode groter dan 6 s. Bij bepaalde golfdempende eigenschappen van de constructie wordt een golf met een hoogte van 1 m en een periode van 6 s gereduceerd tot 0.3 m, maar wordt een golf met een hoogte van 1 m en een periode van 9 s tot 0.5 m gereduceerd. Doordat de transmissiecoëfficiënt van de constructie periode-afhankelijk is, zouden golven met een golfhoogte van 1.1 m en perioden van 6 s tot zeer grote perioden (ca. 30 s) tot 0.3 gereduceerd moeten worden, wat resulteert in een transmissiecoëfficiënt voor de constructie van 0.

Hierdoor is de ontwerpgolfperiode tijdens het functioneren van de constructie vastgesteld met behulp van de respons van een jacht op de golven en de daaraan gekoppelde hinder. De maximale respons en dus de hinder voor het ontwerpjacht treedt op bij een golfperiode van 5 seconde. Voor het ontwerp van de golfdempende constructie is aangenomen dat de golven met een periode groter dan 10 seconde niet meer als hinderlijk worden ervaren en dat de golfhoogte van deze golven groter mag worden dan 0.3 m. Een golf met een Return Period van 1 jaar en een golfperiode van 10 s aan de zeezijde van de constructie dient dus gereduceerd te worden tot 0.3 m.

Hierdoor wordt de ontwerpgolfhoogte en ontwerpgolfperiode voor het functioneren van de constructie tijdens normaal golfklimaat bepaald op 1.1 meter en 10 seconde.

3.3.2 Ontwerpgolfhoogte en -periode tijdens orkaanomstandigheden

De constructie dient te overleven gedurende extreme omstandigheden. In de diepwatergolfgegevens van de Global Wave Statistics zijn wel stormen, maar geen extreme orkaangolven meegenomen. Bij het berekenen van het normale ondiepwatergolfklimaat zijn hierdoor geen invloeden van orkanen in de directe nabijheid van St. Eustatius meegenomen. Hierdoor kan uit de berekende ondiepwatergolfdata niet betrouwbaar een waarde worden afgeleid voor de golfhoogte gedurende extreme condities.

St. Eustatius ligt in een orkaangevoelige zone, waardoor het eiland minimaal één keer per jaar wordt getroffen door een storm. Voor het berekenen van de belasting onder deze omstandigheden is uitgegaan van de maximale individuele golfhoogte, welke bij een waterdiepte van 7.5 m kan worden bereikt. Deze situatie wordt alleen bereikt als de orkaan vanuit zuid-westelijke richtingen over de Oranjebaai haven heen trekt.

Nelson (ref. 5) heeft een relatie afgeleid tussen de maximale individuele golfhoogte en de waterdiepte afhankelijk van de steilheid van de vooroever:

$$\gamma = \frac{H_m}{d} = 0.55 + 0.88e^{(-0.012\cot(\beta))} \quad (3.a)$$

waarin:

H_m = maximale individuele golfhoogte (m)

h = waterdiepte (m)

β = steilheid van de vooroever (°)

Bij een vooroever met een bodemhelling van 1:25 en een waterdiepte van 7.5 m resulteert dit in een maximale individuele golfhoogte van 8.4 m.

In de Shore Protection Manual (1984, blz. 7-9) is een relatie gegeven voor de maximale ontwerp golfhoogte voor brekende golven afhankelijk van de waterdiepte, golfperiode en de bodemsteilheid. Een ondiepwatergolfperiode van 13 s, een bodemsteilheid van 0.04 (1 : 25) en een waterdiepte resulteert in een brekerhoogte van 8.5 m. Daar de waarde van Nelson en de waarde volgens SPM niet veel van elkaar afwijken, wordt voor het dimensioneren van onderdelen in extreem golfomstandigheden een golfhoogte van 8.5 m aangehouden.

Ocean Routes heeft in opdracht van het Waterloopkundig Laboratorium onderzoek (ref. 6) uitgevoerd naar onder andere de golfhoogte en golfperiode van orkaangolven. De grootste gemiddelde golfperiode op diepwater bedroeg ca. 14 s. In SWAN zijn een aantal berekeningen uitgevoerd om de doordringing van extreme golven tot aan de kust bij de Oranjebaai haven na te gaan. Als diepwaterinvoer is een significante golfhoogte van 12 m en een gemiddelde periode van 14 s ingevoerd voor de 8 hoofdgolfvoortplantingsrichtingen. Deze golfhoogte is de grootste waarde, welke wordt vermeld in het rapport "Wave conditions Oranjestad breakwater, St. Eustatius" (ref. 7).

De maximale berekende significante golfhoogte in ondiepwater bedraagt ca. 4.5 m. In het algemeen geldt dat de maximale individuele golfhoogte ongeveer twee keer zo groot is als de significante golfhoogte, wat resulteert in een hoogte van ca. 9 m, wat de bovenberekende golfhoogte van 8.5 m aannemelijk maakt.

In SWAN is een berekening uitgevoerd om de gemiddelde periode op ondiepwater vast te stellen, wanneer de orkaangolf vanuit westelijke richting de Oranjebaai haven bereikt, waarbij de hoogste maximale individuele golfhoogte kan worden bereikt. De berekende gemiddelde ondiepwatergolfperiode bedroeg 13 s.

Hiermee wordt de ontwerpgolfhoogte en ontwerpgolfperiode tijdens orkaanomstandigheden bepaalt op 8.5 meter en 13 seconde.

4. Formulering van alternatieven

Voor het ontwerp van de golfdempende constructie zijn twee alternatieven opgesteld die voldoen aan de gestelde uitgangspunten en randvoorwaarden in hoofdstuk 3. Om het verschil in dimensies en ontwerpbelastingen aan te geven, zijn deze twee alternatieven vergeleken met een permanent verticaal golfdempend scherm, alternatief 3. In dit hoofdstuk worden deze drie alternatieven beschreven.

4.1 Conclusie literatuuronderzoek

Om de mogelijkheden voor het ontwerp te beschouwen is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers. Deze beide typen golfdempers zijn eventueel te verwijderen bij een afgegeven orkaanwaarschuwing. In het literatuuronderzoek zijn vier drijvende golfbrekers, een combinatie van een drijvende golfbreker met een verticaal scherm en een verticaal golfdempend scherm met elkaar vergeleken voor een toepassing op St. Eustatius. Onderstaand wordt de conclusie van het literatuur onderzoek gepresenteerd. Voor de resultaten van het literatuuronderzoek wordt verwezen naar de Bijlage I van deel 1.

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat een uitbreiding van de haven door middel van Wave-Screens/Skirt-Breakwaters voor de gestelde uitgangspunten en randvoorwaarden de beste optie is.

4.2 Bepalen van de verticale schermafmetingen van de golfdempende constructie

In deel 2, paragraaf 3.1.1 is vastgesteld dat bij een transmissiecoëfficiënt van 0.2 of kleiner van de golfdempende constructie, het golfklimaat in de haven voldoet aan het gewenste ontwerp golfklimaat voor plezierjachthavens (deel 1, paragraaf 3.2.2 en 3.2.3). De waterdiepte op locatie van een eventuele golfdempende constructie bedraagt 7 tot 7.5 m.

De hoogte van het schot boven M.S.L. is bepalend voor de golfoverslag en dus van invloed op de transmissiecoëfficiënt van de golfdempende constructie. De hogere golven ($H_s > 2$ m) uit het berekende ondiepwatergolfklimaat op locatie van de golfdempende constructie zijn afkomstig van diepwatergolven met een hoogte van ca. 5 m, welke worden opgewekt door een storm. Bij een significante golfhoogte van 2 m kunnen individuele golven voorkomen die ongeveer twee keer zo hoog zijn. Om deze individuele golven te keren, is de hoogte van het scherm aangenomen op + 2 m M.S.L. Tijdens deze omstandigheden op diepwater heeft de haven van St. Eustatius geen functie meer als plezierjachthaven. De ontwerp golfhoogte voor de alternatieven is echter groter dan de optredende golfhoogte tijdens deze omstandigheden, zodat bij toenemende golfhoogten overslag toelaatbaar is en de belastingtoename wordt beperkt.

De bovengenoemde aannamen resulteren in een schermafmeting van 2 m + M.S.L. tot 7 m - M.S.L., wat leidt tot een schot met een hoogte van 9 m. De breedte van het schot is afhankelijk de h.o.h. afstand tussen de palen van de draagconstructie. De maximale transmissiecoëfficiënt van 0.2 voor de hele constructie en de doordringing van golfenergie onder en langs de golfdempende schotten, resulteren in een opbouw van het scherm zelf, waarbij de waterkerende elementen op elkaar aansluiten (porositeit = 0).

4.3 Beschrijving van alternatieven

Voor de golfdempende constructie dient de golfdempende functie te worden opgeheven bij het optreden van een aangenomen ontwerp golfhoogte, waarbij kan worden gedacht aan de volgende opties:

- optie "klapdeur", hierbij draaien de verticale schotten weg over een verticale as, waardoor de golven onbelemmerd in de haven kunnen doordringen;
- optie "schuif", hierbij worden de schermen in het verticale vlak verplaatst tot onder het wateroppervlak;
- optie "luxaflex", door de waterkerende elementen te draaien wordt de golfdempende werking verkleind;
- optie "wegwerp waterkerende elementen" hierbij worden de elementen bij een ontwerp golfhoogte verwoest, welke bij rustig weer kunnen worden vervangen;
- optie "wegdraaiend golfschot", hierbij worden de waterkerende elementen in een schot gemonteerd, welke kan wegdraaien over een horizontale as boven de bodem.

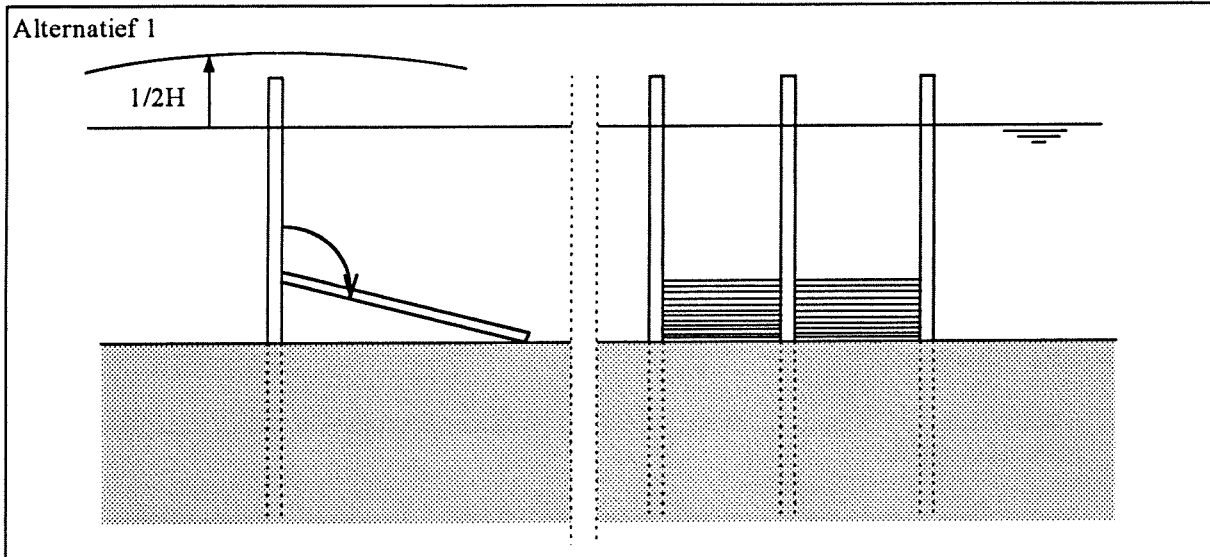
Voor het ontwerp van de golfdempende constructie op St. Eustatius gelden de uitgangspunten, randvoorwaarden en aannamen zoals beschreven in hoofdstuk 4. Hierdoor vallen de bovenste drie opties af en worden de laatste twee opties verder uitgewerkt.

Alternatief 1 is opgebouwd uit een draagconstructie en een golfschot waarin de waterkerende elementen zijn gemonteerd. Bij het optreden van de ontwerp golf draait het schot weg over een horizontale as boven de bodem en rust neer op de bodem van de haven. Na het optreden van de ontwerp golfhoogte hebben de waterkerende elementen geen kerende functie en neemt de golfbelasting op de elementen niet meer toe. Als het golfklimaat en de weersomstandigheden het toelaten, dienen de schotten op eenvoudige wijze te worden opgetakeld en bevestigd.

Bij alternatief 2 wordt ervan uitgegaan dat de schotten bezwijken bij een gegeven ontwerp golfhoogte en dat deze geheel of gedeeltelijk vervangen dienen te worden op het moment dat de weersomstandigheden het toelaten. De kosten van de herstelwerkzaamheden voor alternatief 2 worden bepaald door arbeids-, materiaal- en materieelkosten, waardoor deze kosten aanzienlijk hoger zullen zijn dan bij alternatief 1. Alternatief 3 is een permanente constructie.

Doordat de kosten van herstel voor alternatief 2 aanzienlijk hoger liggen dan de kosten van herstel voor alternatief 1, wordt alternatief 2 op een grotere ontwerp golfhoogte gedimensioneerd dan alternatief 1. Het wegdraaien van de golfschotten van alternatief 1 kan vaker voorkomen dan het bezwijken van de elementen van alternatief 2.

Het berekenen van de kosten en baten van het ontwerp en onderzoek naar de mogelijkheden van financiering vallen buiten deze haalbaarheidsstudie. Door alternatief 1 en 2 allebij op twee verschillende ontwerp golfhoogten te dimensioneren, wordt inzicht verkregen op de invloed van de ontwerp golfhoogte op de zwaarte van de constructie. Voor alternatief 1 dient het schot bij een gekozen ontwerp golfhoogte weg te draaien, zodat de golfdempende functie wordt opgeheven. De resulterende golfbelasting van deze ontwerp golf dient door de constructie te worden opgenomen.



• *Figuur 4.1, Alternatief 1.*

Bij de gekozen ontwerp golfhoogte voor het opheffen van de golfdempende functie voor alternatief 2 dienen de waterkerende elementen te bezwijken. Alternatief 3 en de draagconstructie van de alternatieven 1 en 2 worden gedimensioneerd op een maximale individuele golfhoogte bij gegeven waterdiepte, welke 8.5 m bedraagt (zie deel 1, paragraaf 3.3.2).

4.3.1 Alternatief 1

Bij alternatief 1 (figuur 4.1) is het noodzakelijk dat bij een gekozen ontwerp golfhoogte de verticale golfschotten door persoonlijk ingrijpen of door een faalmechanisme buiten werking worden gesteld. Hierdoor wordt de golfdempende functie opgeheven en zullen de golfkrachten op de draagconstructie kleiner zijn gedurende orkaanomstandigheden dan de optredende golfkrachten bij een vaste en permanente constructie (alternatief 3), waardoor de constructie zo licht als mogelijk gedimensioneerd.

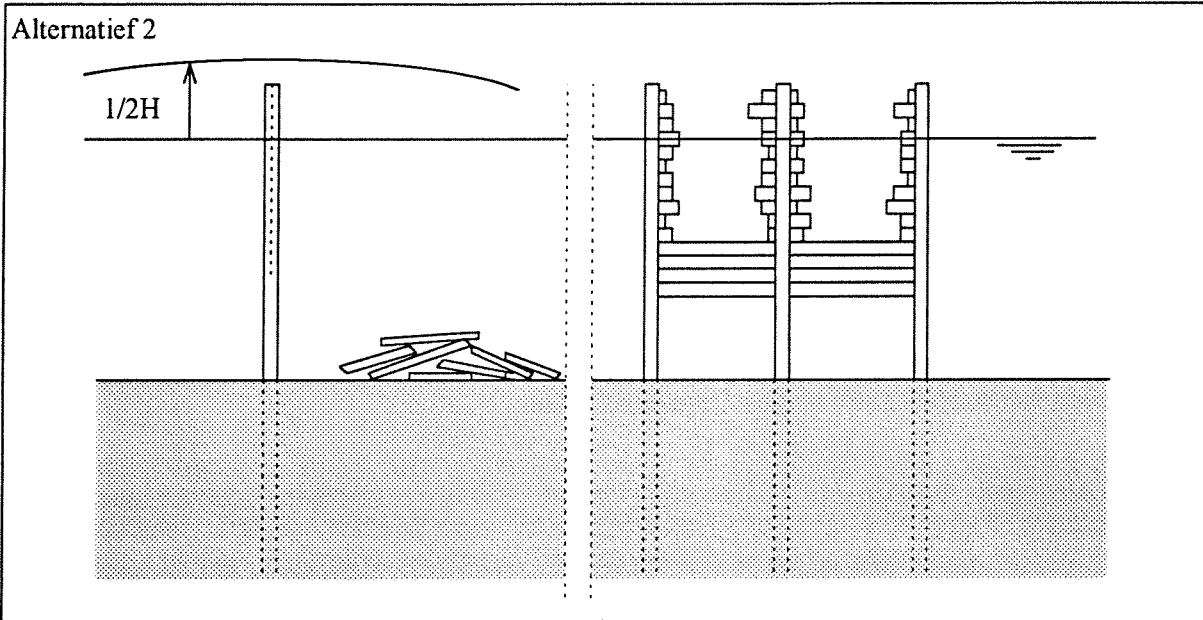
Doordat de golfdempende elementen in het geheel wegdraaien om een horizontale as onderwater, moeten ze in een frame (schot) worden gemonteerd. De draagconstructie bestaat uit een rij van buispalen, waarin het schot wordt gemonteerd. Door deze constructie wordt de horizontale belasting alleen aan de boven- en onderzijde van het schot op de draagconstructie overgedragen. De belasting op de draagconstructie zijn puntlasten.

Voor het functioneren van de constructie moet een faalmechanisme deel uitmaken van de constructie, zodat bij een ontwerp golfhoogte een onderdeel bezwijkt en het schot kan wegdraaien. De breekpennen die zorgen voor het optreden van het faalmechanisme bevinden zich in de dwarsbalk tussen twee paalkoppen. Na het bezwijken van de pennen roteert het schot om een horizontale as boven de bodem, welke de verbinding vormt tussen schot en draagconstructie. De as wordt tijdens het installeren van de schotten gemonteerd op een manchet om de palen, welke na het heien wordt aangebracht. Deze manchet bestaat uit twee delen die op de paal worden geklemd door middel van een boutverbinding.

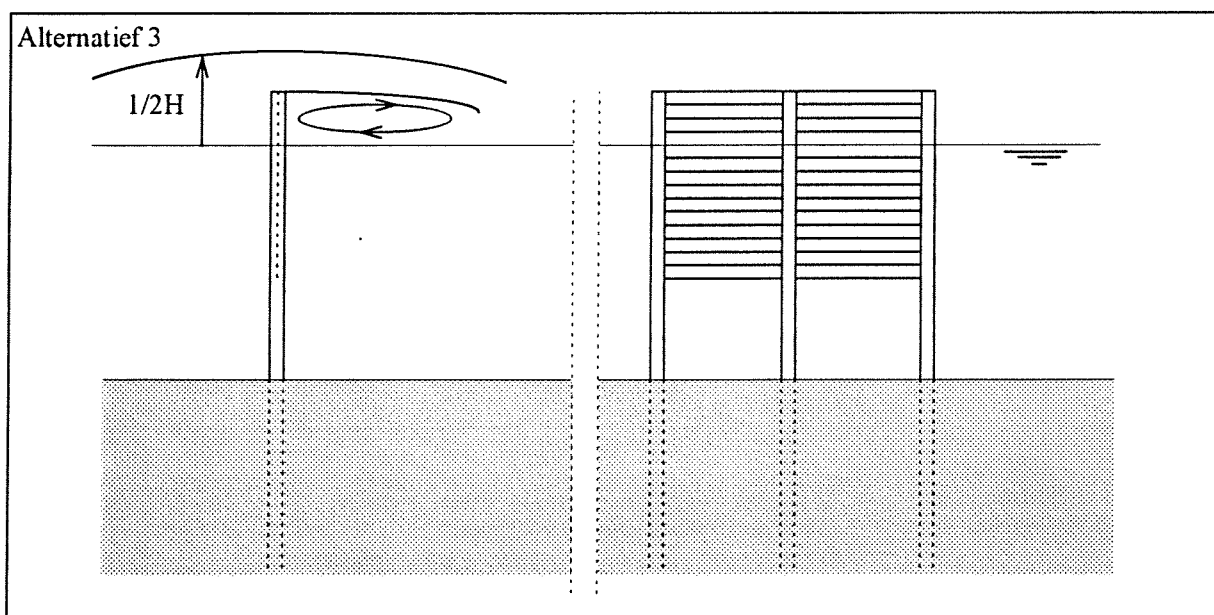
In tabel 4.1 is aangegeven welke onderdelen verder zijn uitgewerkt en op welk golfklimaat ze zijn gedimensioneerd. Bij de globale uitwerking van het onderdeel worden de optredende belastingen gegeven, maar wordt niet verder op de dimensionering van het onderdeel ingegaan. Met normaal golfklimaat wordt het golfklimaat behorende bij een rustig weersklimaat bedoeld, waarbij de constructie een golfdempende functie heeft.

Alternatief 1, functie van de verschillende onderdelen			
Onderdeel	Functie	Uitgewerkt	Golfklimaat
Waterkerende elementen	- Dempen van de waterbeweging	Ja	normaal
Golfdempend schot	- Zorgt ervoor dat de waterkerende elementen in één keer kunnen worden verwijderd - Overbrengen van de golfbelasting en het gewicht van de elementen naar de draagconstructie	Ja	normaal en extreem
Draagconstructie	- Overbrengen van de belastingen naar draagkrachtige ondergrond	Ja	normaal en extreem
Faalmechanisme	- Zorgt voor het wegklappen van het golfschot bij het optreden van de ontwerp golfhoogte	Globaal	normaal
Scharnieren	- Zorgt voor een verbinding aan de draagconstructie, waar het schot kan scharnieren - Overdragen van de belastingen op het schot naar de draagconstructie	Globaal	normaal en extreem
Loopdek	- Verzorgen van de verbinding tussen de profielen ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden	Nee	extreem

• Tabel 4.1, Onderdelen alternatief 1



• *Figuur 4.2, Alternatief 2.*



• *Figuur 4.3, Alternatief 3.*

4.3.2 Alternatief 2

De golfdempende constructie voor alternatief 2 (figuur 4.2) bestaat uit een draagconstructie en waterkerende elementen, welke op eenvoudige wijze te vervangen zijn. Bij overschrijding van de ontwerp golfhoogte worden de waterkerende elementen geheel of gedeeltelijk verwoest, waardoor de golfdempende functie wordt opgeheven en de resulterende krachten op de draagconstructie kleiner zullen zijn dan bij een permanente constructie gedurende orkaanomstandigheden. Na het wegtrekken van de storm kunnen de vernielde waterkerende elementen worden vervangen door reserve-elementen, die opgeslagen zijn op het haven terrein.

Voor de draagconstructie worden buispalen gebruikt die in de bodem van de haven worden weggeheid. De waterkerende elementen worden gemonteerd op U-profielen. Deze profielen worden voor het heien van de draagconstructie op de bovenste 9 m van de profielen zijn gelast. Na het heien van de buizen kunnen de elementen worden bevestigd. Doordat de bevestigingspunten vooraf in deze U-profielen worden aangebracht, kunnen de waterkerende elementen na het heien op eenvoudige wijze worden aangebracht. Bij het toepassen van kunststof of houten elementen dient voldoende gewicht gebruikt te worden om de elementen onder water te kunnen monteren.

Alternatief 2 bestaat uit de volgende onderdelen, waarbij de functie-eisen als volgt zijn gedefinieerd. Tevens is in tabel 4.2 aangegeven welke onderdelen verder zijn uitgewerkt en op welk golfklimaat ze zijn gedimensioneerd. Bij de globale uitwerking van het onderdeel worden de optredende belastingen gegeven, maar wordt niet verder op de dimensionering van het onderdeel ingegaan.

Alternatief 2, functie van de verschillende onderdelen			
Onderdeel	Functie	Uitgewerkt	Golfklimaat
Waterkerende elementen	- Dempen van de golfbeweging	Ja	normaal
Draagconstructie	- Overbrengen van de verschillende belastingen naar draagkrachtige laag	Ja	extreem
Loopdek	- Verzorgen van de verbinding tussen de profielen ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden	Nee	extreem

•Tabel 4.2, Onderdelen alternatief 2.

4.3.3 Alternatief 3

De golfdempende constructie bij alternatief 3 (figuur 4.3) is een permanente constructie en dient alleen als golfdemper te functioneren gedurende normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden, waarop de transmissiecoëfficiënt van de verticale schotten wordt gedimensioneerd. Bij toenemende golfcondities zal de functie als golfdemper en daarmee de transmissiecoëfficiënt niet meer belangrijk zijn en zal deze groter worden door veranderende vloeistofmechanische eigenschappen van de hogere golven en overslag. Tijdens orkaanaanvallen zullen de krachten op de draagconstructie en de waterkerende elementen groter zijn dan normaal en zal de hele constructie gedimensioneerd worden op orkaanomstandigheden.

De optredende golfbelastingen tijdens orkaanomstandigheden worden beperkt door de hoogte van de constructie boven het wateroppervlak te beperken. Hierdoor "overtoppen" de extreme golven de elementen, waardoor de krachten onder deze omstandigheden kleiner zullen zijn dan bij een "niet-overtopende" constructie. De hele constructie dient te worden gedimensioneerd om een orkaan te kunnen overleven en te functioneren gedurende normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden. In tabel 4.3 is aangegeven uit welke onderdelen alternatief 3 bestaat en welke functie ze vervullen.

Alternatief 3, functie van de verschillende onderdelen			
Onderdeel	- Functie	Uitgewerkt	Golf-klimaat
Waterkerende elementen	- Dempen van de golfbeweging	Ja	extreem
Draagconstructie	- Overbrengen van de verschillende belastingen naar draagkrachtige laag	Ja	extreem
Loopdek	- Verzorgen van de verbinding tussen de profielen ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden	Nee	extreem

- *Tabel 4.3, Onderdelen alternatief 3.*

5. Dimensionering van alternatieven

In dit hoofdstuk is het ontwerp voor een golfdempende constructie uitgewerkt, waarbij is ingegaan op de optredende krachten op de constructie tijdens het functioneren en gedurende orkaanomstandigheden. De golfdempende constructie dient te functioneren gedurende het normale golfklimaat en rustige weersomstandigheden en te overleven gedurende orkaanomstandigheden, wanneer de haven geen functie heeft. De belastingen voortkomend uit orkaanomstandigheden voor constructies zijn zo groot, dat bij het uitwerken van de golfdempende constructie bepaalde onderdelen zijn gedimensioneerd op belastingen voortkomend uit het normale golfklimaat.

Aan de hand van deze eisen zijn twee semi-permanente ontwerpen opgesteld, die worden vergeleken met het derde alternatief, een permanent verticaal golfdempend scherm. De volgende drie alternatieven zijn in dit hoofdstuk verder uitgewerkt:

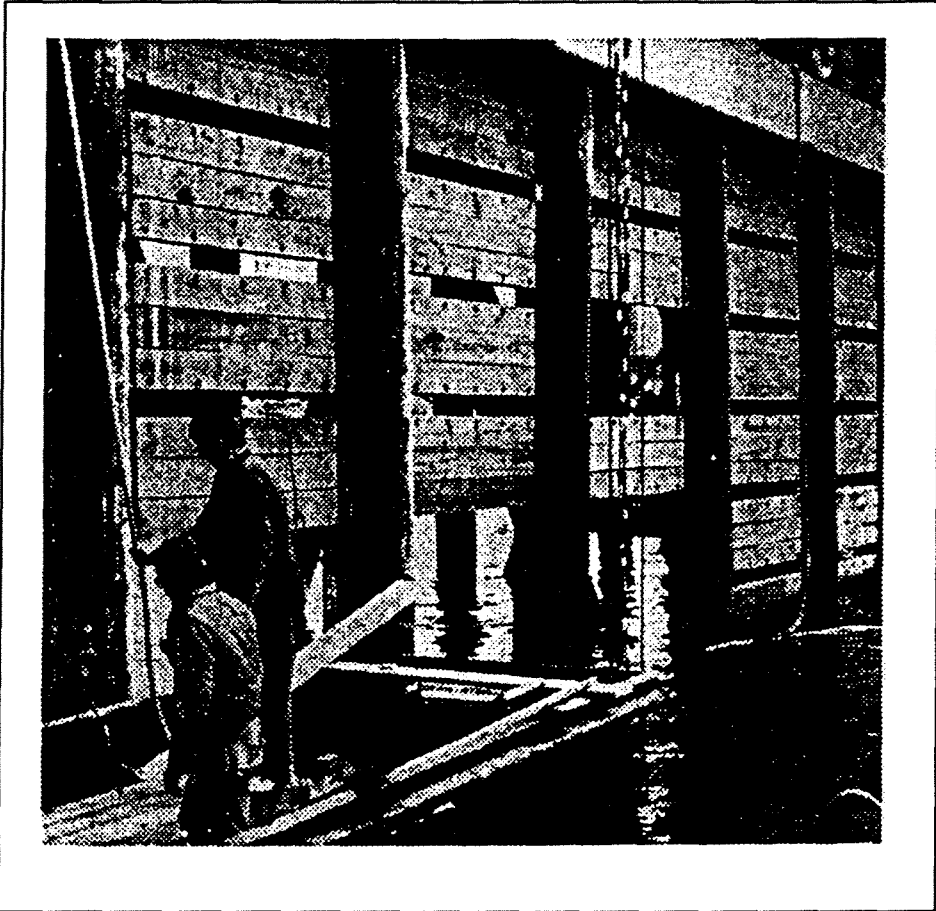
- *Alternatief 1, 'Draagconstructie met neerklapbare schotten'*
- *Alternatief 2, 'Draagconstructie met "wegwerp" golfdempende elementen'*
- *Alternatief 3, 'Constructie die een orkaan kan weerstaan'*

5.1 Opzet en doel dimensionering

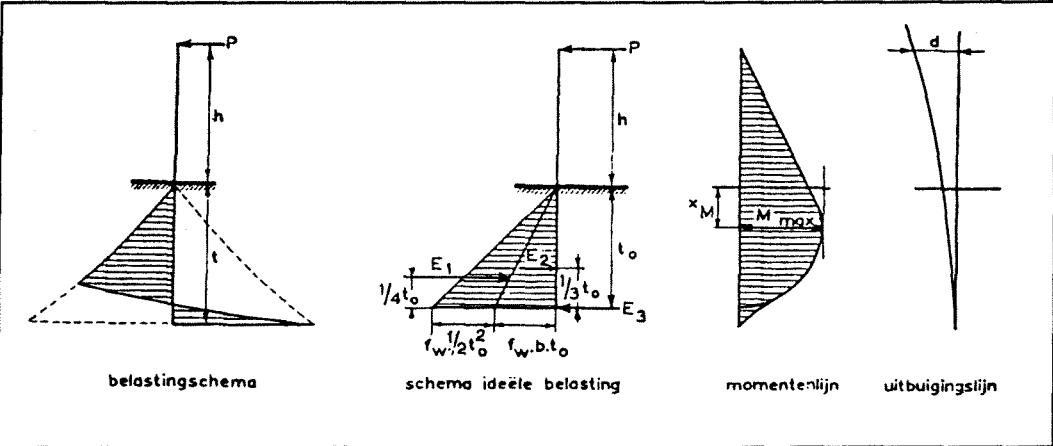
Het doel van het berekenen van de alternatieven is om aan te geven in welke orde van grootte de optredende belastingen liggen en wat de resulterende afmetingen worden van de constructie. De constructie wordt niet volledig doorgerekend en geoptimaliseerd. Met behulp van het berekende ondiepwatergolfklimaat (deel 2, paragraaf 2.5.2 en 2.5.3) is voor alternatief 1 en 2 een ontwerp-golfhoogte gekozen voor het dimensioneren van de constructie voor het normale golfklimaat, wanneer de golfdempende functie opgeheven dient te worden. De alternatieven 1 en 2 zijn doorgerekend voor twee verschillende ontwerp-golfhoogten, zodat inzicht is verkregen in de invloed ervan op de zwaarte van de constructie. Alternatief 3 is een permanente constructie en is berekend op een maximale ontwerp-golfhoogte. Aan de hand van deze ontwerp-golfhoogten zijn de ontwerpbelastingen bepaald voor het dimensioneren en uitwerken van de verschillende alternatieven.

Bij het uitwerken van de verschillende alternatieven is aangegeven uit welke onderdelen het alternatief bestaat, welke onderdelen doorgerekend zijn en is aangegeven wat de knelpunten zijn bij een eventuele uitvoering van het ontwerp. Bij het ontwerpen en dimensioneren is rekening gehouden met eisen voortkomend uit de eventuele uitvoering van het project. De gemaakte berekeningen geven een globale inschatting van de optredende krachten en de resulterende constructie-afmetingen.

Het ontwerp van de golfdempende constructie dient toegepast te kunnen worden als basisprincipe voor het ontwerpen van plezierjachthavens in ondiepwater in het Caribisch gebied, waarbij de ontwerp-parameters daarbij afhankelijk zijn van lokale condities en randvoorwaarden. De ontwerp-golfhoogte voor alternatief 1 en 2 is gekozen voor een golf met een bepaalde onderschrijdingskans, waarbij rekening is gehouden met de schade, die wordt opgelopen na het optreden van de ontwerp-golfhoogte. Hierin spelen de constructiekosten en de kosten van herstelwerkzaamheden bij het herstellen van het alternatief een rol.



• *Figuur 5.1, Verticaal golfdempend scherm.*



• *Figuur 5.2, Methode Blum.*

De kosten van herstel na het opheffen van de golfdempende functie zijn voor alternatief 2 aanzienlijk hoger dan voor alternatief 1. Hierdoor kan voor de ontwerp golfhoogte van alternatief 1 voor het opheffen van de golfdempende functie een lagere waarde worden gekozen dan voor alternatief 2. Het bepalen van de meest gunstige ontwerp golfhoogte door een kostenoptimalisatie valt buiten de essentie van deze haalbaarheidsstudie, waarvoor meer onderzoek nodig is naar de kosten, baten en financiering van een eventueel project op St. Eustatius.

5.2 Opbouw golfdempende constructie, algemeen

Bij het toepassen van verticale golfdempende schermen zijn de waterkerende elementen uit hout, staal, beton of kunststof, bevestigd aan een draagconstructie. Hiervoor worden in het algemeen stalen profielen (buispalen) en houten of betonnen kolommen gebruikt. Figuur 5.1 toont een voorbeeld van een verticaal golfschot, waarin de draagconstructie en de waterkerende elementen de voornaamste onderdelen zijn. De horizontale golfbelasting is bepalend voor het type draagconstructie en de waterkerende elementen. In de volgende paragrafen is aangegeven hoe de afmetingen van de constructie globaal kunnen worden berekend.

5.2.1 Draagconstructie

De draagconstructie van de golfdempende constructie bestaat uit buispalen die in de grond worden geheid en waartussen de waterkerende elementen worden aangebracht. Bij een relatief lage belasting kan als draagconstructie worden volstaan met een enkele rij buispalen. Hierbij draagt één paal de golfbelasting over naar de ondergrond. Bij een hogere belasting moeten meerdere palen de golfbelasting overdragen naar de ondergrond.

Minimale inheidiepte voor profielen, Methode Blum (1932)

De palen voor de draagconstructie worden voornamelijk horizontaal belast, waarbij de buisafmetingen en de grondparameters bepalend zijn voor de maximale opneembare horizontale belasting. De kop van het profiel dient tot 2 m + M.S.L te worden weggeheid, waardoor de paal ca. 9.5 m boven de bodem blijft staan op locatie waar de waterdiepte 7 tot 7.5 m bedraagt. De totale paallengte wordt bepaald door het vrije deel boven de bodem en de minimaal vereiste inheidiepte.

Met de methode Blum wordt een eerste schatting gegeven van de minimaal vereiste inheidiepte voor de palen. Deze methode gaat uit van een vrijstaande paal, die wordt belast door een horizontale kracht P op een hoogte h boven de bodem.

De minimale inheidiepte voor de palen wordt berekend aan de hand van de belasting op de constructie gedurende het normale golfklimaat of de belasting op de constructie gedurende orkaan- omstandigheden, waarbij de grootste belasting maatgevend is. Bij deze methode is de grond volledig passief verondersteld.

De maximale opneembare kracht volgens Blum (figuur 5.2) is:

$$P = \frac{\zeta_w}{6} x_M^2 (x_M + 3b) \text{ met } 4 x_M^2 (x_M + 3b) = t_0^3 \frac{t_0 + 4b}{t_0 + h} \quad (5.a)$$

waarin:

P = maximaal opneembare kracht (N)

ζ_{wv} = $K_p \gamma_{\text{eff}}$ (N/m³)

K_p = $\frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi}$, passieve gronddrukcoëfficiënt (-)

(ϕ is de hoek van inwendige wrijving van de grond (graden))

γ_{eff} = effectief volume gewicht van de grond (N/m³)

x_M = diepteligging van het maximale moment in de paal (m)

b = breedte van profiel (m)

t_0 = diepteligging van het momentennulpunt van de ideale belasting (m)

t = inheidiepte (= 1.2 t_0) (m)

h = werkende hoogte van de belasting ten opzichte van de bodem (m)

Paalafmetingen

De paalafmetingen (traagheidsmoment I of weerstandsmoment W) kunnen worden bepaald aan de hand van het criterium van sterkte of buiging en met name het maximale moment dat in de paal optreedt.

De paalafmetingen moeten worden bepaald aan de hand van een sterktecriterium. Hierbij moet het maximale moment opgenomen kunnen worden door de buispaal, waarbij de grenssterkte bereikt wordt in het materiaal. Met behulp van het maximale moment en de materiaaleigenschappen kan het benodigde weerstandsmoment worden berekend, welke resulteert in een buisdikte bij een gegeven paaldiameter.

Indien gewenst kan het minimaal benodigde traagheidsmoment van de paal worden berekend aan de hand van de toelaatbare verplaatsing van het punt waar de resultante van de horizontale golfbelasting aangrijpt, waarvoor geldt:

$$\delta = \frac{P l_i^3}{3 EI} \quad (5.b)$$

waarin:

δ = horizontale verplaatsing (m)

P = horizontale belasting (N)

l_i = ($h + 0.65 t$)

E = elasticiteitsmodulus van staal (N/m²)

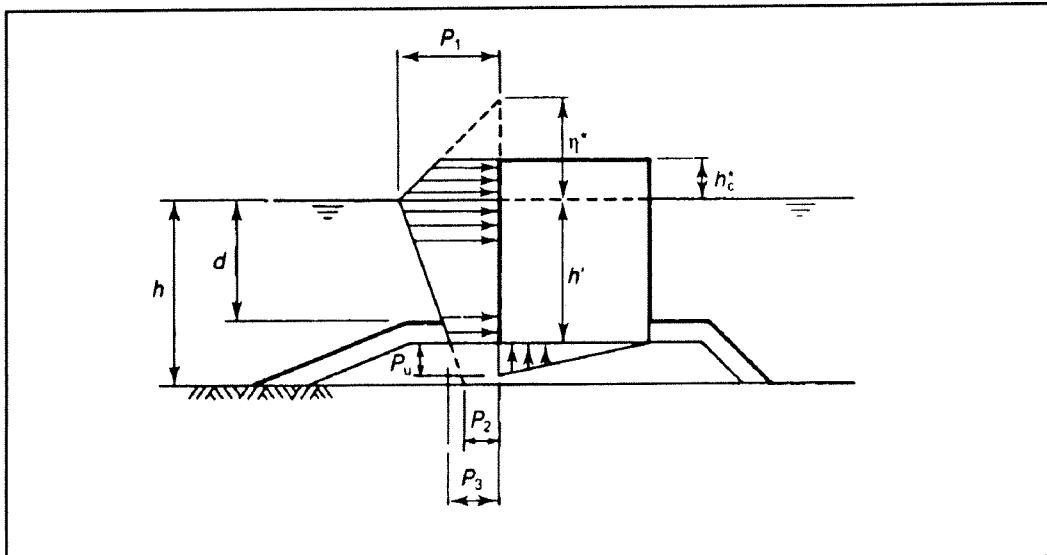
I = traagheidsmoment (m⁴)

5.2.2 Waterkerende elementen

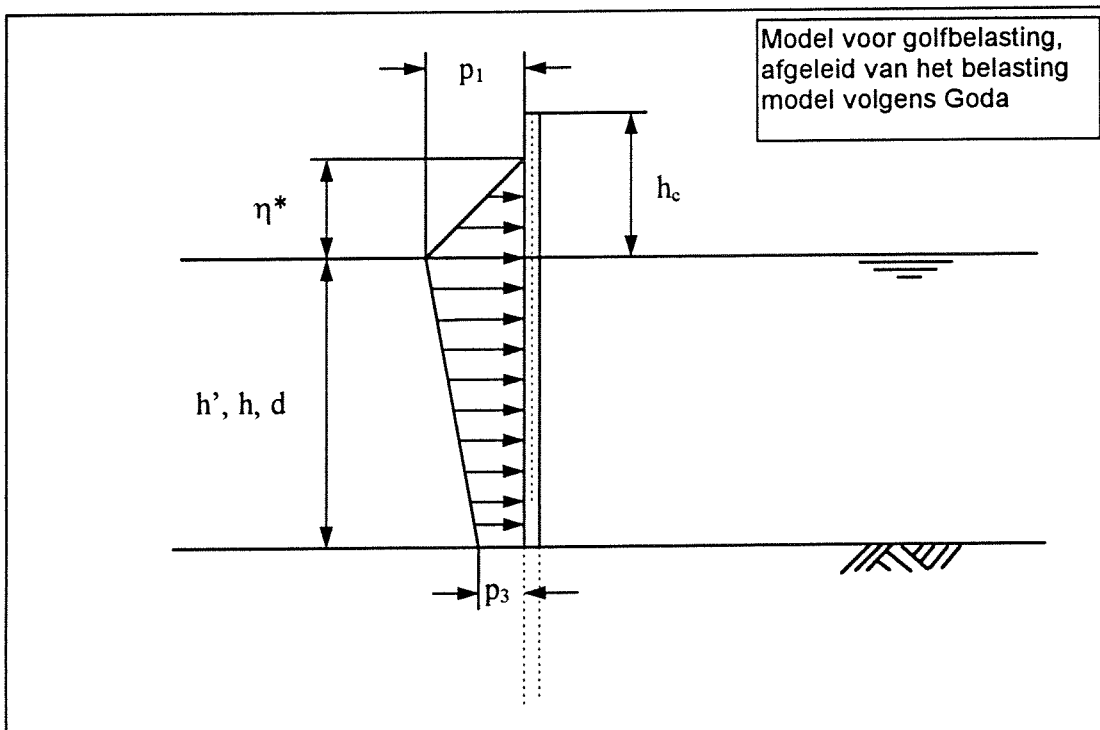
De breedte van de waterkerende elementen hangt af van de afstand tussen, en de afmetingen van, de palen voor de draagconstructie. De waterkerende elementen kunnen direct op de draagconstructie worden gemonteerd (alternatief 2 en 3) of in een schot, welke in zijn geheel op de draagconstructie worden gemonteerd (alternatief 1). Dit golfdempende schot moeten voldoende sterkte bezitten in de kerende hoogte.

De grootste golfdruk p_1 wordt bereikt op 0 m M.S.L volgens het model voor golfbelasting paragraaf 5.3.1, welke is afgeleid van het model voor golfbelasting volgens Goda. De waterkerende elementen zullen op deze belasting worden gedimensioneerd. Met behulp van de materiaaleigenschappen van elementen en de belasting kan de benodigde dikte (t) worden bepaald. De elementen worden op sterkte doorgerekend en als een ligger op twee steunpunten geschematiseerd.

Voor het berekenen van de waterkerende elementen is het gebruik van twee constructiematerialen verder onderzocht. Het eerste materiaal is een tropische hardhout van duurzaamheidsklasse I, welke wordt toegepast in de natte waterbouw.



• *Figuur 5.3, Model voor golfbelasting volgens Goda (1985).*



• *Figuur 5.4, Model voor golfbelasting.*

Enkele voorbeelden hiervan zijn Azobe, Basralocus, Demerara Groenhart en Merbau met een sterkteklasse K70. Het tweede materiaal is een kunststofplaat. Om deze plaat sterkte te geven is deze als sandwich uitgevoerd, waarbij de buitenzijden van de plaat bestaan uit een met glasvezel gewapend kunsthars (bv. epoxy of polyester) en de kern bestaat uit een drukvast schuim. In tabel 5.1 zijn de materiaaleigenschappen van deze twee mogelijkheden gegeven.

Materiaaleigenschappen					
Materiaal	γ (kg/m ³)	$f_{t,rep}$ (N/mm ²)	$f_{t,d}$ (N/mm ²)	I (mm ⁴)	W (mm ³)
Hout	900	42	24.4	1/12 bh ³	1/6 bh ²
Laminaat	1400	320	192	1/2 btd ²	btd
Schuimkern	50	-	-	-	-

• Tabel 5.1, Materiaaleigenschappen waterkerende elementen

* (uitgaande van een laminaatdikte van 4 mm, DIN 18 820)

De waterkerende elementen zijn berekend op sterkte. Met de gegeven golfbelasting, de lengte en breedte van een element en de materiaaleigenschappen van het gebruikte materiaal kan de maatgevende dikte (t) van het element worden bepaald.

5.3 Golfbelasting

In deze paragraaf zijn de golfbelastingen behandeld, welke van toepassing zijn op het ontwerp van de golfdempende constructie. Deze belastingen vormen de basis voor het dimensioneren van de verschillende alternatieven. De belastingen zijn golfbelastingen voortkomend uit het normale golfklimaat en rustige weersomstandigheden en orkaanomstandigheden.

5.3.1 Golfbelasting op een verticale constructie voor brekende en niet-brekende golven

De golfbelasting op de golfdempende constructie is afgeleid van de formulering voor golfdruk ten gevolge van golfbelasting op een caisson geplaatst op een drempel volgens Goda (1985) (zie figuur 5.3). Deze formulering wordt wereldwijd gebruikt voor het ontwerp van verticale golfbrekers met een stortstenen drempel voor niet-brekende en gebroken golven. De methode van Goda beschrijft geen golfbelasting door golfbreking net voor of op de verticale constructie. Takahashi et al. heeft de formule van Goda uitgebreid voor deze situatie (Takahashi et al. 1993, 1994).

Onderstaand wordt de afleiding (figuur 5.4) beschreven voor de golfdempende constructie volgens het model van Goda, uitgaande van een bermhoogte van 0 m.

$$\eta^* = 0.75 (1 + \cos(\beta)) \lambda_1 H_D \quad (5.c)$$

$$p_1 = 0.5 (1 + \cos(\beta)) (\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_2 \cos^2(\beta)) \rho g H_D \quad (5.d)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (5.e)$$

waarin:

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left(\frac{\frac{4\pi h}{L_D}}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{L_D}\right)} \right)^2$$

$$\alpha_2 = \min \left(\frac{\left(1 - \frac{d}{h_b}\right) \left(\frac{H_D}{d}\right)^2}{3}, \frac{2d}{H_D} \right)$$

$$\alpha_3 = 1 - \left(\frac{h'}{h} \right) \left(1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L_D}\right)} \right)$$

- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ = factoren afhankelijk van de constructievorm en golfcondities
 (rechte wand en niet-brekende golven: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$)
- h_b = waterdiepte op afstand van $5 H_D$ van de verticale wand (m)
- H_D = ontwerp golfhoogte (m)
- L_D = golflengte bij H_D (m)
- d, h', h = waterdiepte voor de constructie (m)

Voor brekende golven is een aanpassing van een aantal factoren (α_n en λ_n) nodig, welke onder andere afhangen van de hoogte en breedte van de voorliggende berm voor de verticale wand (Takahashi et al, 1994). Doordat voor het ontwerp van de golfdempende constructie op St. Eustatius een stortstenen berm of betonelement van geringe hoogte (max. 0.5 m) en geringe breedte wordt toegepast (max 4 m), wijken de aangepaste factoren volgens Takahashi niet af van de factoren volgens Goda en wordt voor het inschatten van de golfbelasting gebruik gemaakt van het beschreven model, wat is afgeleid van het model van Goda.

5.3.2 Golfbelasting op verticale cilindrische palen belast door brekende golven.

Tijdens extreme omstandigheden kunnen golven breken op locatie van de golfdempende constructie. Brekende golven of net-gebroken golven geven in het algemeen een grotere belasting dan niet-gebroken golven, zodat de draagconstructie op een belasting van een brekende golf zal worden gedimensioneerd.

In de Shore Protection Manual is een gereduceerde relatie (blz. 7-157) gegeven voor het berekenen van krachten en momenten op cilindrische palen in brekende golven, afgeleid van de formulering van Morison (SPM, 7-102) voor het berekenen van golfbelastingen op slanke cilindrische constructies. Voor golven in ondiepwater is de traagheidscomponent klein in relatie tot de "drag" component in de formule van Morison. Hierdoor is de formulering van Morison gereduceerd tot alleen het aandeel van de "drag force". De gereduceerde vergelijking is als volgt:

$$F_m \approx F_{Dm} = C_D \frac{1}{2} \rho g D H_b^2 K_{Dm} \quad \text{en} \quad M_m = F_m (1.11 d_b) \quad (5.f)$$

waarin:

- F_m = resulterende kracht op de cilindrische paal (N)
 C_D = de "drag" coëfficiënt (-)
 D = paaldiameter (m)
 H_b = individuele maximale golfhoogte (m)
 K_{Dm} = coëfficiënt voor de relatie tussen de golfkracht op de bodem en de golfkracht aan het wateroppervlak, voor brekende golven in ondiepwater 0.96 (-)
 M_m = resulterend moment op de cilindrische paal ten opzichte van de bodem (Nm)
 d_b = waterdiepte (m)

Onderzoek (SPM, 7-158) heeft uitgewezen dat in superkritische stroming de waarde voor C_D voor brekende golven ongeveer 2.5 keer zo groot is als voor niet-brekende golven. De waarde van C_D is afhankelijk van het Reynoldsgetal:

$$Re = \frac{u D}{\nu} \quad (6.e)$$

waarin:

- u = snelheid van de vloeistof (m/s)
 D = diameter van de constructie (m)
 ν = kinematische viscositeit van vloeistof (m²/s), water $\approx 1 \cdot 10^{-6}$

Voor andere vormen dient de waarde voor C_D te worden aangepast.

5.3.3 Veiligheidsfactoren voor het berekenen van de golfdempende constructie

Voor het berekenen van de verschillende onderdelen van de golfdempende constructie tijdens het normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden wordt een belastingfactor van 1.0 en een materiaalfactor van 1.2 toegepast. Onderdelen die moeten bezwijken bij de gegeven ontwerp golfhoogte worden berekend met een materiaalfactor van 1.0. Voor het berekenen van de draagconstructie tijdens orkaanomstandigheden wordt een belastingfactor van 1.0 en een materiaalfactor van 1.2 toegepast. De belastingfactoren kunnen aangepast worden aan lichtere of zwaardere eisen.

5.4 Alternatief 1, 'Draagconstructie met neerklapbare schotten'

5.4.1 Ontwerpgolfhoogte en resulterende golfbelasting

Als ontwerpgolfhoogte tijdens normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden is een hoogte gekozen met een kans van overschrijden van 80 % in één jaar, welke een hoogte heeft van 2.1 m en een hoogte met een overschrijdingskans van 90 % in één jaar, welke een hoogte heeft van 2.65 m. Deze waarden zijn afgeleid uit de lange-termijn verdeling van de individuele golfhoogte, zoals beschreven in deel 2, paragraaf 2.5.3. Als ontwerpgolfperiode is een golfperiode genomen met een kans van overschrijden van 99 %. Deze golfperiode bedraagt 14 s (zie deel 2, paragraaf 2.5.2). Bij deze golfhoogte en -periode moet het golfdempende schot wegklappen en zijn de golfbelastingen berekend, waarbij het de golfdempende functie wordt opgeheven en de breekpennen bezwijken. Bij het optreden van een langere golfperiode zullen de breekpennen bij een lagere golfhoogte bezwijken.

Bij het vaststellen van de ontwerpgolfhoogte wordt opgemerkt dat de kans van het optreden van een orkaan of zware storm in de directe omgeving van St. Eustatius niet bij de bovengenoemde kans van overschrijden zit inbegrepen. Indien een orkaan of zware storm het eiland nadert, zal bij toenemende golfhoogte de golfdempende functie worden opgeheven.

De draagconstructie en de onderdelen die een orkaan moeten weerstaan, worden gedimensioneerd op een maximale golfhoogte van 8.5 m en een periode van 13 s (zie deel 1, paragraaf 3.3.2). Uit het berekenen van de belasting tijdens het functioneren van de constructie en orkaanomstandigheden blijkt wat de maatgevende belasting is voor het dimensioneren van de verschillende onderdelen.

In tabel 5.2 is een overzicht gegeven van de resulterende horizontale golfbelasting op de golfdempende constructie volgens het belastingmodel afgeleid van het model van Goda voor een golfhoogte van 2.1 m en 2.65 m met een golfperiode van 14 s.

Alternatief 1, Golfbelasting normaal golfklimaat							
$L_D = 115 \text{ m}, \cos(\beta) = 1, \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$							
H_D (m)	p_1 (KN/m ²)	$p_{1,d}$ (KN/m ²)	p_3 (KN/m ²)	$p_{3,d}$ (KN/m ²)	F_h (KN/m')	$F_{h,d}$ (KN/m')	h_F (m)
2.1	21.3	21.3	19.9	19.9	173.2	173.2	4.8
2.65	26.9	26.9	25	25	222.5	222.5	4.8

• Tabel 5.2, Resulterende golfbelasting voor verschillende ontwerp golfhoogten

waarin:

p_1 = resulterende golfdruk op M.S.L.

p_2 = resulterende golfdruk boven de bodem.

F_h = resulterende horizontale golfkracht

h_F = aangrijphoogte horizontale golfkracht boven de bodem

("d" is de rekenwaarde)

5.4.2 Draagconstructie

De horizontale golfbelasting op de waterkerende elementen wordt via de golfschotten op de draagconstructie overgedragen. De draagconstructie wordt belast gedurende normaal golfklimaat en orkaanomstandigheden. De belasting op de draagconstructie is in deze twee situaties berekend, waarbij de grootste golfbelasting maatgevend is voor de constructieafmetingen.

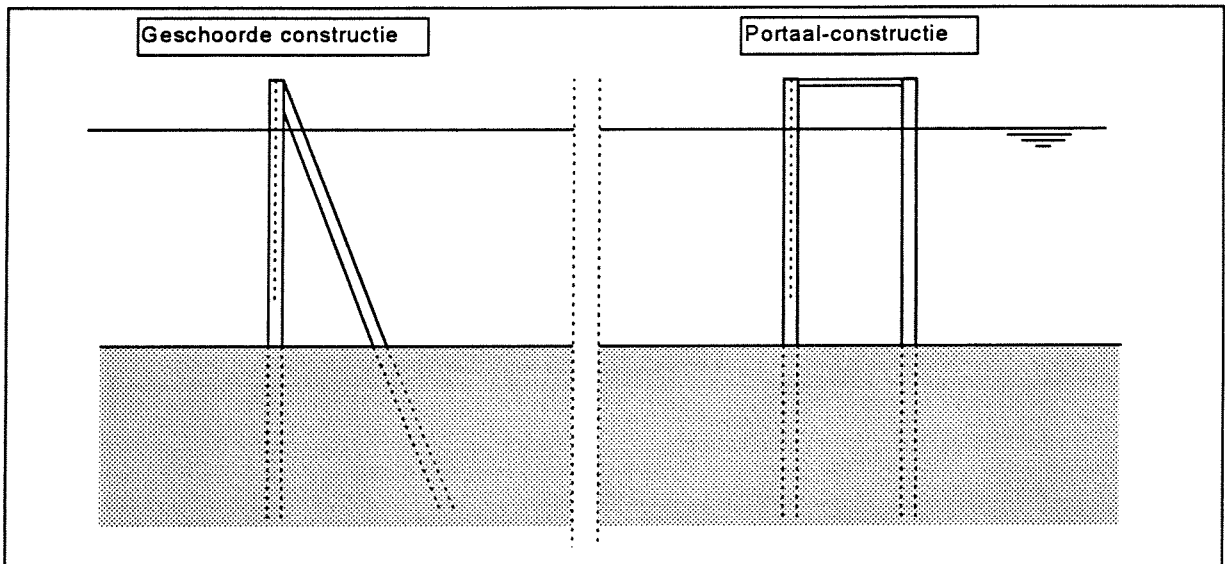
Het berekenen van de draagconstructie is uitgewerkt voor twee verschillende buisdiameters. Hierdoor krijgt men inzicht in de invloed van de buiseigenschappen op de afmetingen van de constructie. Onderstaand zijn de belangrijkste eigenschappen gegeven van de paaldiameters, welke bij het berekenen zijn aangehouden.

Eigenschappen buispalen				
Paaldiameter	Wanddikte	Weerstandsmoment	Traagheidsmoment	Maximaal opneembaar moment
(m)	(mm)	(cm ³)	(cm ³)	(KNm)
0.508	14.2	2646	67199	622
0.762	25	10327	393462	2427

• Tabel 5.3, Eigenschappen toegepaste buispalen

Draagconstructie belast tijdens normaal golfklimaat, enkele paal

De draagconstructie kan bestaan uit een rij enkele buispalen, waarbij één paal de horizontale golfbelasting moet opnemen op een vlak van de h.o.h. afstand tussen de palen en de hoogte van het schot. Bij een gegeven golfbelasting, paaldiameter en weerstandsmoment van de paal (wanddikte) kan met behulp van de methode Blum de maximale h.o.h. afstand tussen de palen worden berekend, welke bepaald wordt door het maximaal opneembare moment in paal. Deze maximale h.o.h. afstand is berekend voor de verschillende paaldiameters en ontwerp golfhoogten.



• *Figuur 5.5, Geschoorde draagconstructie en portaal draagconstructie.*

De horizontale golfbelasting resulteert in een horizontale kracht P , welke aangrijpt op een hoogte h_F boven de bodem. In tabel 5.4 is een overzicht gegeven van de maximaal opneembare momenten, de berekende h.o.h. afstanden, de optredende momenten bij gegeven h.o.h. afstand en de minimale buislengten voor de verschillende ontwerp golfhoogten, uitgaande van het beschikbare weerstandsmoment W en een $f_{y,d}$ voor staal van 235 N/mm^2 . Voor de gegeven sterkte-eigenschappen zijn de maximale h.o.h. afstanden bepaald.

Enkele paal, maximale h.o.h. afstanden buispalen voor alternatief 1 $H_D = 2.1 \text{ m}$, $F_{h,d} = 173.2 \text{ KN/m'}$, $h_F = 4.8 \text{ m}$, $L_D = 115 \text{ m}$				
Paaldiameter (m)	M_{\max} (KNm)	h.o.h. afstand (m)	paallengte (m)	M (KNm)
0.508	622	-	-	-
0.762	2427	1.7	17	2300

Enkele paal, maximale h.o.h. afstanden buispalen voor alternatief 1 $H_D = 2.65 \text{ m}$, $F_{h,d} = 222.5 \text{ KN/m'}$, $h_F = 4.8 \text{ m}$, $L_D = 115 \text{ m}$				
Paaldiameter (m)	M_{\max} (KNm)	h.o.h. afstand (m)	paallengte (m)	M (KNm)
0.508	622	-	-	-
0.762	2427	1.3	17	2290

• Tabel 5.4, H.o.h. afstanden bij het toepassen van een enkele paal als draagconstructie

Na het berekenen van de h.o.h. afstanden voor een enkele paal wordt het volgende geconcludeerd:

- De berekende h.o.h. afstanden zijn niet reëel in verhouding tot de paaldiameters en waterdiepte voor de toegepaste paaldiameters van 0.508 m en 0.762 m. Hieruit is op te maken dat enkele palen als draagconstructie niet volstaan.

Om grotere h.o.h. afstanden toe te kunnen passen, moet de golfbelasting op het golfschot worden opgenomen door meerdere palen. De buispaal waarin het golfschot is aangebracht moet een deel van de belastingen kunnen overdragen op een andere paal, waarvoor twee mogelijkheden zijn onderzocht:

1. Geschoorde constructie. De buispaal, waarin het golfschot is aangebracht, wordt geschoord. Hiervoor wordt de paalkop ondersteund door een of twee schoorgeheide buispalen, die als gevolg van de golfbelasting zowel druk als trek moeten kunnen opnemen (figuur 5.5).
2. Portaal-constructie. De buispaal waarin het schot is aangebracht, wordt ondersteund door een tweede verticale paal die op een afstand x in de werkrichting van de belasting is geplaatst. Hierdoor ontstaat een systeem, welke in staat is om bij een bepaalde h.o.h. afstand de horizontale golfbelasting op moet kunnen nemen (figuur 5.5).

Navolgend zijn deze twee mogelijkheden voor de draagconstructie verder uitgewerkt.

Draagconstructie belast tijdens normaal golfklimaat, geschoorde constructie

Bij het schoren van de verticale buispaal, waarin het schot is afgehangen, wordt de paalkop ondersteund door de bovenkant van een of twee schoorgeheide palen. Na het heien van de beide palen worden de paalkoppen door middel van een kopconstructie aan elkaar gelast. Een schoorgeheide paal kan een horizontale druk- en een trekbelasting opnemen, waardoor de constructie een grotere golfbelasting kan opnemen. Hierdoor kan een grotere h.o.h. afstand tussen de palen worden toegepast. Beide palen zijn aan de onderzijde elastisch ingeklemd, waardoor de constructie statisch onbepaald is en niet met de hand kan worden doorgerekend.

Bij alternatief 1 wordt gebruik gemaakt van een golfschot, welke wegdraait over een horizontale as op ca. 0.5 m boven de bodem in de golfvoortplantingsrichting. Het schot mag tijdens het wegdraaien niet blijven hangen op onderdelen van de draagconstructie, zodat het gewicht op één punt wordt overgedragen. Indien de verticale paal geschoord wordt aan de zeezijde van de constructie, wordt deze paal onder maximale belasting op trek belast, welke wordt opgenomen door de kleef langs de paalschacht.

Indien de opneembare trekbelasting voor één paal niet volstaat, kunnen twee schoorpalen (met eventueel een kleinere diameter) worden toegepast, welke onder een hoek zijn geplaatst op de richting haaks op de golfdempende constructie. Deze constructievorm kan niet worden toegepast voor de draagconstructie van alternatief 1. Deze mogelijkheid van schoren is verder niet uitgewerkt.

Als de schoorgeheide paal aan de havenzijde van de verticale paal wordt geplaatst, wordt de paal onder maximale belasting op druk belast, welke wordt opgenomen door kleef langs de paalschacht en de paalpuntweerstand. Bij het optreden van de ontwerp golfhoogte zal door het waterstandsverschil tussen de zeezijde en havenzijde van de constructie het schot wegdraaien naar de binnenzijde (havenzijde) van de constructie. Hierdoor is het niet mogelijk dat het schot wegdraait naar de buitenzijde en valt het schot tussen de schoorpalen in. Indien de schoorgeheide paal aan de havenzijde van de constructie wordt geplaatst, worden door de eis dat het weggedraaide schot niet op de schoorgeheide paal mag rusten, toleranties opgelegd aan de maatvoering tijdens het heien van zowel de verticale als de schoorgeheide paal.

Bij het berekenen van de toleranties is uitgegaan van een afstand van 0.15 m tussen de verticale paal en het schot. De x-richting ligt in de lengterichting van de constructie en de y-richting staat haaks op de constructie. Voor de h.o.h. afstand (x-richting) tussen de verticale palen dienen afstandshouders te worden gebruikt voor de plaatsbepaling op de bodem en paalkop. Bij het toepassen van dezelfde diameter voor de schoorgeheide paal als de verticale paal bedraagt de tolerantie in de x-richting voor de schoorgeheide paal enkele centimeters, welke nauwelijks gehaald kan worden. Hierdoor is ervoor gekozen om een paaldiameter toe te passen voor de schoorgeheide paal, welke ca. 0.2 m kleiner is dan de diameter van de verticale paal. Hierdoor neemt de maximale afwijking voor de schoorgeheide paal toe tot ca. 0.1 m in de x-richting.

De maximale afwijking voor het plaatsen van de verticale paal in de Y-richting bedraagt tevens 0.1 m. In dit geval wordt de opneembare drukbelasting gemobiliseerd door schachtwrijving langs de binnen- en buitenzijde van de paalschacht of door schachtwrijving langs de buitenzijde van de paalschacht en de paalvoetweerstand bij propvorming in de paal, waarbij de kleinste opneembare belasting de maatgevende is.

Bij het dimensioneren van de geschoorde constructie is uitgegaan van een schoorstand van 1:3. De schoorgeheide paal en verticale paal worden op buiging en op druk of trek belast, waardoor de uitbuiging van de kop van de verticale buispaal wordt beperkt. Doordat de uitbuiging wordt beperkt, wordt niet de volledige beschikbare gronddruk gemobiliseerd. Bij het berekenen van de geschoorde constructie is uitgegaan van de inheidiepte van de verticale paal, indien de hele horizontale belasting wordt opgenomen door de verticale paal.

Uitgaande van het schema voor de ideële belasting, grijpt de resultante van de kracht, welke door de grond wordt opgenomen, aan op $2/3 t_0$. Om een eerste globale berekening te maken, is aangenomen dat een gedeelte van de horizontale belasting wordt opgenomen door de verticale paal door het mobiliseren van de passieve grondweerstand. Het andere gedeelte wordt overgedragen op de schoorgeheide paal, welke wordt opgenomen een druk in de paal. De verdeling wordt bepaald door de ligging van het aangrijppunt van de horizontale belasting en t_0 .

De horizontale belasting die door de schoorgeheide paal dient te worden opgenomen, resulteert in een drukbelasting in deze paal. Hierdoor wordt de verticale paal op trek belast, welke opgenomen dient te worden door de kleef langs de paalschacht. Indien de kleef niet volstaat kan de paal worden verzwaard, zodat het gewicht een deel van de belasting opneemt of kan de verticale paal in de bodem verankerd worden. Voor het ontwerp is berekend wat de minimale paallengte moet zijn om de trek in de verticale paal op te nemen. Indien deze lengte groter is dan de vereiste lengte om een deel van de horizontale belasting op te nemen, is deze lengte maatgevend.

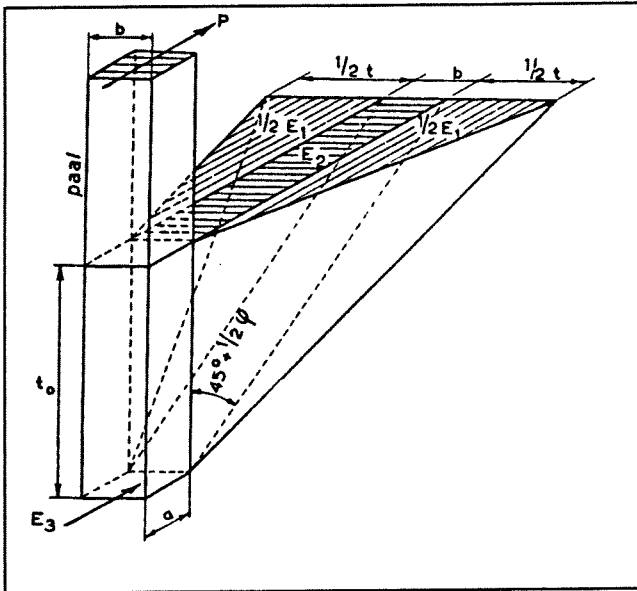
De kopconstructie dient zo te worden ontworpen dat deze de horizontale belasting over kan dragen via de verticale paal op de schoorgeheide paal. Hierdoor dient de kopconstructie voldoende stijfheid en sterkte te bezitten. Als voorbeeld voor een kopconstructie wordt een stalen broekstuk gegeven, wat na het heien van beide palen om de paalkoppen kan worden bevestigd. Dit broekstuk bestaat uit twee halve buizen welke aan elkaar zijn gelast, zodat de verbinding voldoende sterkte en stijfheid heeft om de horizontale belasting op te nemen en over te brengen op de schoorgeheide paal. De ene buis van het broekstuk heeft een diameter die even groot is als de diameter van de verticale buis en de andere buis van het broekstuk heeft een diameter die even groot is als de diameter van de schoorgeheide buis. Deze kopconstructie wordt van onder om de paalkoppen aangebracht, waarna deze kan worden vastgelast of vastgebout.

Een ander voorbeeld voor een kopconstructie kan een betonnen opzet stuk zijn, maar gezien de dynamische golfbelasting en een agressief milieu wat corrosie veroorzaakt, verdient deze optie geen voorkeur. Door de wisselende belasting en de daaraan gekoppelde verplaatsingen verdient een stalen kopconstructie de voorkeur. De kopconstructie is niet verder uitgewerkt en berekend.

Voor het ontwerp is berekend wat de minimale lengte van de schoorgeheide paal moet zijn om het aandeel van de horizontale belasting op te kunnen nemen en of de verticale paal de trekbelasting op kan nemen. Voor een eerste berekening van de geschoorde constructie zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. Het berekenen van de minimale inheidiepte t_0 voor de verticale paal bij de gegeven horizontale belasting, waarmee de lengte van de verticale paal is bepaald.
2. Het berekenen van de verdeling van de horizontale belasting over de verticale en schoorgeheide paal.
3. Uit de horizontale belasting op de schoorgeheide paal kan voor een schoorstand van 1:3 de resulterende drukkracht in de schoorgeheide paal en de resulterende trekkracht in de verticale paal worden berekend.
4. Aan de hand van de grondparameters kan de minimaal benodigde paalpuntweerstand en kleefweerstand worden berekend, waaruit de minimale inheidiepte voor de schoorgeheide paal kan worden berekend. De diameter van de schoorgeheide paal is hierbij 0.2 m kleiner genomen dan de diameter van de verticale paal.
5. De minimale inheidiepte resulteert in een minimale lengte van de schoorgeheide paal, waarbij de kleinste opneembare belasting maatgevend is.
6. De drukkracht in de schoorgeheide paal resulteert in een trekkracht in de verticale paal. Voor de in punt 1 berekende paallengte van de verticale paal wordt berekend of deze de trekbelasting op kan nemen. Indien blijkt dat de in punt 1 berekende lengte niet volstaat, is de minimaal vereiste lengte berekend om de trekbelasting op te kunnen nemen, welke dan maatgevend is.

Bij het berekenen van de grondeigenschappen is uitgegaan van een conusweerstand van $8 \cdot 10^3 \text{ KN/m}^2$ (8 MPa) en een wrijvingsgetal van 1%, wat resulteert in een wrijvingsweerstand van 80 KN/m^2 . In tabel 5.5 is een overzicht gegeven van de minimale paallengte van de geschoorde en de verticale paal bij een h.o.h. afstand van 4 m.



• *Figuur 5.6, Methode Blum, afschuivende grondwig.*

Geschoorde constructie, minimale paallengte voor alternatief 1 $H_D = 2.1 \text{ m}$, $F_{h,d} = 173.2 \text{ KN/m}'$, $h_F = 4.8 \text{ m}$, $L_D = 115 \text{ m}$, h.o.h. 4 m					
Verticale paal			Schoorgeheide paal		
Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)	Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)
0.508	31	20	0.324	69	19.5
0.762	31	19.5	0.508	69	16

Geschoorde constructie, minimale paallengte voor alternatief 1 $H_D = 2.65 \text{ m}$, $F_{h,d} = 222.5 \text{ KN/m}'$, $h_F = 4.8 \text{ m}$, $L_D = 115 \text{ m}$, h.o.h. 4 m					
Verticale paal			Schoorgeheide paal		
Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)	Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)
0.508	30	20.5	0.324	70	22.5
0.762	30	20	0.508	70	18

• Tabel 5.5, Minimale paallengten voor de geschoorde constructie.

In het Caribisch gebied bevindt zich onder het zeebodem materiaal op vele plaatsen bedrock. Dit bedrock kan een belemmering vormen om de vereiste inheidiepten te bereiken. Bij het berekenen van paalvoetweerstand van de schoorgeheide paal is uitgegaan van een gemiddelde conusweerstand van $8 \cdot 10^3 \text{ KN/m}^2$. Het bedrock heeft een conusweerstand welke aanzienlijk hoger is dan deze waarde, waardoor de paalpunt waarschijnlijk alle drukbelasting op zich zal nemen indien de gewenste diepte niet kan worden gehaald. Indien de vereiste diepte voor de verticale paal niet kan worden bereikt door de aanwezigheid van bedrock, dient deze met trekankers in de bodem te worden verankerd.

Draagconstructie belast tijdens normaal golfklimaat, portaal-constructie

Bij de portaal-constructie wordt de horizontale golfbelasting opgenomen door twee verticale palen, welke zijn geplaatst op de richting loodrecht op de golfdempende constructie. Doordat de paalkop van de paal waaraan het golfschot is afgehangen, is verbonden met de paalkop van de naburige paal, nemen beide palen een deel van de belasting op. Beide palen worden op buiging belast, waarbij de uiteinden als uitkragend worden geschematiseerd.

Voor het benaderen van de opneembare belasting door de portaal-constructie worden de paalkoppen door een pendelstaaf met elkaar verbonden, waardoor beide paalkoppen kunnen uitbuigen en een hoekverdraaiing kunnen ondergaan. Bovenstaande schematisatie geeft rekening van de ondergrens van de opneembare belasting door een portaalconstructie. Indien de paalkoppen worden ingeklemd kan een grotere horizontale belasting worden opgenomen.

Bij een enkele buispaal die op buiging wordt belast, levert de grond de tegenwerkende kracht. Hoe dieper de paal wordt geheid, hoe meer grond rondom de paal wordt gemobiliseerd voor het opnemen van de horizontale belasting. Volgens de methode Blum is de opneembare horizontale belasting afhankelijk van het volume van de afschuivende grondwig, waarvan de afmetingen in figuur 5.6 zijn afgebeeld. Bij een enkele paal A wordt de opneembare belasting bepaald door het volume van de grondwig. Indien in deze grondwig een paal B wordt geplaatst, welke dezelfde of een grotere uitbuiging heeft als de naburige paal, zal een gedeelte van de grondwig geen aandeel hebben in het opnemen van een horizontale belasting van paal A. Hierdoor zal paal A een kleinere horizontale belasting kunnen opnemen.

De maximale opneembare horizontale belasting is voor paal A gereduceerd met de verhouding tussen het volume van de overlappende grondwig en het totale volume van de grondwig bij gegeven inheidiepte. Hierdoor wordt de totale opneembare belasting door de portaal-constructie niet twee keer zo groot bij het gebruik van twee palen, maar een gedeelte daarvan. Het percentage hiervan is afhankelijk van de onderlinge afstand van de beide palen. Indien de grondwigen elkaar niet overlappen is de opneembare belasting bij het gebruik van twee palen wel twee keer zo groot.

Bij een onderlinge afstand tussen de paal A en B van 3 m wordt de maximaal opneembare horizontale kracht voor paal A verkregen door het volume van de overlappende grondwig te delen door het totale volume van de grondwig voor een gegeven paallengte, wat resulteert in een waarde van 0.54. Dit wil zeggen dat paal A 54% van de opneembare belasting van paal B kan opnemen. Het totaal aan belasting wat de portaalconstructie kan opnemen komt dan op 1.54 maal de opneembare kracht van een enkele paal.

Hiermee kan met de methode Blum de maximale h.o.h. afstand worden berekend voor de verschillende paaldiameters, waarbij het werkende moment het maximale toelaatbare moment in paal B niet mag overschrijden. In tabel 5.6 is een overzicht gegeven van de resulterende h.o.h. afstanden voor de portaal-constructie voor de verschillende paaldiameters.

Portaal-constructie, maximale h.o.h. afstanden portalen voor alternatief 1				
$H_D = 2.1 \text{ m}$, $F_{h,d} = 173.2 \text{ KN}$, $h_F = 4.8 \text{ m}$, $L_D = 115 \text{ m}$				
Paaldiameter (m)	M_{\max} (KNm)	h.o.h. afstand (m)	paallengte (m)	M (KNm)
0.508	622	-	-	-
0.762	2427	2.6	17	2317

Portaal-constructie, maximale h.o.h. afstanden portalen voor alternatief 1				
$H_D = 2.65 \text{ m}$, $F_{h,d} = 222.5 \text{ KN}$, $h_F = 4.8 \text{ m}$, $L_D = 115 \text{ m}$				
Paaldiameter (m)	M_{\max} (KNm)	h.o.h. afstand (m)	paallengte (m)	M (KNm)
0.508	622	-	-	-
0.762	2427	2.0	17	2301

• Tabel 5.6, Maximale h.o.h. afstanden voor portaal-constructie.

Uit de tabel is op te maken dat de h.o.h. afstanden niet reëel zijn ten opzichte van de paaldiameters en constructiehoogte bij gegeven belasting en onderlinge afstand tussen paal A en B van 3 m. De h.o.h. afstanden tussen de portalen kunnen worden vergroot door de onderlinge afstand tussen de palen A en B te vergroten. Conclusie naar aanleiding van het berekenen van de verschillende draagconstructies:

- *Uit het berekenen van de opneembare horizontale belastingen en h.o.h. afstanden voor de verschillende typen draagconstructies kan worden geconcludeerd dat de schoorconstructie het meest geschikt is als draagconstructie voor de golfdempende constructie voor alternatief 1, 2 en 3.*
- *De krachtwerving in de schoorconstructie dient te worden doorgerekend met een eindige elementen model, zodat beter inzicht wordt verkregen in de werkende momenten en dwarskrachten in de hele constructie. Aan de hand van de gemaakte berekening is te zien dat het opneembare moment voor een buisdiameter 0.508 met een wanddikte van 14.2 mm te klein is om het moment ter hoogte van het aangrijppunt van de horizontale kracht op te nemen. Het opneembare moment kan worden vergroot door de wanddikte van de buis te vergroten of het werkende moment kan worden verkleind door de schoorgeheide en verticale buis te verbinden met een pendelstaaf.*

Draagconstructie belast door maximale individuele golf, geschoorde constructie.

De draagconstructie wordt tijdens orkaanomstandigheden belast door brekende golven. Voor de situatie gedurende deze omstandigheden bedraagt de maximale waarde voor R_e ongeveer $5 \cdot 10^6$. De C_D -waarde voor cilindrische palen bedraagt voor deze waarde van R_e ca. 0.7 voor niet-brekende golven. De belasting op de draagconstructie hangt af van het aantal palen. Onderstaand is voor de geschoorde draagconstructie de optredende belasting tijdens deze omstandigheden berekend. Bij de geschoorde constructie wordt de verticale buispaal waarin het golfdempende schot wordt afgehangen, ondersteund door een schoorgeheide paal aan de binnenzijde van de haven. De schoorgeheide paal heeft een diameter, welke ca. 0.2 m kleiner is dan de diameter van de verticale buispaal. De palen hebben een C_D -waarde van 1.75 in brekende golven. Met behulp van de formules van Morison zijn de resulterende krachten te berekenen voor de verschillende paaldiameters.

De formulering van Morison is geldig voor een situatie, waar de bovenkant van de paal boven de kruin van de golf uitsteekt. De paalkoppen van de golfdempende constructie bevinden zich op + 2 m M.S.L., terwijl de kruin van de golf zich op ca. + 4.25 m M.S.L. bevindt, waardoor de berekende belasting gereduceerd dient te worden. De waarde voor K_{Dm} , welke de verhouding aangeeft tussen de belasting op de paal op de bodem en de belasting op het wateroppervlak, is ongeveer 1, waardoor de golfbelasting ongeveer uniform verdeeld is aangenomen over de paalhoogte. Door de absolute berekende waarden te vermenigvuldigen met de verhouding tussen de paallengte en afstand tussen kruinhoogte van de golf en de bodem wordt een schatting gegeven van de werkelijke belasting op de paal.

In de tabel 5.7 is een overzicht gegeven van de gereduceerde horizontale belastingen op de palen en op de geschoorde constructie. Hierin is de hoogte van de constructie (h_c) 9.5 m en de hoogte van de kruin van de golf ($h_k = d + \frac{1}{2} H_b$) 11.75 m aangenomen, wat resulteert in een reductiefactor van $h_c / h_k = 0.8$. De werkende hoogte van de resulterende kracht is tevens met 0.8 gereduceerd.

Geschoorde constructie, gereduceerde belasting in orkaanomstandigheden voor alternatief 1 $H_D = 8.5 \text{ m}$, $L_D = 110 \text{ m}$							
Verticale buispaal			Schoorgeheide paal			Geschoorde constructie	
Paaldiameter (m)	F_{Dm} (KN)	h_F (m)	Paaldiameter (m)	F_{Dm} (KN)	h_F (m)	F_{Dm} (KN)	h_F (m)
0.508	248	6.6	0.324	159	6.6	407	6.6
0.762	372	6.6	0.508	248	6.6	620	6.6

• Tabel 5.7, Gereduceerde belasting op geschoorde constructie in orkaanomstandigheden.

Bij het berekenen van de grondeigenschappen is uitgegaan van een conusweerstand van $8 \cdot 10^3 \text{ KN/m}^2$ (8 MPa) en een wrijvingsgetal van 1%, wat resulteert in een wrijvingsweerstand van 80 KN/m^2 . De paallengten van de palen zijn op dezelfde wijze berekend als voor de geschoorde constructie in normaal golfklimaat. In tabel 5.8 zijn de resulterende paalafmetingen gepresenteerd.

Geschoorde constructie, minimale paallengte voor alternatief 1 $H_D = 8.5 \text{ m}$, $h_F = 6.6 \text{ m}$, $L_D = 110 \text{ m}$					
Verticale paal			Schoorgeheide paal		
Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)	Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)
0.508	20	18.5	0.324	80	16.5
0.762	19	19.5	0.508	81	15

• Tabel 5.8, Minimale paallengte geschoorde constructie in orkaanomstandigheden.

Conclusie naar aanleiding van het berekenen van de draagconstructie voor het normale golfklimaat en orkaanomstandigheden:

- Naar aanleiding van het dimensioneren van de geschoorde constructie op golfbelastingen voortkomend uit normaal en extreem golfklimaat kan worden geconcludeerd dat de ontwerpbelasting voortkomend uit het normale golfklimaat maatgevend is. De draagconstructie voor alternatief 1 dient te worden gedimensioneerd op de belasting voortkomend uit dit golfklimaat.

5.4.3 Waterkerende elementen

De waterkerende elementen zorgen voor de golfdempende eigenschappen van de golfdempende constructie, waarbij de maatgevende golfbelasting is bepaald aan de hand van de grootste optredende waterdruk op een verticale wand volgens het belastingmodel, welke wordt bereikt op 0 m M.S.L. Voor een golfhoogte van 2.1 m bedraagt deze waterdruk 21.3 KN/m² en voor een golfhoogte van 2.65 m bedraagt de rekenwaarde van deze waterdruk 26.9 KN/m².

De waterkerende elementen zijn berekend voor een situatie waar de buispalen van de draagconstructie h.o.h. 4 m zijn geplaatst en een afstand van 0.15 m tussen paal en schot. Dit resulteert in een maximale overspanning l van ca. 3.2 m en 3.0 m voor een constructie met een buisdiameter van respectievelijk 0.508 m en 0.762 m. Indien de waterkerende elementen in het midden worden opgelegd op een ligger, resulteert dit in de helft van de bovengenoemde maximale overspanningen.

De waterkerende elementen zijn berekend op sterkte waarbij de materiaalsterkte in de uiterste vezels niet overschreden mag worden. Voor het berekenen van de waterkerende elementen is een materiaalfactor van 1.2 toegepast. De elementen zijn berekend, waarbij voor alternatief 1 hout of een kunststofplaat als constructiemateriaal is toegepast. Bij de berekening van de kunststofelementen is uitgegaan van een laminaatdikte van 4 mm. In tabel 5.9 is een overzicht gegeven van de resulterende elementdikte t bij een elementhoogte van 250 mm.

Elementdikte t bij gegeven elementhoogte van 250 mm voor alternatief 1 $H_D = 2.1$ m, $p_{1,d} = 21.3$ KN/m ² , draagconstructie h.o.h. 4 m				
	Diameter 0.508 m		Diameter 0.762 m	
Materiaal	Overspanning $l = 1.6$ m	Overspanning $l = 3.2$ m	Overspanning $l = 1.5$ m	Overspanning $l = 3.0$ m
Hout	$t = 41$ mm	$t = 82$ mm	$t = 39$ mm	$t = 77$ mm
Kunststof	$t = 9$ mm	$t = 36$ mm	$t = 8$ mm	$t = 31$ mm

Elementdikte t bij gegeven elementhoogte van 250 mm voor alternatief 1 $H_D = 2.65$ m, $p_{1,d} = 26.9$ KN/m ² , draagconstructie h.o.h. 4 m				
	Diameter 0.508 m		Diameter 0.762 m	
Materiaal	Overspanning $l = 1.6$ m	Overspanning $l = 3.2$ m	Overspanning $l = 1.5$ m	Overspanning $l = 3.0$ m
Hout	$t = 46$ mm	$t = 92$ mm	$t = 44$ mm	$t = 87$ mm
Kunststof	$t = 12$ mm	$t = 45$ mm	$t = 10$ mm	$t = 40$ mm

- Tabel 5.9, Overzicht dikte waterkerende elementen.

Naar aanleiding van het berekenen van de waterkerende elementen kan het volgende worden geconcludeerd:

- *Afhankelijk van het gewenste gewicht van de schotconstructie dient hout of kunststof als materiaalsoort te worden gekozen.*
- *De dikte van de kunststof elementen voor de kleine overspanningen zijn ongeveer de dikte van het laminaat. Bij het toepassen van kunststof elementen voor de kleine overspanningen kan beter een kleinere laminaatdikte worden gekozen, waardoor de elementdikte toeneemt bij gelijkblijvende sterkte.*
- *De dikte voor de houten elementen voor de overspanningen van 3.0 en 3.2 bedraagt ca. 9 cm, wat minder aantrekkelijk is voor een ontwerp vanwege het relatief hoge gewicht.*

5.4.4 Opbouw schotconstructie

Bij alternatief 1 wordt tijdens het bereiken van de ontwerpgolfhoogte het golfschot over een horizontale as boven de bodem weggedraaid. De golfdempende elementen dienen op hun plaats te worden gehouden, zodat bij rustig weer de elementen in één keer geïnstalleerd kunnen worden. De bovenkant van het schot is 2 m + M.S.L. en de onderkant van het schot op 7 m - M.S.L. wat resulteert in een schothoogte van 9 m. De breedte van het schot hangt af van de afstand tussen de profielen. Het dimensioneren van het schot is uitgewerkt voor een situatie waar de buispalen h.o.h. 4 m zijn geplaatst. De schotafmetingen zijn berekend voor een buisdiameter van 0.508 m en 0.762 m.

De stijfheid in de verticale richting van het schot wordt verkregen met behulp van HE-profielen of samengestelde liggers. De afdichting wordt verkregen door waterkerende elementen te bevestigen op deze profielen. Aan de bovenzijde wordt de golfbelasting via het faalmechanisme overgebracht op een horizontale dwarsbalk, welke een verbinding vormt tussen twee palen van de draagconstructie. Deze draagbalk draagt op zijn beurt de belasting weer over op de buispalen. Aan de onderzijde wordt de belasting via de scharnieren overgedragen op de buispalen.

De langsliggers of profielen worden doorgerekend als een scharnierende ligger op twee steunpunten. Voor de belasting is 21.3 KN/m² en 26.9 KN/m² aangehouden. Doordat de golfbelasting met de diepte iets afneemt, geeft deze benadering een overschatting. Bij het gebruik van twee liggers wordt de overspannende breedte 3.2 m of 3.0 m bij een draagconstructie van buispalen met een diameter van respectievelijk 0.508 m en 0.762 m, waarbij beide profielen de helft van de totale horizontale belasting opnemen.

Bij het gebruik van drie profielen of liggers wordt de overspannende breedte 1.6 m of 1.5 m. Bij aanname dat de waterkerende elementen scharnieren zijn opgelegd op de liggers, neemt het middelste profiel de halve belasting op en de buitenste profielen een kwart van de belasting. Bij het berekenen van de liggers is uitgegaan van staalsoort Fe360 met een vloeigrens $f_{y,d}$ van 235 N/mm².

De profielen zijn berekend op de sterkte, waarbij de vloeigrens in de flenzen niet overschreden mag worden. Met behulp van het maximale moment in de ligger en de materiaaleigenschappen kan het minimaal benodigde weerstandsmoment (W) worden berekend. Aan de hand van dit berekende weerstandsmoment kan een profielkeuze worden gedaan.

In tabel 5.10 is een overzicht gegeven van de berekende benodigde weerstandsmomenten voor de verschillende constructiemogelijkheden, waarbij een HE-profiel is gekozen. Bij het gebruik van drie profielen draagt het middelste profiel evenveel belasting als een profiel bij het gebruik van twee profielen.

Alternatief 1, profielkeuze golfschotten $H_D = 2.1 \text{ m}$, $p_{1,d} = 21.3 \text{ KN/m}^2$, h.o.h. 4 m				
	Buisdiameter 0.508 m		Buisdiameter 0.762 m	
Constructie golfschot (langsliggers)	W_{ben} (cm^3)	Profielkeuze (W)-(kg/m')	W_{ben} (cm^3)	Profielkeuze (W)-(kg/m')
2 profielen	1469	HE 240M (1800)-(160)	1379	HE 280B (1380)-(105)
3 profielen, buitenste profielen	734	HE 220 B (736)-(73)	688	HE 220 B (736)-(73)

Alternatief 1, profielkeuze golfschotten $H_D = 2.65 \text{ m}$, $p_{1,d} = 26.9 \text{ KN/m}^2$, h.o.h. 4 m				
	Buisdiameter 0.508 m		Buisdiameter 0.762 m	
Constructie golfschot (langsliggers)	W_{ben} (cm^3)	Profielkeuze (W)-(kg/m')	W_{ben} (cm^3)	Profielkeuze (W)-(kg/m')
2 profielen	1852	HE 260M (2160)-(175)	1741	HE 240M (1800)-(160)
3 profielen, buitenste profielen	927	HE 240B (938)-(85)	869	HE 240B (938)-(85)

- Tabel 5.10, Profielkeuze voor langsliggers van het golfschot.

Uit de profielkeuze valt op te maken dat de profielen zwaar uitvallen voor de constructie van het schot. Dit resulteert in hoge schotgewichten, welke door de scharnieren moeten worden overgebracht naar de draagconstructie. Om het totale schotgewicht te verkleinen, wordt een samengestelde ligger toegepast met een grotere hoogte, waardoor het materiaal beter wordt benut. Als ligger kan een vakwerklijger of honingraadlijger worden toegepast, waarbij de vakwerklijger verder is uitgewerkt. Deze vakwerklijger is opgebouwd uit een HE-profiel, waarin de golfdempende elementen worden bevestigd en een vierkant kokerprofiel. Bij het berekenen van het weerstandsmoment van de samengestelde ligger is ervan uitgegaan dat de dwarsverbanden geen aandeel hebben in het opnemen van het moment. In tabel 5.11 is een overzicht gegeven van de liggerhoogte bij verschillende toegepaste profielen. Hierbij is de liggerhoogte berekend voor een schot wat is opgebouwd uit twee profielen.

Alternatief 1, liggerhoogte samengestelde ligger $H_D = 2.1 \text{ m}$, $p_{1,d} = 21.3 \text{ KN/m}^2$, h.o.h. 4 m			
Opbouw samengestelde ligger	Gewicht ligger ($\text{kg/m}'$)	Buisdiameter 0.508 m	Buisdiameter 0.762 m
HE 100B + □ 100x100x5	43.8	655 mm	614 mm
HE 140B + □ 140x140x5	61.2	422 mm	396 mm
HE 180B + □ 180x180x5	84.3	294 mm	276 mm

Alternatief 1, liggerhoogte samengestelde ligger $H_D = 2.65 \text{ m}$, $p_{1,d} = 26.9 \text{ KN/m}^2$, h.o.h. 4 m			
Opbouw samengestelde ligger	Gewicht ligger ($\text{kg/m}'$)	Buisdiameter 0.508 m	Buisdiameter 0.762 m
HE 100B + □ 100x100x5	45.6	826 mm	776 mm
HE 140B + □ 140x140x5	62.4	532 mm	500 mm
HE 180B + □ 180x180x5	85.1	371 mm	348 mm

- Tabel 5.11, Overzicht liggerhoogte samengestelde ligger.

De stijfheid van het schot in de breedte wordt geleverd door aan de bovenzijde en onderzijde over een hoogte van 0.75 m stalen platen met een dikte van 5 mm te lassen aan beide kanten van het schot. Aan de onderzijde en bovenzijde wordt tevens over de hoogte van de ligger een plaat gelast, zodat een soort koker ontstaat. Aan de bovenzijde draagt deze koker de horizontale golfbelasting via de breekpennen over op de horizontale draagbalk tussen de palen en aan de onderzijde draagt de koker een deel van de horizontale golfbelasting en het schotgewicht via de scharnieren over op de draagconstructie.

Naar aanleiding van het berekenen van de langsliggers van het schot kan het volgende worden geconcludeerd:

- *Het toepassen van een samengestelde ligger voor de langsliggers van het schot levert een aanzienlijke reductie op voor het gewicht van de langsligger per strekkende meter.*

Voor verschillende schotconstructies is het mogelijk om het globale gewicht ervan te berekenen. Het soortelijk gewicht van het toegepaste materiaal voor de waterkerende elementen heeft veel invloed op het totaal-gewicht van het schot. Tevens dient het gewicht onder water kleiner te zijn dan 0, zodat het schot niet drijft. Uit een vergelijking tussen de opneembare horizontale golfbelasting en het schotgewicht moet blijken welke maatgevend is voor de belasting op de scharnieren. Het schotgewicht is uitgerekend voor een schot, waarbij de horizontale golfbelasting via twee langprofielen wordt overgedragen naar de langsconstructie. In tabel 5.12 op de volgende bladzijde is een overzicht gegeven van de totaal-gewichten van het schot bovenwater, tijdens het functioneren en onderwater voor een golfhoogte van 2.65 m en een buisdiameter van 0.508 m.

Alternatief 1, overzicht schotgewichten voor de verschillende schotconstructie-mogelijkheden			
H _D = 2.65 m, h.o.h. afstand 4 m, buisdiameter 0.508 m			
Type schotconstructie	Gewicht boven water	Gewicht na installatie in draagconstructie	Gewicht onder water
2 HE-profielen + houten elementen	6140 kg	4230 kg	3674 kg
2 HE-profielen + kunststof elementen	4250 kg	3210 kg	2910 kg
2 samengestelde liggers + houten elementen	3890 kg	1870 kg	1430 kg
2 samengestelde liggers + kunststof elementen	2000 kg	930 kg	670 kg

- *Tabel 5.12, Overzicht schotgewichten.*

Naar aanleiding van het berekenen van de globale schotgewichten kan het volgende worden geconcludeerd:

- *Het toepassen van kunststof waterkerende elementen i.p.v. houten waterkerende elementen levert een gewichtreductie van ca. 40 % op van het totaalgewicht van het schot.*
- *Het toepassen van een samengestelde ligger i.p.v. een HE-profiel als langsligger levert een gewichtsreductie op van ca. 45% van het totaal gewicht van het schot.*

In figuur 5.7 is de constructie geschetst, waarbij het schot is opgebouwd uit een samengestelde ligger.

5.4.5 Belasting op de breekpennen en scharnieren

Het faalmechanisme zorgt ervoor dat de golfdempende schotten verwijderd zijn, voordat ze bezwijken en bevindt zich bovenin de draagconstructie. Hiervoor worden breekpennen gebruikt die de verbinding vormen tussen de bovenkant van het schot en de dwarsligger tussen de palen. De pennen moeten met de hand verwijderd kunnen worden bij naderende storm of moeten bezwijken bij een bepaalde belasting, welke voortkomt uit een ontwerp golfhoogte. Het gebruik van breekpennen zorgt ervoor dat bij een te hoge golfbelasting de golfschotten worden afgezonden, voordat deze bezwijken. Hierdoor wordt de golfbelasting gedurende extreme weersomstandigheden beperkt en kan de draagconstructie overleven.

Het aandeel van de horizontale golfbelasting, welke wordt opgenomen door de breekpennen, wordt via de gelaste plaat op het uiteinde van de langsligger overgedragen op de dwarsligger tussen de palen. De breekpen wordt aangebracht door een uitsparing in deze plaat en de dwarsligger en dient te bezwijken op afschuiving

De breekpennen dienen van een materiaal te worden vervaardigd met een kleine spreiding in sterkte. Het meest ideale is om per golfschot één breekpen toe te passen, maar daardoor worden de scharnieren aan de onderkant van het golfschot in de gebruikstoestand op torsie belast. Wanneer per golfschot twee breekpennen worden toegepast, kan het golfschot niet torderen tijdens functioneren. Bij het bezwijken van één van de twee breekpennen dient de ander direct te bezwijken.

Doordat het schot moet kunnen draaien, worden de oplegreacties geconcentreerd in de scharnieren en de dwarsbalk aan de bovenzijde, waarin de breekpennen zich bevinden. De oplegreacties zijn de resultanten van de horizontale golfbelasting en het gewicht van het schot. De breekpennen dienen te bezwijken bij een bepaalde belasting. Door eventuele vervorming van het schot is het niet mogelijk om vast te stellen welk deel van het schotgewicht wordt opgenomen door de scharnieren beneden en hoeveel van het gewicht van het schot wordt opgenomen door de ophanging aan de bovenzijde. Hierdoor worden de breekpennen gedimensioneerd voor het opnemen van horizontale belasting en mogen ze geen verticale belasting opnemen. De breekpennen bezwijken puur door afschuiving, zodat het bezwijktraject kort is.

De scharnieren dragen het volledige gewicht van het schot en een gedeelte van de horizontale golfbelasting over op de draagconstructie. Voor het ontwerp van de golfdempende constructie is de plaats en de belasting op het scharnier berekend. Het scharnier zelf is niet verder uitgewerkt en gedetailleerd. Direct na het bezwijken van de breekpennen en voor het begin van het wegdraaien van het schot dragen de scharnieren de volledige horizontale belasting over op de draagconstructie.

De belasting op de pennen en de scharnieren is afgeleid uit het golfbelastingmodel in paragraaf 5.3.1. De verticale belasting op de scharnieren is afhankelijk van de toegepaste schotconstructie en is aanzienlijk kleiner dan de golfbelasting. Het scharnier zelf dient dus te worden gedimensioneerd voor het opnemen van de horizontale golfbelasting.

In tabel 5.13 is een overzicht gegeven van de belasting op één breekpen (uitgaande van twee breekpennen per golfschot) en de belasting op één scharnier (uitgaande van twee scharnieren per golfschot). Hierbij zijn palen 0.508 h.o.h. 4 m geplaatst en is uitgegaan van twee scharnieren en twee breekpennen per schot.

Alternatief 1, belasting op breekpen en scharnier		
L _D = 115 m, paaldiameter 0.508 m, h.o.h. 4 m		
Ontwerpgolfhoogte (m)	Belasting op scharnier (KN)	Belasting op breekpen (KN)
2.1	277	133
2.65	372	170

- Tabel 5.13, Belasting op breekpen en scharnier.

Na het berekenen van de belastingen op de scharnieren en de breekpennen kan het volgende worden geconcludeerd:

- De belasting op de scharnieren afkomstig van de golfbelasting is maatgevend voor het dimensioneren.

5.4.6 *Kracht op het afgezonken golfschot tijdens het optreden van de maximale golfhoogte*

Tijdens het optreden van de maximale golfhoogte dient de golfdempende constructie de resulterende golfkrachten op te kunnen nemen. Een randvoorwaarde voor het ontwerp is dat het afgezonken golfschot niet mag bewegen onder invloed van de golfbeweging. Een volledige beschouwing van het gedrag van het afgezonken schot onder een golfbeweging is zeer complex. In deze paragraaf wordt globaal een eerste inzicht gegeven in de werkende krachten op het afgezonken schot.

Een stortstenen talud of betonnen element aan de zeezijde van de golfdempende constructie zorgt ervoor dat het water vloeiend over het afgezonken schot wordt gevoerd en dat er geen water door de opening aan de zeezijde onder het schot kan stromen. Voor deze beschouwing zijn een aantal aannamen gedaan, die duidelijk zijn toegelicht.

De belasting op het schot is bepaald in twee situaties. De eerste situatie is de belasting op het golfschot, wanneer de constructie wordt gepasseerd door een golftop. De waterbeweging van een extreme golf is op dat moment landwaarts gericht. Voor het berekenen van de druk aan de bovenzijde van het schot wordt het voorliggende talud en het schot vergeleken met een vleugelprofiel. Het schot wordt beschouwd als de achterzijde van het vleugelprofiel. De druk aan de bovenzijde van het schot wordt berekend door de waterdruk ten gevolge van de golfbeweging te verminderen met een liftkracht. Deze liftkracht werkt op het schot door de verandering van stroomlijnen aan de bovenzijde van het aangenomen vleugelprofiel. De werkende krachten op het schot bestaan uit het gewicht van het schot, de liftkracht en de waterdruk aan de bovenzijde van het schot door de waterbeweging en de waterdruk aan de onderzijde van het schot. De waterdruk aan de onderzijde van het schot is hierbij hydrostatisch ten opzichte van M.S.L. aangenomen. Indien het moment om het scharnier ten gevolge van waterdruk aan de bovenzijde van het schot verminderd met de liftkracht en het schotgewicht kleiner is dan de druk aan de onderzijde van het schot zal het schot tijdelijk worden gelift.

In de tweede situatie is de belasting op het golfschot beschouwd tijdens het passeren van het golfdal. De waterbeweging is nu zeewaarts gericht, waardoor het in eerste instantie aangenomen vleugelprofiel, opgebouwd uit het talud en schot, van de verkeerde kant (voorzijde) wordt aangestroomd, waardoor de werking van een vleugelprofiel niet meer opgaat. Hierdoor kan de kracht op het schot niet meer worden beschouwd aan de hand van de drukverdeling boven een vleugelprofiel. De waterbeweging is zeewaarts gericht, waardoor het schot door de schuinstand tegen de bodem wordt gedrukt ("down force").

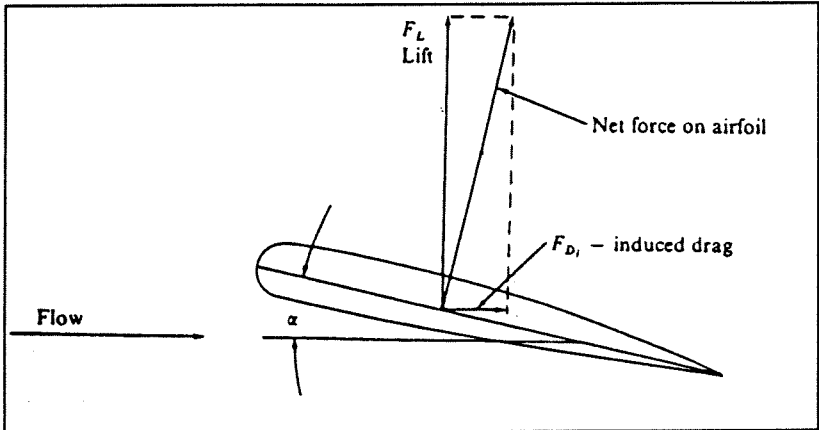
De werkende krachten op het schot bestaan uit het gewicht van het schot, de "down force" en waterdruk aan de bovenzijde van het schot door de waterbeweging en de waterdruk aan de onderzijde van het schot. De waterdruk onder het schot is hierbij hydrostatisch ten opzichte van M.S.L. aangenomen en de druk boven het schot is bepaald volgens de lineaire golftheorie. De "down force" is de verticale component van de horizontale kracht op het schot, welke is berekend met behulp van een opgestelde impulsbalans voor de constructie.

De druk op de onderzijde van het schot is hydrostatisch aangenomen, waarvoor geldt:

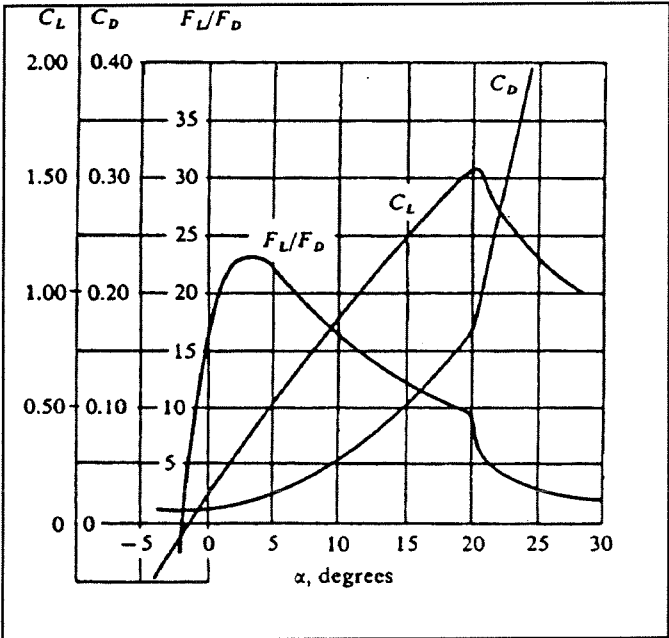
$$p = \rho g h \quad (5.g)$$

waarin:

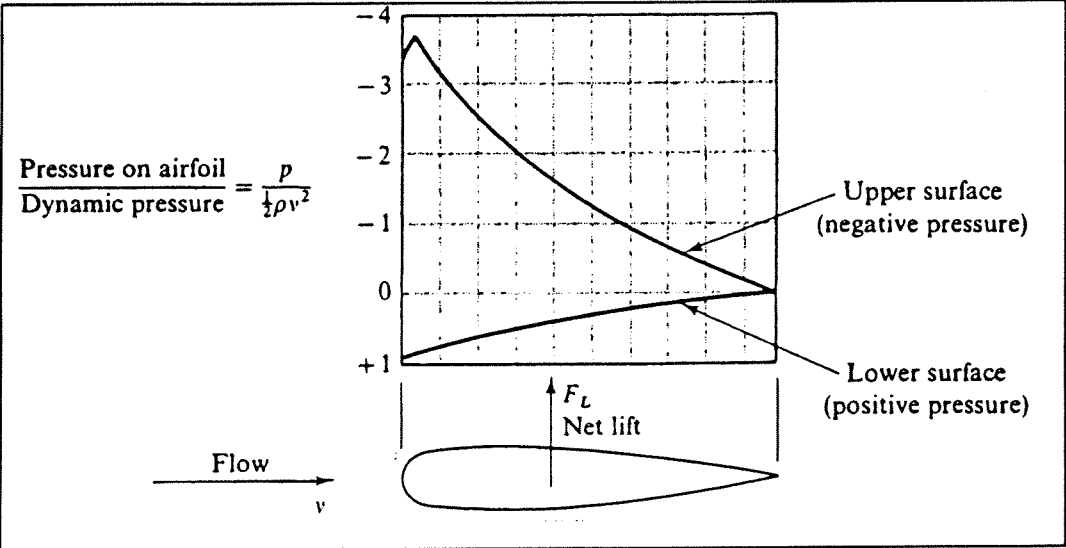
- p = druk (N/m^2)
- ρ = soortelijke massa water (N/m^3)
- h = waterdiepte (m)



• *Figuur 5.8, Liftkracht op vleugelprofiel.*



• *Figuur 5.9, Liftcoëfficiënt C_L*



• *Figuur 5.10, Drukverdeling vleugelprofiel.*

De druk aan de bovenzijde van het schot is bepaald volgens de lineaire golftheorie, waarvoor geldt:

$$p = -\rho g z + \rho g a \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(\omega t - kx) \quad (5.h)$$

waarin:

- p = druk (N/m^2)
- ρ = soortelijke massa water (N/m^3)
- h = waterdiepte (m)
- a = amplitude van de golfbeweging (m)
- z = hoogte boven de bodem (m)
- k = golfgetal (-)
- ω = hoekfrequentie (rad/s)
- t = tijd (s)
- x = horizontale afstand tot referentiepunt (m)

De verticale liftkracht op het schot tijdens het optreden van een golftop is berekend aan de hand van de liftkracht op een vleugelprofiel (figuur 5.8), welke gelijkenis toont met de vorm van de doorsnede van de berm en het afgezonken schot. De liftkracht F_L is voornamelijk afhankelijk van de snelheid van het water, de liftcoëfficiënt C_L en het oppervlak van het profiel. De waarde van C_L is afhankelijk van de hoek tussen de stroom (α) en de as van het profiel. De liftkracht op een vleugelprofiel ontstaat door de stroming langs de boven- en onderzijde van het profiel, waardoor een drukverdeling ontstaat. Een netto drukverschil aan de boven- en onderzijde resulteert in een verticale opwaartse kracht.

De waarde C_L is bepaald aan de hand van de drukverdeling aan de boven- en onderzijde van het profiel. Bij de golfdempende constructie vindt geen stroming plaats langs de onderzijde van de constructie, waardoor er geen overdruk ontstaat aan de onderzijde. Voor het berekenen van de liftkracht op het afgezonken schot is alleen het aandeel van de onderdruk aan de bovenzijde in rekening gebracht.

De lift-coëfficiënt C_L (figuur 5.9) voor het berekenen van de liftkracht op het schot is hierdoor gereduceerd met de verhouding tussen het oppervlak van het drukdiagram boven het schot en het totale oppervlak van het drukdiagram (figuur 5.10). De liftkracht op het schot kan vervolgens worden berekend aan de hand van de liftkracht op een vleugelprofiel met een gereduceerde waarde voor C_L , welke onderstaand is gepresenteerd (ref. 8):

$$F_L = C_L \rho g \frac{v^2}{2} A \quad (5.i)$$

waarin:

- F_L = liftkracht (N)
- C_L = liftcoëfficiënt (-)
- ρ = soortelijke massa water (N/m^3)
- v = snelheid (m/s)
- A = oppervlakte (m^2)

Door de zeewaarts gerichte waterbeweging tijdens het passeren van een golfdal wordt op het schot een neerwaartse kracht ("down force") uitgeoefend. Deze neerwaartse kracht wordt veroorzaakt door de horizontale waterbeweging op het onder een helling liggende schot. Met een opgestelde impulsbalans voor het schot kan de horizontale kracht worden berekend welke door de waterbeweging wordt uitgeoefend op het schot, waaruit de neerwaartse kracht is afgeleid.

De waterdiepten, stroomdoorgangen en watersnelheden zijn berekend met behulp van de lineaire golftheorie. Door het ontbinden van de horizontale kracht in een component langs het schot en loodrecht op het schot kan de neerwaartse kracht worden berekend. Deze neerwaartse kracht bedraagt door de geometrie van het schot 6 % van de horizontale kracht F_{1-2} , welke als volgt is berekend:

$$F_{1-2} = \left(\frac{1}{2} \rho g h_1^2 + \rho v_1^2 h_1 \right) - \left(\frac{1}{2} \rho g h_2^2 + \rho v_2^2 h_2 \right) \quad (5.1)$$

waarin:

- F_{1-2} = horizontale kracht (N)
- ρ = soortelijke massa water (N/m^3)
- h = waterdiepte (m)
- v = snelheid (m/s)

De krachten op het afgezonken schot zijn berekend voor een schot, opgebouwd uit HE-profielen en houten waterkerende elementen, van 3.2 m bij 9 m (buisdiameter 0.508 m en h.o.h. afstand 4 m) bij het passeren van een golftop en een golfdal. De ontwerp golf voor extreme condities heeft een individuele golfhoogte van 8.5 m en een golfperiode van 13 seconde, welke resulteren in golflengte van ca. 110 m in ondiepwater (7 m). In tabel 5.14 is een overzicht gegeven van de optredende momenten ten opzichte van het scharnier tijdens het passeren van een golfdal en een golftop.

Alternatief 1, optredende momenten, buisdiameter 0.508 m, h.o.h. afstand 4 m (moment rechtson is positief)				
Golfbelasting tijdens passeren van:	M_s (KNm) (schotgewicht)	M_s (KNm) (druk)	M_s (KNm)	ΣM_s (KNm)
Golftop	160	4820	- 290 (liftkracht)	4690
Golfdal	160	- 4810	20 (down force)	- 4630

- *Tabel 5.14, Resulterende momenten om het scharnier tijdens het optreden van maximale golf.*

Door de verschillende wijzen van berekenen van de liftkracht en de "down force" tijdens het passeren van een golfdal en een golftop, wijken deze belastingen onderling af.

Na aanleiding van het berekenen van de optredende krachten op het afgezonken golfschot kan het volgende worden geconcludeerd:

- *Het drukverschil heeft het grootste aandeel in de optredende momenten. In werkelijkheid zullen de optredende drukverschillen tussen de boven- en onderzijde van het schot veel kleiner zijn, doordat er uitstroming van water onder het schot kan plaatsvinden en de waterdruk onder het schot zich snel aanpast aan de omgevingsdruk. Een hydrostatische drukverdeling ten opzichte van M.S.L. onder het schot wordt niet realistisch geacht.*
- *Indien het drukverschil over het schot wordt verwaarloosd, zal het schot worden gelift tijdens het passeren van een golftop en een landwaarts gerichte waterbeweging. Tijdens een zeewaarts gerichte waterbeweging zal het schot door het eigengewicht naar de bodem worden gedrukt.*
- *Door middel van modelonderzoek zou moeten worden vastgesteld wat de werkelijke invloed van de waterbeweging is op het afgezonken golfschot.*

5.5 Alternatief 2, 'Draagconstructie met "wegwerp" golfdempende elementen'

5.5.1 Ontwerpgolfhoogte en resulterende golfbelasting

Als ontwerpgolfhoogte tijdens normaal golfklimaat en rustige weersomstandigheden is een hoogte gekozen met een kans van onderschrijden van 90 % in één jaar, welke een hoogte heeft van 2.65 m en een hoogte met een onderschrijdingskans van 99 % in één jaar, welke een hoogte heeft van 4 m. Deze waarden zijn afgeleid uit de lange-termijn verdeling van de individuele golfhoogte, zoals beschreven in deel 2, paragraaf 2.5.3. Als ontwerpgolfperiode is een golfperiode genomen met een kans van onderschrijden van 99 %. Deze golfperiode bedraagt 14 s (zie deel 2, paragraaf 2.5.2). Bij deze golfhoogte en periode moeten de waterkerende elementen bezwijken. De draagconstructie en de onderdelen die een orkaan moeten weerstaan, worden gedimensioneerd op een maximale golfhoogte van 8.5 m (zie deel 1, paragraaf 3.3.2). Uit het berekenen van de belasting tijdens normaal golfklimaat en orkaanomstandigheden moet blijken wat de maatgevende belasting is voor het dimensioneren.

In tabel 5.15 is een overzicht gegeven van de resulterende horizontale golfbelasting op de golfdempende constructie voor een golfhoogte van 2.65 m en 4.0 m met een golfperiode van 14 s.

Alternatief 2, Golfbelasting normaal golfklimaat							
$L_D = 115 \text{ m}, \cos(\beta) = 1, \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$							
H_D (m)	p_1 (KN/m ²)	$p_{1,d}$ (KN/m ²)	p_3 (KN/m ²)	$p_{3,d}$ (KN/m ²)	F_h (KN/m')	$F_{h,d}$ (KN/m')	h_F (m)
2.65	26.9	26.9	25	25	222.5	222.5	4.8
4.0	40.6	40.6	37.8	37.8	342.8	342.8	4.9

• Tabel 5.15, Resulterende golfbelasting voor verschillende ontwerpgolfhoogten.

waarin:

p_1 = resulterende golfdruk op M.S.L.

p_2 = resulterende golfdruk boven de bodem.

F_h = resulterende horizontale golfkracht

h_F = aangrijp hoogte horizontale golfkracht boven de bodem

("d" is de rekenwaarde)

De draagconstructie van alternatief 2 wordt gedimensioneerd op een golfhoogte van 8.5 m met een golfperiode van 13 s. De ontwerpbelasting voor orkaanomstandigheden wordt berekend aan de hand van de gegeven constructie. Deze golfbelasting varieert met de paaldiameter en de vorm van de constructie, zodat deze belasting per type draagconstructie wordt berekend.

5.5.2 Draagconstructie

De golfdempende elementen worden afgehangen in de draagconstructie, welke wordt belast gedurende normaal golfklimaat en orkaanomstandigheden. De belasting op de draagconstructie is in deze twee situaties berekend, waarbij de grootste golfbelasting maatgevend is voor het dimensioneren. In het normale golfklimaat wordt de belasting bepaald door de waterdruk op de schotten, welke via de draagconstructie op de ondergrond moet worden overgedragen. Tijdens orkaanomstandigheden wordt de belasting bepaald door de golfkrachten op alleen de draagconstructie. Bij het berekenen van de draagconstructie voor alternatief 1 is geconcludeerd dat de geschoorde constructie het meest geschikt is om de horizontale golfbelasting op te nemen. Naar aanleiding daarvan wordt voor alternatief 2 alleen de geschoorde constructie als draagconstructie uitgewerkt.

Bij het berekenen van de draagconstructie zijn twee verschillende diameters toegepast. Hierdoor krijgt men inzicht in de invloed van de buiseigenschappen op de afmetingen van de constructie. In tabel 5.16 zijn de belangrijkste afmetingen gegeven van de verschillende diameters, welke bij het berekenen zijn aangehouden.

Eigenschappen buispalen				
Paaldiameter (m)	Wanddikte (mm)	Weerstandsmoment (cm ³)	Traagheidsmoment (cm ³)	M _{MAX} (KNm)
0.508	14.2	2646	67199	622
0.762	25	10327	393462	2427

• Tabel 5.16, Eigenschappen toegepaste buispalen

Draagconstructie normaal golfklimaat, geschoorde constructie

Het berekenen van de geschoorde constructie is uitgewerkt voor alternatief 1. Het enige verschil voor alternatief 2 is dat de diameter van de schoorgeheide paal even groot is als de diameter van de verticale paal. Bij het berekenen van de grondeigenschappen is uitgegaan van een conusweerstand van $8 \cdot 10^3$ KN/m² (8 MPa) en een wrijvingsgetal van 1%, wat resulteert in een wrijvingsweerstand van 80 KN/m². In tabel 5.17 is een overzicht gegeven van de minimale paallengten van de verticale en de schoorgeheide buispaal uitgaande van een h.o.h. afstand van 4 m.

Geschoorde constructie, minimale paallengte voor alternatief 2 HD = 2.65 m, F _{h,d} = 222.5 KN/m', h _F = 4.8 m, LD = 115 m					
Verticale paal			Schoorgeheide paal		
Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)	Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)
0.508	30	20.5	0.508	70	18
0.762	30	20	0.762	70	15.5

Geschoorde constructie, minimale paallengte voor alternatief 2 H _D = 4.0 m, F _{h,d} = 342.8 KN/m', h _F = 4.9 m, L _D = 115 m					
Verticale paal			Schoorgeheide paal		
Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)	Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)
0.508	28	22	0.508	72	22.5
0.762	28	21.5	0.762	72	18.5

• Tabel 5.17, Minimale paallengten voor de geschoorde constructie.

Draagconstructie orkaanomstandigheden, geschoorde constructie

De draagconstructie en het frame worden tijdens orkaanomstandigheden belast door brekende golven. Voor de situatie gedurende deze omstandigheden bedraagt de waarde voor R_e maximaal ongeveer $5 \cdot 10^6$. Onderstaand is voor de geschoorde constructie de optredende belasting berekend en de constructie gedimensioneerd.

Het berekenen van een enkele paal in extreme golven is beschreven voor alternatief 1. Bij de geschoorde constructie wordt de verticale buispaal waar het golfdempende schot in wordt afgehangen, ondersteund door een schoorgeheide paal. Voor zowel de verticale als de schoorgeheide paal kan de optredende belasting worden berekend. De schoorgeheide paal is geplaatst aan de havenzijde van de verticale buispaal.

Doordat op de verticale buis een U-profiel met een hoogte van ca. 0.2 m is gelast, waaraan de waterkerende elementen worden bevestigd, verandert de C_D waarde ervan. Voor het berekenen van de belasting is aangenomen dat de C_D waarde een gemiddelde is van de waarde voor een ronde buis en de waarde voor een vlakke plaat loodrecht op de stroomrichting. De waarde voor C_D voor een cilindrische buis bedraagt ca. 0.7 en de waarde voor een vlakke plaat bedraagt ongeveer 2 voor het bovengenoemde getal van Reynolds. De waarde voor C_d voor de verticale buis bedraagt hierdoor ongeveer 1.35 voor niet-brekende golven, wat resulteert in een waarde van 3.4 in brekende golven.

Voor het berekenen van de gereduceerde belasting is uitgegaan van dezelfde aannamen voor het berekenen van alternatief 1. In de tabel 5.18 is een overzicht gegeven van de resulterende horizontale belastingen op de palen en op de geschoorde constructie. Hierin is de hoogte van de constructie (h_c) 9.5 m en de hoogte van de kruin van de golf ($h_k = d + \frac{1}{2} H_b$) 11.75 m aangenomen, wat resulteert in een reductiefactor van $h_c / h_k = 0.8$. De werkende hoogte van de resulterende kracht is tevens met 0.8 gereduceerd.

Alternatief 2, geschoorde constructie, gereduceerde belasting in extreem golfklimaat $H_b = 8.5$ m, $h_c = 9.5$ m, $L_D = 110$ m							
Verticale buispaal			Schoorgeheide paal			Geschoorde constructie	
Paaldiameter (m)	F_{Dm} (KN)	h_F (m)	Paaldiameter (m)	F_{Dm} (KN)	h_F (m)	F_{Dm} (KN)	h_F (m)
0.508	862	6.6	0.508	248	6.6	1110	6.6
0.762	1102	6.6	0.762	372	6.6	1474	6.6

• Tabel 5.18, Gereduceerde belasting op geschoorde constructie in orkaanomstandigheden.

Bij het berekenen van de grondeigenschappen is uitgegaan van een conusweerstand van $8 \cdot 10^3$ KN/m² (8 MPa) en een wrijvingsgetal van 1%, wat resulteert in een wrijvingsweerstand van 80 KN/m². De paallengten van de palen zijn op dezelfde wijze berekend als voor de geschoorde constructie in normaal golfklimaat. In tabel 5.19 zijn de resulterende paalafmetingen gepresenteerd.

Geschoorde constructie, minimale paallengte voor alternatief 2 $H_D = 8.5$ m, $h_F = 6.6$ m, $L_D = 110$ m					
Verticale paal			Schoorgeheide paal		
Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)	Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)
0.508	19	21.5	0.508	81	21
0.762	19	22.5	0.762	81	20

• Tabel 5.19, Minimale paallengte geschoorde constructie in orkaanomstandigheden.

Conclusie naar aanleiding van het berekenen van de draagconstructie:

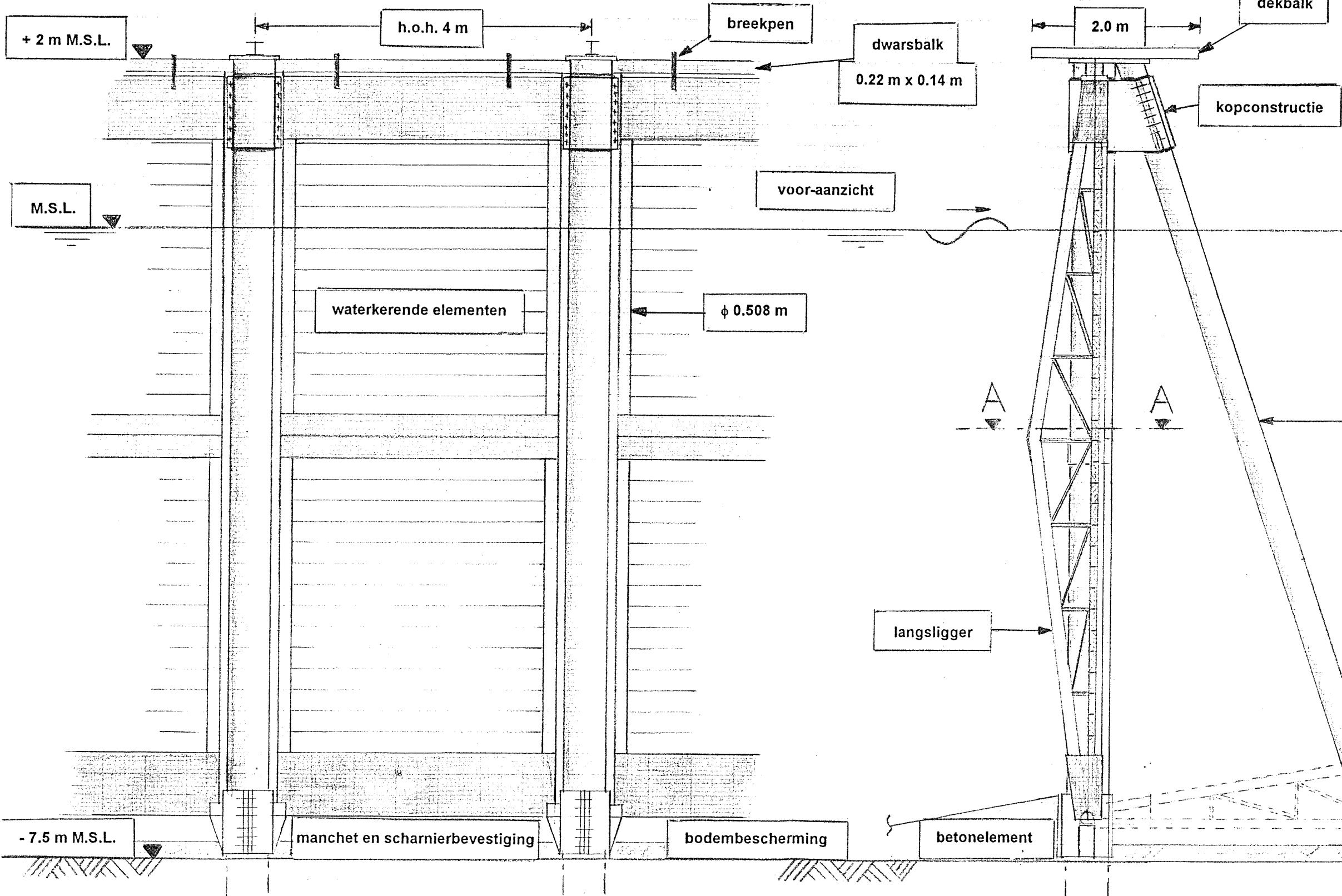
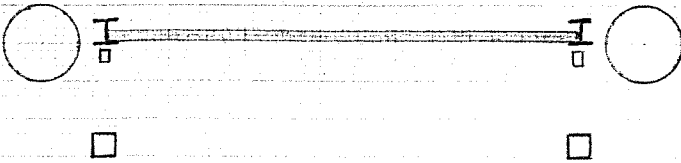
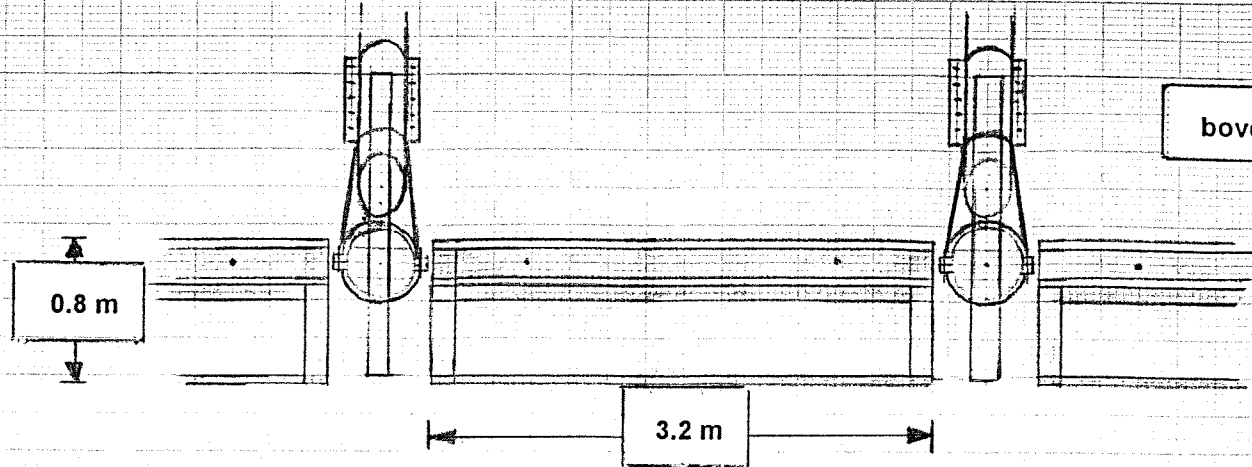
- Het berekenen van de paallengten voor de geschoorde constructie op de belasting afkomstig van normale- en orkaanomstandigheden levert ongeveer dezelfde afmetingen op. Met behulp van een rekenmodel dient de constructie geoptimaliseerd te worden.

5.5.3 Waterkerende elementen

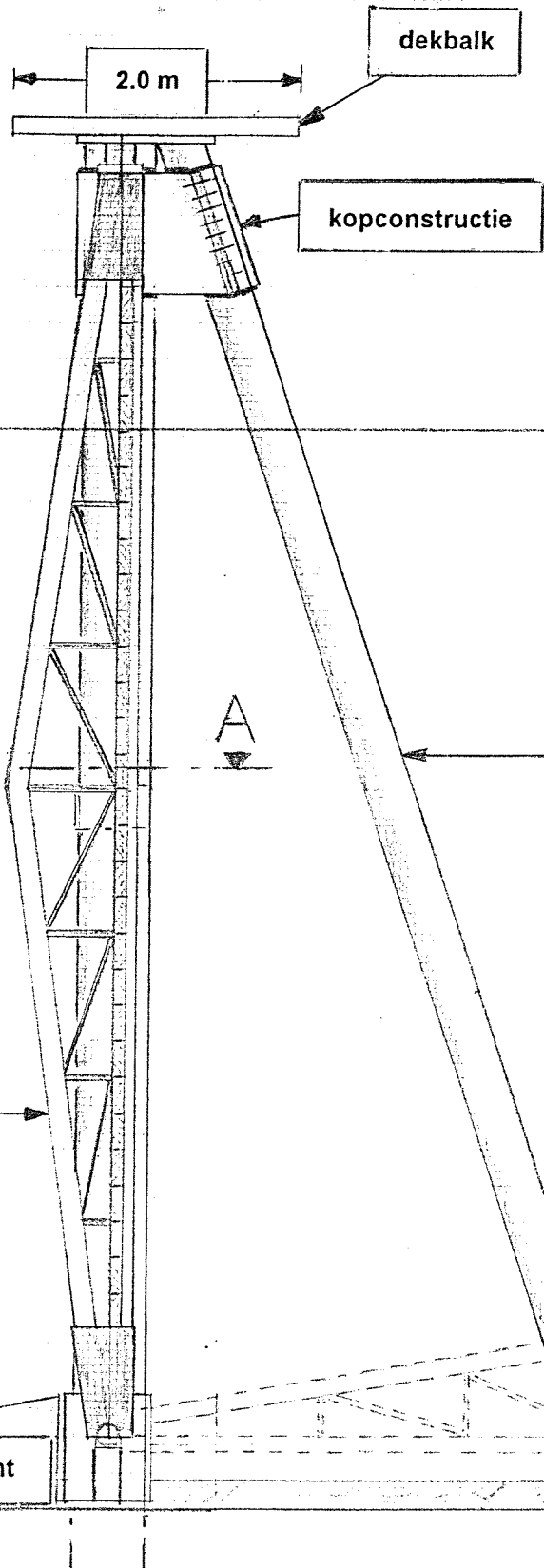
De waterkerende elementen zorgen voor de golfdempende eigenschappen van de golfdempende constructie, waarbij de maatgevende golfbelasting is bepaald aan de hand van de grootste optredende waterdruk op een verticale wand volgens het belastingmodel, welke wordt bereikt op 0 m M.S.L. Bij alternatief 2 dienen de elementen bij de ontwerp golfhoogte te bezwijken, waardoor de materiaalfactor gelijk is aan 1.0. Voor een golfhoogte van 2.65 m bedraagt de waterdruk 26.9 KN/m² en voor een golfhoogte van 4.0 m bedraagt de rekenwaarde van deze waterdruk 40.6 KN/m².

boven-aanzicht

doorsnede A - A



voor-aanzicht



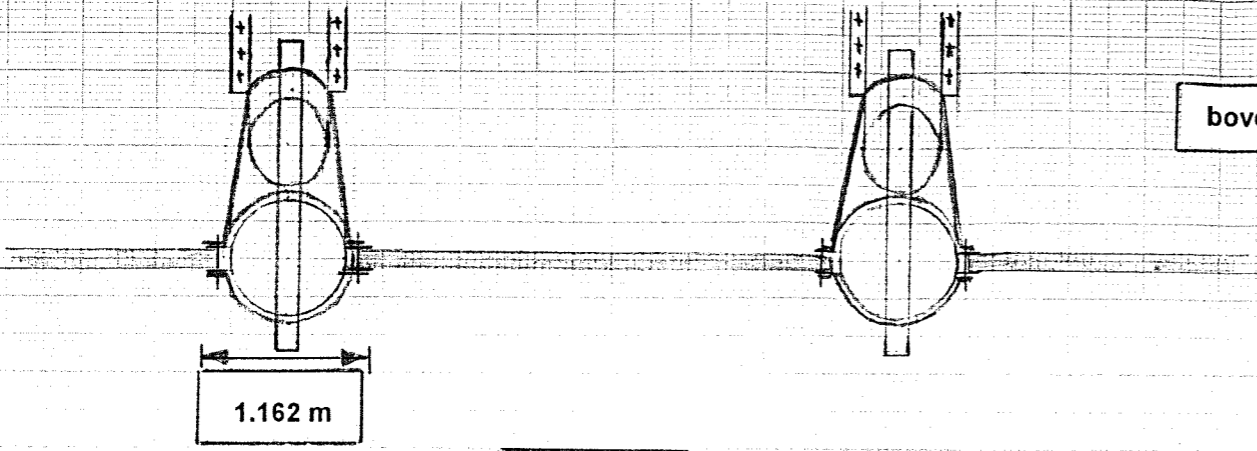
zij-aanzicht

langsligger

betonelement

ALTERNATIEF 2 EN ALTERNATIEF 3

boven-aanzicht



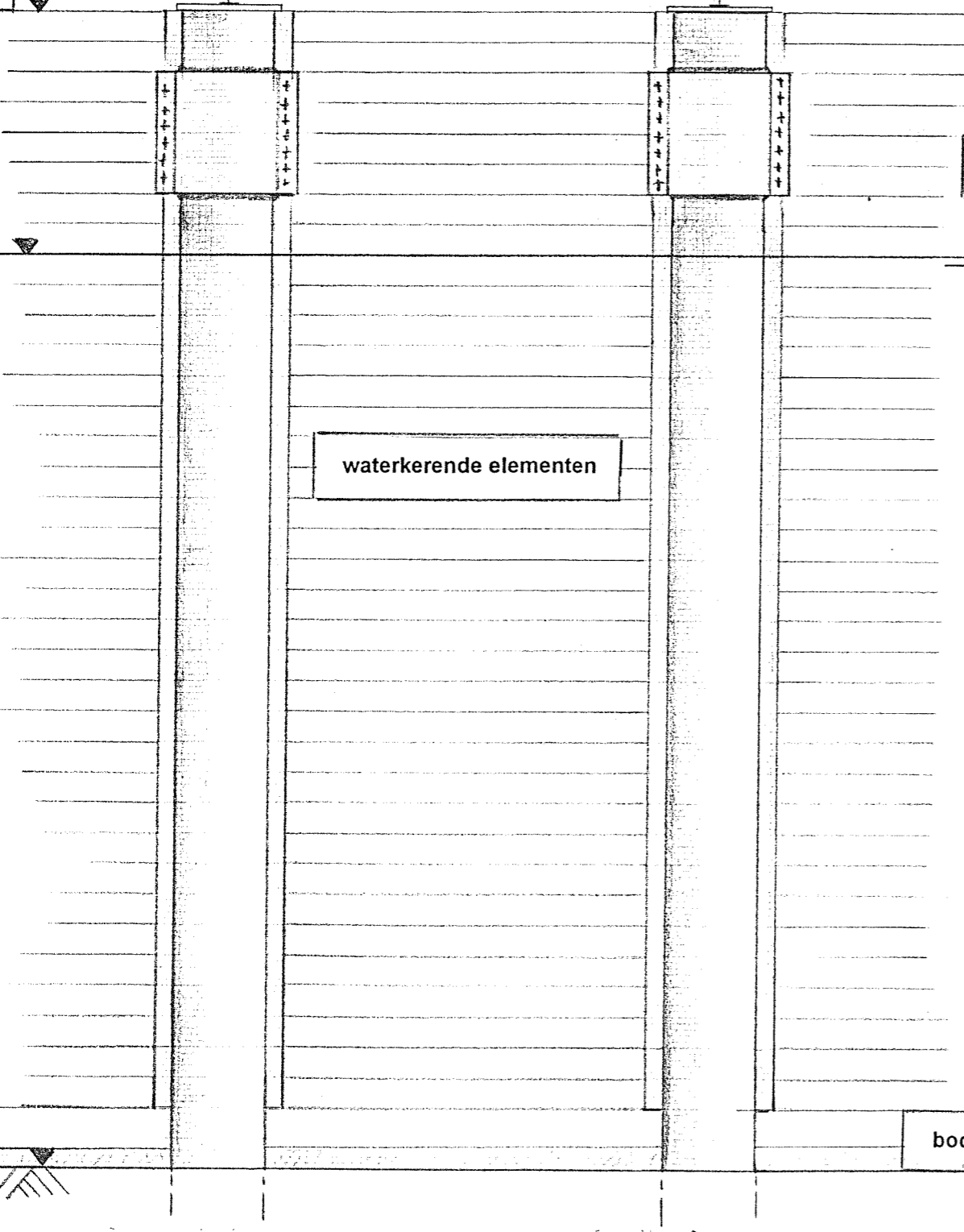
1.162 m

h.o.h. 4 m

+ 2.0 M.S.L.

M.S.L.

voor-aanzicht



waterkerende elementen

bodembescherming

2.0 m

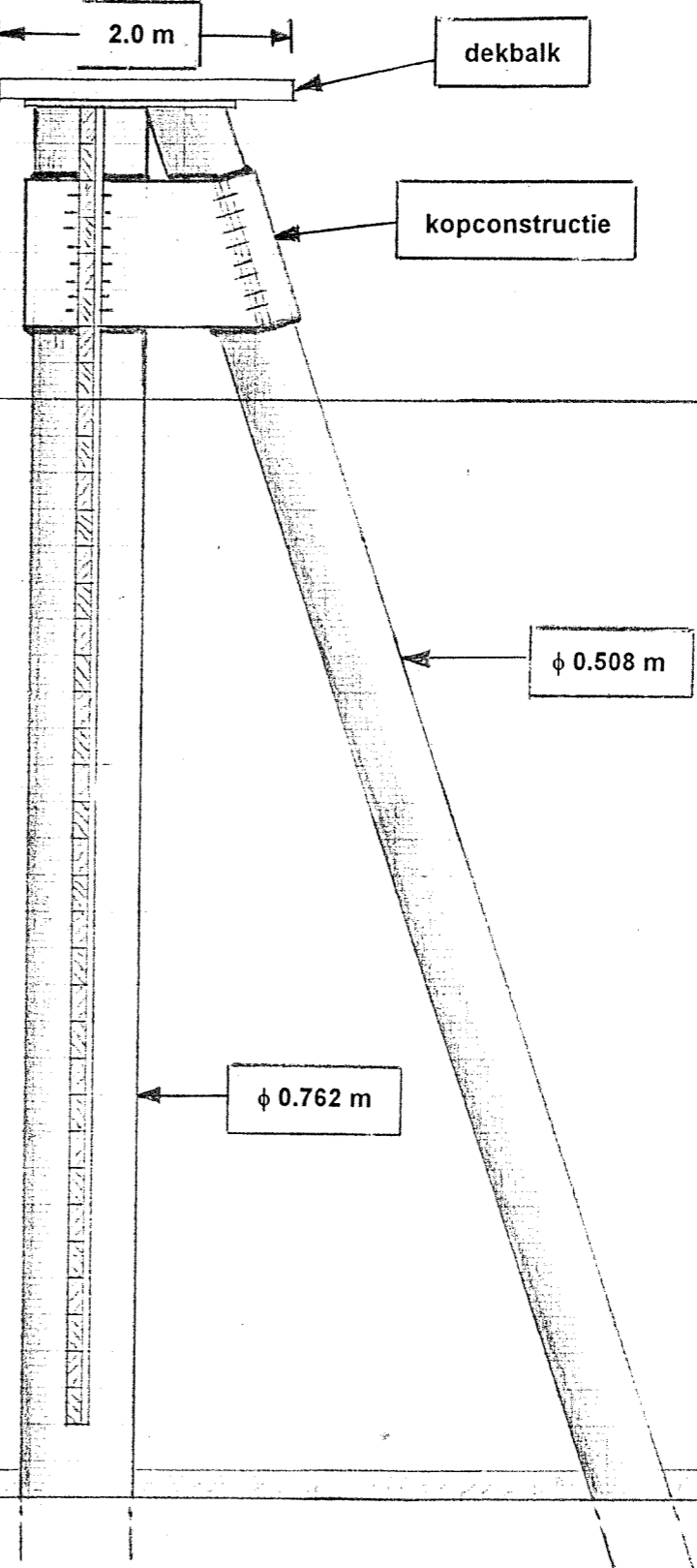
dekbalk

kopconstructie

zij-aanzicht

ϕ 0.508 m

ϕ 0.762 m



De waterkerende elementen zijn berekend voor een situatie waar de buispalen van de draagconstructie h.o.h. 4 m zijn geplaatst. Dit resulteert in een maximale overspanning l (m) van 3.4 m en 3.2 m voor een constructie met een buisdiameter van respectievelijk 0.508 m en 0.762 m. De waterkerende elementen zijn berekend op sterkte.

De elementen zijn berekend, waarbij hout of een kunststofplaat als constructiemateriaal is toegepast. Bij de berekening van de kunststofelementen is uitgegaan van een laminaatdikte van 4 mm. In tabel 5.20 is een overzicht gegeven van de resulterende elementdikte t bij een elementhoogte van 250 mm.

Alternatief 2, elementdikte t bij gegeven elementhoogte van 250 mm $H_D = 2.65$ m, $p_{1,d} = 26.9$ KN/m ² , draagconstructie h.o.h. 4 m		
	Diameter 0.508 m	Diameter 0.762 m
Materiaal	Overspanning $l = 3.4$ m	Overspanning $l = 3.2$ m
Hout	$t = 89$ mm	$t = 84$ mm
Kunststof	$t = 42$ mm	$t = 37$ mm

Alternatief 2, elementdikte t bij gegeven elementhoogte van 250 mm $H_D = 4.0$ m, $p_{1,d} = 40.6$ KN/m ² , draagconstructie h.o.h. 4 m		
	Diameter 0.508 m	Diameter 0.762 m
Materiaal	Overspanning $l = 3.4$ m	Overspanning $l = 3.2$ m
Hout	$t = 110$ mm	$t = 103$ mm
Kunststof	$t = 64$ mm	$t = 57$ mm

• Tabel 5.20, Overzicht dikte waterkerende elementen

Doordat voor de waterkerende elementen materialen zijn gebruikt die een soortelijk gewicht hebben dat kleiner is dan die van water, is de verticale resulterende kracht berekend die op de elementen werkt. Er bevindt zich ca. 2 m' van de elementen boven water en ca. 7 m' van de elementen onder water, waarvoor voor beide delen de massa en de opwaartse kracht is berekend. Indien houten elementen worden toegepast is de resulterende belasting naar beneden gericht, zodat de elementen zonder extra gewicht kunnen worden geïnstalleerd. Bij het toepassen van kunststof elementen is de resulterende belasting opwaarts gericht, waardoor de elementen met een gewicht van maximaal ca. 1430 kg (boven water) geplaatst dienen te worden.

Naar aanleiding van het berekenen van de dikte van de elementen kan het volgende worden geconcludeerd met betrekking tot de keuze van het toegepaste materiaal:

- Door het grote verschil in soortelijk gewicht tussen water en de kunststof elementen, dienen deze met een gewicht boven water te worden geïnstalleerd. Houten elementen kunnen zonder extra gewicht worden geïnstalleerd, wat aantrekkelijker is.
- Indien de toelaatbare dikte van de houten elementen een probleem oplevert, kan de h.o.h. afstand worden verkleint, waardoor tevens de draagconstructie minder zwaar kan worden gedimensioneerd. Hierbij dient men wel rekening te houden met de toenemende heiveerstand door verdichting van de bodem.

In figuur 5.11 is alternatief 2 geschetst.

5.6 Alternatief 3, 'Constructie die een orkaan kan weerstaan'

5.6.1 Ontwerpgolfhoogte en resulterende golfbelasting

Alternatief 3 is een permanente constructie en wordt gedimensioneerd op een maximale individuele golfhoogte bij gegeven waterdiepte. De draagconstructie en de waterkerende elementen worden op de hieruit voortkomende belasting gedimensioneerd. De golfdempende eigenschappen van de constructie komen voort uit het normale golfklimaat. In tabel 5.21 is een overzicht gegeven van de resulterende horizontale golfbelasting volgens het belastingmodel in paragraaf 5.3.1 voor een golfhoogte van 8.5 m met een golfperiode van 13 s.

Alternatief 3, Golfbelasting extreme golfhoogte LD = 110 m, $\cos(\beta) = 1$, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1$							
H_D (m)	p_1 (KN/m ²)	$p_{1,d}$ (KN/m ²)	p_3 (KN/m ²)	$p_{3,d}$ (KN/m ²)	F_h (KN/m')	$F_{h,d}$ (KN/m')	h_F (m)
8.5	94.0	94.0	88.4	88.4	813.1	813.1	5.0

• Tabel 5.21, Resulterende golfbelasting voor de ontwerpgolfhoogte.

5.6.2 Draagconstructie

De golfdempende elementen worden afgehangen in de draagconstructie, welke belast wordt tijdens het optreden van orkaanomstandigheden. Bij het berekenen van de draagconstructie voor alternatief 1 is geconcludeerd dat de geschoorde constructie het meest geschikt is om de horizontale golfbelasting op te nemen. Naar aanleiding daarvan wordt voor alternatief 3 alleen de geschoorde constructie als draagconstructie uitgewerkt.

Bij het berekenen van de draagconstructie zijn twee verschillende diameters gebruikt. Hierdoor krijgt men inzicht in de invloed van de buiseigenschappen op de afmetingen van de constructie. Onderstaand zijn de belangrijkste afmetingen gegeven van de verschillende diameters, welke bij het berekenen zijn aangehouden.

Eigenschappen buispalen				
Paaldiameter (m)	Wanddikte (mm)	Weerstandsmoment (cm ³)	Traagheidsmoment (cm ³)	M_{MAX} (KNm)
0.508	14.2	2646	67199	622
0.762	25	10327	393462	2427

• Tabel 5.22, Eigenschappen toegepaste buispalen.

Geschoorde constructie belast door maximale individuele golf

Het berekenen van de geschoorde constructie is uitgewerkt voor alternatief 1. Het enige verschil voor alternatief 3 is dat de diameter van de schoorgeheide paal even groot is als de diameter van de verticale paal. Bij het berekenen van de grondeigenschappen is uitgegaan van een conusweerstand van $8 \cdot 10^3$ KN/m² (8 MPa) en een wrijvingsgetal van 1%, wat resulteert in een wrijvingsweerstand van 80 KN/m². In tabel 5.23 is een overzicht gegeven van de minimale paallengten van voor de verticale en de schoorgeheide buispaal uitgaande van een h.o.h. afstand van 4 m.

Geschoorde constructie, minimale paallengte voor alternatief 3 $H_D = 8.5$ m, $F_{h,d} = 813.1$ KN/m', $h_F = 4.8$ m, $L_D = 110$ m					
Verticale paal			Schoorgeheide paal		
Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)	Paaldiameter (m)	Aandeel horizontale belasting (%)	paallengte (m)
0.508	24	39	0.508	76	40.5 m
0.762	25	29	0.762	75	30.5

• Tabel 5.23, Minimale paallengte geschoorde constructie in orkaanomstandigheden.

Na het berekenen van de draagconstructie kan het volgende worden geconcludeerd:

- Een schoorgeheide constructie waarbij een buisdiameter 0.508 m wordt toegepast, leidt tot grote paallengten.
- De trekbelasting in de verticale paal is maatgevend voor de minimaal vereiste buislengte.
- Na het berekenen van de constructie met behulp van een eindige elementen model wordt verwacht dat de draagconstructie zeer zwaar gedimensioneerd moet worden om de golfbelasting gedurende orkaanomstandigheden te kunnen weerstaan.

5.6.3 Waterkerende elementen

De waterkerende elementen zorgen voor de golfdempende eigenschappen van de golfdempende constructie, waarbij de maatgevende golfbelasting is bepaald aan de hand van de grootste optredende waterdruk op een verticale wand volgens het belastingmodel, welke wordt bereikt op 0 m M.S.L. Voor een golfhoogte van 8.5 m bedraagt de belasting 94.0 KN/m².

De waterkerende elementen zijn berekend voor een situatie waar de buispalen van de draagconstructie h.o.h. 4 m zijn geplaatst. Dit resulteert in een maximale overspanning l (m) van 3.4 m en 3.2 m voor een constructie met een buisdiameter van respectievelijk 0.508 m en 0.762 m. De waterkerende elementen zijn berekend op sterkte waarbij de materiaalsterkte in de uiterste vezel niet overschreden mag worden. De toegepast materiaalfactor is 1.2. De elementen zijn berekend, waarbij hout of een kunststofplaat als constructiemateriaal is toegepast. Bij de berekening van de kunststof elementen is uitgegaan van een laminaatdikte van 4 mm. In tabel 5.24 is een overzicht gegeven van de resulterende elementdikte t bij een elementhoogte van 250 mm.

Elementdikte t bij gegeven elementhoogte van 250 mm $H_D = 8.5$ m, $p_{1,d} = 94.0$ KN/m ² , draagconstructie h.o.h. 4 m		
	Diameter 0.508 m	Diameter 0.762 m
Materiaal	Overspanning $l = 3.4$ m	Overspanning $l = 3.2$ m
Hout	$t = 183$ mm	$t = 172$ mm
Kunststof	$t = 177$ mm	$t = 157$ mm

- Tabel 5.24, Overzicht dikte waterkerende elementen

Na het berekenen van de waterkerende elementen kan het volgende worden geconcludeerd:

- Een overspanning van 3.2 m of 3.4 m leidt tot forse elementafmetingen. Door de h.o.h. afstand te verkleinen, neemt de dikte van de elementen af. Bij een reële dikte van de elementen zal de h.o.h. afstand tussen de palen echter niet reëel zijn.
- De dikte van de kunststofelementen kan worden verkleind door de laminaatdikte te vergroten. De vereiste massa voor het aanbrengen van de kunststofelementen is nog groter dan bij alternatief 2.

Alternatief 2 en 3 verschillen wezenlijk niet veel van elkaar, zodat alternatief 3 is gegeven in figuur 5.11

6. Evaluatie van alternatieven

In hoofdstuk 5 zijn naar aanleiding van het berekenen van de verschillende onderdelen van de constructie conclusies getrokken met betrekking tot de opbouw van de golfdempende constructie. In dit hoofdstuk worden de verschillende alternatieven met elkaar vergeleken, waarbij wordt ingegaan op de constructie en de praktijkuitvoering. Na het globaal berekenen van de constructiekosten voor alternatief 1 en een stortstenen golfbreker, worden er uitspraken gedaan over de haalbaarheid.

6.1 Constructieve evaluatie

Op basis van de gemaakte berekeningen zijn de alternatieven 1 en 2 geëvalueerd. Alternatief 3 is een permanente constructie en voldoet niet aan de in deel 1, hoofdstuk 3 gestelde uitgangspunten en randvoorwaarden. Dit alternatief is uitgewerkt om de alternatieven 1 en 2 aan te toetsen.

Alternatief 3 dient zeer zwaar te worden gedimensioneerd in vergelijking tot de alternatieven 1 en 2. De berekende paallengten voor de draagconstructie zijn 1.5 tot 2 keer zo lang als voor alternatieven 1 en 2. Hierdoor nemen niet alleen de materiaalkosten toe, maar ook de kosten van het materieel, waarmee de draagconstructie wordt geheid. De dikte t van de waterkerende elementen uitgevoerd in hout is ongeveer 2 keer zo groot als voor alternatief 2 en 3 keer zo groot als alternatief 1. De dikte t van de waterkerende elementen uitgevoerd in kunststof is ongeveer 3 keer zo groot als voor alternatief 2 en ongeveer 4 keer zo groot als voor alternatief 1.

Het model voor het berekenen van de golfbelasting geeft rekenschap van niet-brekende en gebroken golven. Bij het optreden van een belasting die groter of gelijk is dan de berekende golfbelasting voor alternatief 1 en 2 klapt het schot weg of bezwijken de elementen. De belasting voortkomend uit golfklappen is niet beschreven met het belastingmodel. Hierdoor is het mogelijk dat voor een golfhoogte die lager is dan de ontwerp golfhoogte, die direct op de constructie breekt, het schot wegklapt of de elementen bezwijken. Hierdoor blijft de schade beperkt.

De ontwerp golfhoogte voor alternatief 3 is een maximale individuele golfhoogte voor de waterdiepte van 7 m, welke bij afnemende waterdiepte altijd zal breken. De kans dat deze hoge golven breken op de constructie tijdens het optreden van een orkaan die uit het zuidwesten nadert, is zeer groot. Op golfklappen van deze golven is de constructie niet berekend, waardoor deze bezwijkt.

De berekende paallengten voor de draagconstructie van de alternatieven 1 en 2 wijken niet veel van elkaar af en hebben een lengte van ca. 20 m (± 3 m). Doordat voor alternatief 2 dezelfde paaldiameter voor de schoorgeheide paal als voor de verticale paal wordt toegepast, levert dit een paallengtereductie van ca. 10% op voor alternatief 2. Bij gelijke ontwerp golfhoogte voor de waterkerende elementen voor de alternatieven 1 en 2 is de berekende dikte t voor de volledige overspanning ongeveer even groot voor beide alternatieven.

6.2 Praktijkuitvoering

Alternatief 1 is constructief gezien minder eenvoudig dan alternatief 2. Om de schotten te installeren in de draagconstructie dient het ontwerp van de scharnierconstructie niet alleen berekend te zijn om de belasting op te kunnen nemen. Tevens moet bij het dimensioneren rekening worden gehouden met het feit dat ze na het heien aangebracht dienen te worden. Bij het ontwerpen van de scharnieren dient rekening te worden gehouden met de afwijking in de maatvoering met betrekking tot de haalbare nauwkeurigheid bij het heien.

De schotten kunnen op het land worden vervaardigd, waarna ze in de draagconstructie geïnstalleerd dienen te worden. Bij het installeren dient veel constructiewerk onderwater verricht te worden, waardoor de kosten voor alternatief 1 hoger zullen zijn dan voor alternatief 2.

Om de schotten weer te kunnen installeren na het opheffen van de golfdempende functie, zijn luchtzakken voldoende om de schotten tot aan het wateroppervlak te liften. Deze kunnen door lokale duikers worden aangebracht. Met een lier kunnen de schotten weer in positie worden gebracht en de nieuwe breekpennen worden aangebracht. De invloed van het milieu op de sterkte van de breekpennen dient gecontroleerd te worden.

De constructie voor alternatief 2 is eenvoudiger dan voor alternatief 1. Om te voorkomen dat elk waterkerende element op maat moet worden gemaakt, dient een maximale tolerantie tijdens het heien te worden doorgevoerd. Tijdens het heien mogen de gelaste U-profielen op de buizen niet beschadigen, zodat de element niet kunnen worden bevestigd. Voor het aanbrengen van kunststofelementen onderwater dient een contragewicht te worden toegepast, terwijl bij het aanbrengen van houten elementen het gewicht bovenwater voldoende is om de elementen naar beneden te drukken.

De waterkerende elementen voor alternatief 2 bezwijken niet tegelijk over de hele lengte van de constructie en over de diepte. Hierdoor is het onzeker wanneer de kapotte elementen vervangen gaan worden door de verantwoordelijke personen. Bij een aantal kapotte elementen zullen ze nog niet direct vervangen worden, maar neemt de golfdempende functie van de constructie af. Dit is nadelig voor het functioneren van alternatief 2, waardoor deze minder aantrekkelijk wordt. Tevens is er meer materiaal en materieel nodig dan bij alternatief 1, waardoor de herstellkosten hoger uitvallen dan voor alternatief 1. Het gedrag van de elementen op het moment dat ze bezwijken is onduidelijk en kan gevaar opleveren voor personen in de haven. Op het moment dat een storm of orkaan optreedt zal het strand bezaait liggen met kapotte elementen.

Doordat de herstellwerkzaamheden voor alternatief 1 eenvoudiger zijn dan voor alternatief 2 en doordat het moment van herstel voor alternatief 2 niet eenduidig is vast te stellen, is gekozen om voor alternatief 1 de constructiekosten te berekenen.

6.3 Globale kostenraming golfdempende constructie en stortstenen golfbreker

Om de financiële haalbaarheid van de golfdempende constructie te kunnen beoordelen is een vergelijking van de kosten van de golfdempende constructie (alternatief 1) en de kosten van een stortstenen golfbreker noodzakelijk. Voor de haalbaarheid zijn alleen de constructiekosten van beide mogelijkheden met elkaar vergeleken.

In onderstaande beschouwing is uitgegaan van globale richtprijzen. De prijzen van het materiaal voor de golfdempende constructie zijn Nederlandse prijzen en zijn afkomstig van Van Leeuwen Buizenhandel BV. De prijs voor de kunststofelementen zijn afkomstig van een kostenindicatie gemaakt door Weerter Paneel Industrie BV in Neederweert.

De schatting van de personeels- en materieelkosten voor alternatief 1 zijn afkomstig van de uitgevoerde herstelwerkzaamheden op Saba en St. Eustatius na orkaan Luis. De schatting van de kosten van de stortstenen golfbreker zijn afkomstig van het herstel van de stortstenen golfbreker op Saba, nadat deze gedeeltelijk was vernield door orkaan Luis in 1995. De kostenbeschouwing voor beide constructies is gegeven in de Nederlandse munteenheid voor een waterdiepte van ca. 7 m.

Constructiekosten stortstenen golfbreker

Op St. Eustatius is stortsteen niet beschikbaar en dient van elders te worden aangevoerd. De kosten van de stortsteen inclusief het plaatsen is geschat op fl. 600,- per m³. Een kruinhoogte van 9 m en taluds van 1:2 resulteren in een inhoud van stortsteen van ca. 160 m³ / m. De kosten voor de betonelementen voor het buitentalud bedragen ca. fl. 800,- per m³ en de elementen hebben een inhoud van ca. 30 m³ / m. De kosten voor aannemers, winst en onvoorziene kosten bedragen ca. 20% van de kosten voor stortsteen en de betonelementen en worden geschat op ca. fl. 4.800.000,-. In tabel 6.1 is een overzicht gegeven van de constructiekosten voor een stortstenen golfbreker voor een verlenging van 200 m.

Totale constructiekosten stortstenen golfbreker	
stortsteen	fl. 19.200.000,-
betonelementen	fl. 4.800.000,-
totaal	fl. 24.000.000,-
aannemers, winst en onvoorzien ca. 20%	fl. 4.800.000
Totale constructiekosten	fl.28.800.000,-

• *Tabel 6.1, Totale constructiekosten stortstenen golfbreker*

Constructiekosten golfdempende constructie

Bij het berekenen van de personeels- en materieelkosten zijn de volgende aannamen gedaan voor de uitvoering:

- er kunnen 4 buispalen per dag worden geheid;
- een lasser samen met een timmerman kunnen in 4 dagen een schot opbouwen;
- de golfdempende schotten worden na het heien van alle buispalen geïnstalleerd;
- er kunnen twee schotten per dag worden geïnstalleerd;
- het project duurt 9 weken;
- de projectleiding is een week voor en een week na de uitvoering aanwezig;
- gedurende het hele project is een kraan op de kant aanwezig, tijdens het installeren van de schotten wordt een kraan en een ponton extra ingezet;
- duikers worden ingezet bij het installeren van de schotten en assisteren tijdens het heien van de buispalen bij het plaatsen van de afstandhouders;
- tijdens de uitvoering zijn een timmerman en een lasser stand-by op het werk, zij worden in principe niet ingezet bij het vervaardigen van de schotten;

- er is één las-aggregaat aanwezig op de locatie en één waar de schotten worden vervaardigd;
- er is één generator aanwezig op locatie en één waar de schotten worden vervaardigd.

In onderstaande tabellen 6.2 t/m 6.4 zijn de eenheidsprijzen gegeven voor het materiaal, materieel en personeel en de resulterende kosten voor de aanleg van 200 m golfdempende constructie (alternatief 1).

1. materiaalkosten alternatief 1, constructielengte 200 m			
materiaal	eenheidsprijs	hoeveelheid	kosten
buispaal ϕ 0.508, t = 14.2 mm, l = 21.5 m	fl. 1,90 /kg	51 stuks	fl. 361.000,-
buispaal ϕ 0.324, t = 14.2 mm, l = 30 m	fl. 1,90 /kg	51 stuks	fl. 314.000,-
kokerprofiel, 140x140x5, l = 9 m	fl. 1,75 /kg	100 stuks	fl. 33.000,-
kokerprofiel 200x100x6, l = 4 m	fl. 1,75 /kg	50 stuks	fl. 10.000,-
kokerprofiel, 70x70x4	fl. 1,75 /kg	ca. 1000 m	fl. 15.000,-
HE-profiel 140B, l = 9 m	fl. 1,- /kg	100 stuks	fl. 30.000,-
Staalplaat, t = 5 mm	fl. 1,50 /kg	ca. 320 m ²	fl. 19.000,-
Staalplaat, t = 10 mm	fl. 1,50 /kg	ca. 50 m ²	fl. 6000,-
Kunststofplaat, t = 60 mm	fl. 185,- /m ²	ca. 1300 m ²	fl. 241.000,-
		Totaal	fl. 1.031.000,-

•Tabel 6.2, Materiaalkosten alternatief 1.

2. materieelkosten alternatief 1, constructie lengte 200 m			
Materieel	eenheidsprijs	hoeveelheid	kosten
ponton + heistelling	fl. 34.000,- / week	4 weken	fl. 136.000,-
kraan	fl. 14.000,- / week	14 weken	fl. 196.000,-
ponton	fl. 5.000,- / week	14 weken	fl. 70.000,-
las-aggregaat	fl. 4.800,- / week	18 weken	fl. 86.400,-
generator	fl. 4.800,- / week	9 weken	fl. 43.200,-
		Totaal	fl. 531.600,-

•Tabel 6.3, Materieelkosten alternatief 1

3. personeelskosten alternatief 1, constructie lengte 200 m			
Personeel	eenheidsprijs	hoeveelheid	kosten
heiploeg (3 man)	fl. 7.200,- / week	4 weken	fl. 28.800,-
lasser	fl. 1.500,- / week	43 weken	fl. 64.500,-
timmerman	fl. 600,- / week	43 weken	fl. 25.800,-
duikploeg (3 man)	fl. 9.600,- / week	9 weken	fl. 86.400,-
projectleiding (2 man)	fl. 9.000,- / week	11 weken	fl. 99.000,-
		Totaal	fl. 304.500,-

•Tabel 6.4, Personeelskosten alternatief 1

Voor het berekenen van de totale constructiekosten is aangenomen dat de transportkosten 30% bedragen van de materiaalkosten. De kosten voor aannemers, winst en onvoorziene kosten bedragen ca. 25% van de kosten materiaal-, materieel en personeel en worden geschat op ca. fl. 470.000,-. De totale constructiekosten voor alternatief 2 zullen lager uitvallen. In tabel 6.5 is een overzicht gegeven van de totale constructiekosten voor alternatief 1.

Totale constructiekosten alternatief 1	
1 materiaalkosten	fl. 1.031.000,-
2 materieelkosten	fl. 531.600,-
3 personeelskosten	fl. 304.500,-
totaal 1+2+3	fl. 1.867.100,-
transportkosten ca. 30%	fl. 310.000,-
aannemers, winst en onvoorzien ca. 25%	fl. 470.000
Totale constructiekosten	fl.2.647.100,-

• Tabel 6.5, Totale constructiekosten alternatief 1

Naar aanleiding van de berekening van constructiekosten voor de golfdempende constructie en een stortstenen golfbreker kan het volgende worden geconcludeerd:

- Ondanks dat de kostenraming voor beide mogelijkheden zeer globaal is uitgevoerd, is aangetoond dat de constructiekosten voor de golfdempende constructie ca. 10% bedragen van de constructiekosten voor een stortstenen golfbreker. Hiermee is de financiële haalbaarheid van de golfdempende constructie aangetoond, die verder onderzoek rechtvaardigt.

6.4 Haalbaarheidsbeschouwingen

In deze haalbaarheidsbeschouwingen worden uitspraken gedaan over de haalbaarheid van de drie alternatieven voor een golfdempende constructie, zoals deze in hoofdstuk 5 zijn uitgewerkt:

- Alternatief 1, 'Dragconstructie met neerklapbare schotten'
 - Alternatief 2, 'Dragconstructie met "wegwerp" schotten'
 - Alternatief 3, 'Constructie die een orkaan kan weerstaan'
1. Haalbaarheid met betrekking tot het toepassen van verticale golfdempende schermen of drijvende golfbrekers als golfdempende constructie
Het is mogelijk om door middel van het toepassen van verticale golfdempende schermen een golfdempende constructie te ontwerpen, die voldoet aan de in deel 1, paragraaf 1.3 gegeven opdrachtomschrijving. Drijvende golfbrekers zijn niet toepasbaar als golfdempende constructie op St. Eustatius voor de gestelde opdrachtomschrijving. Golven met een langere periode resulteren in omvangrijke constructie-afmetingen, waardoor de mobiliteit sterk afneemt en de kosten aanzienlijk toenemen.
 2. Haalbaarheid van de constructie
Technisch gezien is het mogelijk een constructie te ontwerpen welke voldoet aan de in deel 1, paragraaf 3 gestelde opdrachtomschrijving en de in deel 1, hoofdstuk 3 gestelde criteria. De optredende golfbelasting kan worden opgenomen door de alternatieven 1 en 2. Een permanente constructie, alternatief 3, dient te zwaar gedimensioneerd te worden, wat leidt tot niet-reële constructie-afmetingen.

De kosten van herstel na het optreden van de ontwerp golfhoogte zijn voor alternatief 1 aanzienlijk lager dan voor alternatief 2. Hierdoor heeft alternatief 1 de voorkeur boven alternatief 2.

Opmerking: Binnen het tijdsbestek van deze haalbaarheidsstudie is beperkt onderzoek gedaan naar het gedrag van de schotten van alternatief 1 na het bezwijken van de breekpennen. In geval van dynamisch gedrag kan dit sterk van invloed zijn op het succesvol toepassen van dit voorkeursalternatief.

3. Haalbaarheid met betrekking tot de projectkosten.

De berekende kosten voor alternatief 1 en de stortstenen golfbreker zijn de globale constructiekosten, waarmee is aangegeven dat de projectkosten voor alternatief 1 veel lager uitvallen dan de projectkosten voor een stortstenen golfbreker (deel 1, paragraaf 6.3) De globaal berekende constructiekosten voor alternatief 1 bedragen ca. 10% van de globaal berekende constructiekosten voor een stortstenen golfbreker.

4. Haalbaarheid met betrekking tot de herstelactiviteiten.

Bij het verder uitwerken van alternatief 1 of 2 dient rekening te worden gehouden met het langzaam op gang komen van het ambtelijk apparaat en ter beschikking komen van reparatiegelden. Als het te lang duurt om de waterkerende elementen na een orkaanaanval te herstellen, mist het ontwerp zijn doel en zullen de plezierjachten de haven blijven mijden. In dit opzicht is alternatief 1 sneller te herstellen dan alternatief 2 en dus aantrekkelijker. Hierdoor heeft alternatief 1 de voorkeur boven alternatief 2.

5. Haalbaarheid met betrekking tot het toepassen van het ontwerp voor andere eilanden in het Caribische gebied.

Zowel alternatief 1 en 2 zijn toe te passen op andere locaties in ondiepwater tot ca. 10 m. Het golfklimaat ter plaatse is bepalend voor het dimensioneren van de waterkerende elementen en de draagconstructie.

7. Conclusies en aanbevelingen

Naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek worden in dit hoofdstuk de conclusies en aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek.

7.1 Conclusies

De volgende conclusies kunnen uit deze haalbaarheidsstudie worden getrokken:

1. Het realiseren van een ontwerp voor een golfdempende constructie waarbij gebruik wordt gemaakt van verticale golfdempende schermen wordt, met in achtnaam van de gestelde uitgangspunten en randvoorwaarden mogelijk geacht. Het toepassen van een drijvende golfbreker is uit financieel oogpunt niet haalbaar.
2. De aangenomen ontwerp golfperiode voor het functioneren van de golfdempende constructie tijdens normaal golfklimaat bedraagt 10 s. In de literatuur is zeer weinig bekend over de hinder van scheepsbewegingen op de aan boord verblijvende personen van de voor anker liggende schepen. Als het blijkt dat golven met een kleinere periode als niet-hinderlijk worden ervaren, resulteert dat in een kleinere ontwerp golfperiode en een grotere toelaatbare transmissiecoëfficiënt voor de golfdempende constructie. Hierdoor nemen de golfbelastingen, bij gelijkblijvende ontwerp golfhoogte, af voor de golfdempende constructie.
3. De individuele ontwerp golfhoogten van 2.1 m en 2.65 m voor het wegklappen van het schot voor alternatief 1 en de individuele ontwerp golfhoogten van 2.65 en 4 m voor het bezwijken van de waterkerende elementen voor alternatief 2 zijn bepaald met behulp van de Rayleigh verdeling voor diepwater. De Rayleigh verdeling voor ondiepwater wijkt voor hogere significante golven af en geeft een lagere kans van voorkomen van hogere golven. Door deze aanname geven de ontwerp golfhoogten een overschatting van de kans van voorkomen van de ontwerp golfhoogten, waarbij de afwijking groter wordt met toenemende golfhoogte.
4. De globaal berekende constructiekosten voor een golfdempende constructie met wegklappende schotten bedragen ca. 10% van de globaal berekende constructiekosten van een stortstenen golfbreker.

7.2 Aanbevelingen

Als aanvulling op deze haalbaarheidsstudie worden de volgende aanbevelingen gegeven:

1. Het gedrag van de golfdempende constructie voor alternatief 1 tijdens het optreden van de ontwerp golfhoogte dient te worden vastgesteld aan de hand van modelonderzoek. Hiermee wordt het dynamisch gedrag van het schot tijdens het bezwijken van de breekpennen onderzocht. Tevens dient door modelonderzoek te worden vastgesteld wat de invloed van een extreme golfhoogte is op het afgezonken golfschot.
2. De constructie is statisch doorgerekend, waarbij de dynamische golfbelasting is vertaald naar hydrostatische belasting. De invloed van het dynamische karakter van de golfbelasting op de sterkte van de constructie dient nader te worden onderzocht.

3. Met behulp van een rekenmodel kan de krachtsverdeling in de constructie nauwkeuriger worden bepaald en kan de draagconstructie geoptimaliseerd worden.
4. In deze studie is geen onderzoek verricht naar de invloed van de constructie op de morfologie van de zeebodem ter plaatse. Met behulp van het modelonderzoek zou kunnen worden vastgesteld of een bodembescherming noodzakelijk is en of de haven niet dichtslibt.
5. Bij het berekenen van de draagconstructie is uitgegaan van de aangenomen grondparameters, welke zijn afgeleid van het uitgevoerde bodemonderzoek in 1992. Voor de locatie op St. Eustatius en voor andere locaties in het Caribisch gebied dient een nieuw bodemonderzoek beter inzicht te verschaffen in de bodemopbouw voor grotere bodemdiepten en of de berekende inheidiepten kunnen worden bereikt. Dit is vooral belangrijk voor de opneembare horizontale belasting door de draagconstructie. Tevens dient bij dit onderzoek de juiste waterdiepte in de haven te worden vastgesteld.
6. Vanwege het ontbreken van orkaangolfhoogten in de data van de GWS is de draagconstructie tijdens het optreden van een orkaan berekent op de maximale individuele golfhoogte bij gegeven waterdiepte. Na onderzoek naar kansen van voorkomen van golven voortkomend uit deze extreme omstandigheden kan de draagconstructie misschien op een lagere golfhoogte worden gedimensioneerd, wat resulteert in een lichtere draagconstructie. Tevens dient de invloed van golfklappen op de berekende golfbelasting voor deze extreme omstandigheden te worden nagegaan
7. Door het ontbreken van informatie over de hinder van golven op aan boord verblijvende personen van de voor anker liggende plezierjachten, is de ontwerpperiode voor de constructie in normaal golfklimaat vastgesteld op 10 s. Door nader onderzoek naar deze hinder kan de ontwerpgolfperiode waarschijnlijk worden teruggebracht, wat resulteert in grotere transmissiecoëfficiënt van de verticale schotten en een lagere belasting.
8. De toegepaste materialen voor de waterkerende elementen zijn hout of kunststof. Er dient te worden onderzocht wat de invloed van het milieu is op het gebruik van deze twee materialen. Van hout is het gedrag bekend, maar van de kunststof-toepassing dient het materiaalgedrag nader te worden vastgesteld door invloed van het weer en de dynamische belasting.

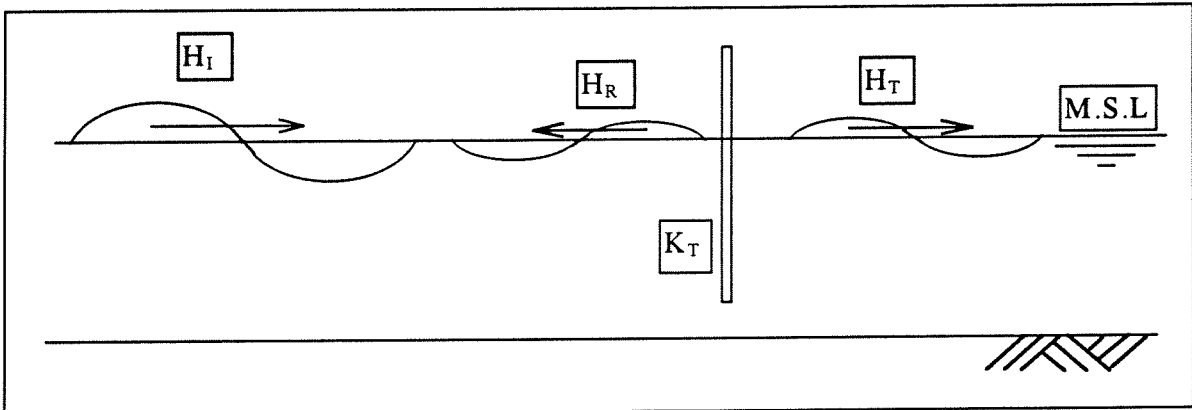
LITERATUURLIJST:

1. Civil Engineering Caribbean, Willemstad, Curaçao. Haven St. Eustatius, Grondonderzoek Gallowsbay, Supervisor's report. 1988.
2. Meteorological Service of the Netherlands Antilles and Aruba. Hurricanes and Tropical Storms of the Netherlands Antilles and Aruba. 1994.
3. Northwest Hydraulic Consultants Ltd. Vancouver. Study to determine acceptable wave climate in small craft harbours. Small Craft Harbours Branch, Fisheries and Oceans Canada. 1980.
4. J.M.J. Journée. SEAWAY, Strip-Theory of Motions and Loads of Ships, Barges, Catamarans and Semi-Submersibles at Infinite and Restricted Waterdepths, release 4.14. Delft University of Technology, Ship Hydromechanics Laboratory. 1996.
5. R.C. Nelson. Depth limited wave heights in very flat regions. Coastal engineering 23, pp. 43 - 59. 1994.
6. Oceanroutes, Inc. Marine Weather Science Division. Hurricane Hindcast for St. Eustatius Island, Caribbean Sea, no. S2947. 1987.
7. Delft Hydraulics Laboratory. Wave conditions Oranjestad breakwater St. Eustatius, Wave climate study, report H777. 1988.
8. R.L. Mott. Applied Fluid Mechanics, sec. edition.
9. Truitt and Horbich. Transmission of random waves through pile breakwaters. Coastal Engineering. 1986.
10. Hayashi et al. Closely Spaced Pile Breakwater as Protection Structure against Beach Erosion. Coastal Engineering in Japan, Vol. 11. 1968.
11. R.L. Wiegel. Transmission of waves Past a Rigid Vertical Thin Barrier. J. of the Waterways and Harbour Division, ASCE, Vol. 86, pp 1-12. 1960.
12. Jamieson. An efficient and cost effective wave absorber for marinas. National Research Council of Canada.
13. Gardner and Townend. The Design of a Slotted Vertical Screen Breakwater. Sir William Halcrow & Partners Ltd., Coastal Engineering, pp. 1881-1893. 1986.
14. J.H. Carr. Mobile Breakwaters. Proceedings of the Second Conference on Coastal Engineering, Houston, pp. 281-294. 1951.
15. Harms and Volker. Design Criteria for Floating Tire Breakwater. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Vol. 107, pp. 29-44. 1981.
16. Ofuya. On floating breakwaters. Queens University at Kingston, Ontario, department of Civil Engineering. 1968.
17. Bouwmeester and Van den Breggen. Floating Breakwaters, literature review. Delft University of Technology, department of Civil Engineering, Hydraulic and Offshore Engineering section. 1984.
18. G.P. Blumberg and R.J. Cox. Floating Breakwater Physical Model Testing for Marina Applications. PIANC-AIPCN Bulletin, no. 63, pp. 5 -13. 1988.

19. I.W. Nortier. Toegepaste vloeistofmechanica, Hydraulica voor Waterbouwkundigen, zesde druk. 1989.
20. R.C. Ris. Spectral modelling of wind waves in coastal areas, proefschrift, faculteit Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft. 1997.
21. A.C. Radder. On the parabolic equation method for water-wave propagation. J. Fluid Mech. 95(1), pp.159-176. 1979.
22. British Maritime Technology Limited. Global Wave Statistics. 1986.
23. Groen en Dorrestein. Zeegolven. 1976.
24. Stive en Dingemans. Calibration and verification of a one-dimensional model for wave energy decay, Delft Hydraulics Report H533. 1984.
25. Proceedings of floating breakwaters conference. 1974.
26. Proceedings of second conference of floating breakwaters. 1981.
27. CERC, Coastal Engineering Research Centre. Shore Protection Manual. 1984
28. CUR/RWS, Centre for Civil Engineering Research and Codes, Directorate-General for Public Works and Watermanagement, Road and Hydraulic Engineering Division. Manual on the use of Rock, CUR report 169. 1995

BIJLAGE I

“Literatuuronderzoek verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers”



• *Figuur I-1, Golftransmissie en golfreflectie.*

I Literatuuronderzoek verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers

Het ontwerp van de golfdempende constructie voor de haven op St. Eustatius wordt gezocht in een combinatie van (onderdelen van) golfbrekers die in het algemeen worden gebruikt bij de aanleg van plezierjachthavens (marina's). Deze zijn kleinschaliger en minder robuust dan een rubble mound of monoliet golfbrekers. Plezierjachthavens worden bijna altijd daar aangelegd, waar de omgeving een groot deel van de beschermende functie op zich neemt. De haven kan landinwaarts, in een baai of achter riffen worden aangelegd, zodat het land een gedeelte van de beschermende functie op zich neemt en de jachten beschermd worden tegen relatief lage windgolven (beperkte fetch) of golven afkomstig van schepen. De haven van St. Eustatius ligt buitengaats, waarbij de constructie wordt blootgesteld aan windgolven en deining. Voor het ontwerp voor de golfdempende constructie van de haven van St. Eustatius is een toepassing onderzocht van verticale golfdempende schermen en/of drijvende golfbrekers.

In de volgende paragrafen zal een overzicht worden gegeven van de belangrijkste aspecten van de verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers

I.1 Golfhoogtevermindering achter een constructie, transmissiecoëfficiënt K_T

Golfhoogtevermindering achter een constructie kan bereikt worden door reflectie, interferentie, dissipatie en absorptie van de inkomende golven (H_i). Golfdemping door reflectie vereist dat de constructie in verhouding statisch is ten opzichte van de golfbeweging, demping door interferentie is alleen in praktijk mogelijk bij een golfveld wat bestaat uit één enkele sinusvormige golf. Bij dissipatie wordt de golfenergie door turbulentie en wrijving omgezet in andere vormen van energie (o.a. warmte en geluid) en bij absorptie wordt golfenergie in andere vormen (warmte) omgezet door elastische vervorming van de constructie.

De invloed van een golfdempende constructie wordt weergegeven door de verhouding tussen de hoogte van de inkomende golf (H_i), de hoogte van de golf achter de constructie (H_T) en de gereflecteerde golf aan de voorzijde van de constructie (H_R) met de transmissiecoëfficiënt K_T en de reflectiecoëfficiënt K_R :

$$K_T = \frac{H_T}{H_i} \text{ en } K_R = \frac{H_R}{H_i} \quad (I.a)$$

Wanneer er geen energie-afname ($\Sigma E = 0$) door breking is of afname van energie door vervorming van de constructie, kan de invloed van een golfdempende constructie beschreven worden door:

$$1/8 \rho g H_i^2 = 1/8 \rho g H_T^2 + 1/8 \rho g H_R^2 \text{ of } H_i^2 = H_T^2 + H_R^2 \text{ waaruit volgt dat } 1 = K_T^2 + K_R^2$$

waarin H_i , H_T en H_R respectievelijk de hoogte is van de inkomende, de doorgelaten en de gereflecteerde golf en K_T en K_R de transmissie- en de reflectiecoëfficiënt zijn (figuur 1.1).

1.2 Verticale golfdempende schermen, “wave screens”

Verticale golfdempende schermen worden voornamelijk toegepast bij het aanleggen van plezierjachthavens. Vanwege de golfdempende eigenschappen voor hogere golven en de constructieve eigenschappen worden ze toegepast in een gematigd golfklimaat, waarbij de golfbreker bestaat uit een draagconstructie, waaraan in het verticale vlak de golfdempende elementen worden aangebracht. Dit kunnen planken, geperforeerde platen, dicht op elkaar geplaatste palen, etc zijn, afhankelijk van de functie en de toepassingen.

Bij het gebruik van verticale golfdempende schermen zijn drie eigenschappen belangrijk. Dit zijn de reflectiecoëfficiënt (K_R), de transmissiecoëfficiënt (K_T) en de golfbelasting, welke door de golven wordt uitgeoefend op de golfdempende onderdelen en de draagconstructie.

Een scherm met een lage reflectiecoëfficiënt heeft een hoge transmissiecoëfficiënt, waardoor de golfdempende werking van de constructie klein is en de golfbelasting beperkt zal zijn. Hoe groter de reflectiecoëfficiënt, hoe kleiner de transmissiecoëfficiënt, hoe groter de golfbelasting. De grootte van de transmissiecoëfficiënt bij verticale golfdempende schermen is een functie van de porositeit (zie 1.2.1) van de golfdempende elementen, de golfeigenschappen (H , T en L), de diepte ter plaatse van de constructie en de afstand tussen de onderkant van het scherm en de bodem.

De transmissiecoëfficiënt van de golfdempende constructie is bepalend voor de mate van golfhoogte- reductie en het golfklimaat in de haven.

1.2.1 Technische aspecten verticale golfdempende schermen

De grootte van de transmissiecoëfficiënt hangt af van de porositeit van de constructie, de steilheid van de inkomende golven en de waterdiepte. De dissipatie van golfenergie hangt samen met de vorm van de onderdelen van het scherm. De porositeit (p) is de verhouding tussen de oppervlakte van de openingen tussen de onderdelen (b) en het totale oppervlakte van het scherm ($b + B$). Er zijn in de literatuur een aantal uitdrukkingen beschikbaar, die een benadering geven voor de transmissiecoëfficiënt voor een enkel verticaal scherm van boven het wateroppervlak tot de bodem:

Truitt en Horbich (ref. 9) benaderde in eerste instantie de transmissiecoëfficiënt door de porositeit van het scherm:

$$K_T = p \quad (1.b)$$

en vonden na laboratoriumonderzoek dat gemeten waarden ca. 25% hoger uitvielen dan (1.b).

$$K_T = p + 0.25 \quad (1.c)$$

waarin:

p = porositeit (-)

K_T = transmissiecoëfficiënt (-)

Hayashy (ref. 10) heeft laboratoriumonderzoek gedaan naar de transmissie-effecten van verticale schermen, waarbij de elementen verticaal geplaatst zijn, en ontwikkelde de volgende relatie:

$$K_T = 4 \left(\frac{h}{H_I} \right) E \left(-E \left(E^2 + \frac{H_I}{2h} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (1.d)$$

$$\text{met } E = \frac{C p}{(1-p^2)^{\frac{1}{2}}}$$

waarin:

- H_i = inkomende golfhoogte (m)
- h = waterdiepte op locatie van het scherm (m)
- C = 0.9 tot 1.0
- p = porositeit (-)
- K_T = transmissiecoëfficiënt (-)

Wiegel (ref. 11) ontwikkelde een relatie om de transmissiecoëfficiënt te kunnen voorspellen van een verticaal ondoorlatend ($p = 0$) golfschot, waarbij de afstand tussen bodem en onderkant scherm varieert op basis van de "Power Transmission Theory". Deze relatie is gebaseerd op de aanname dat de hoeveelheid golfenergie die tussen de onderkant van het schot en de bodem door kan dringen, gelijk is aan de hoeveelheid energie die door de constructie wordt doorgelaten en luidt als volgt :

$$K_T = \left(\frac{2 k (h - D) + \sinh (2 k (h - D))}{\sinh (2 k h) + 2 k h} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.e)$$

waarin:

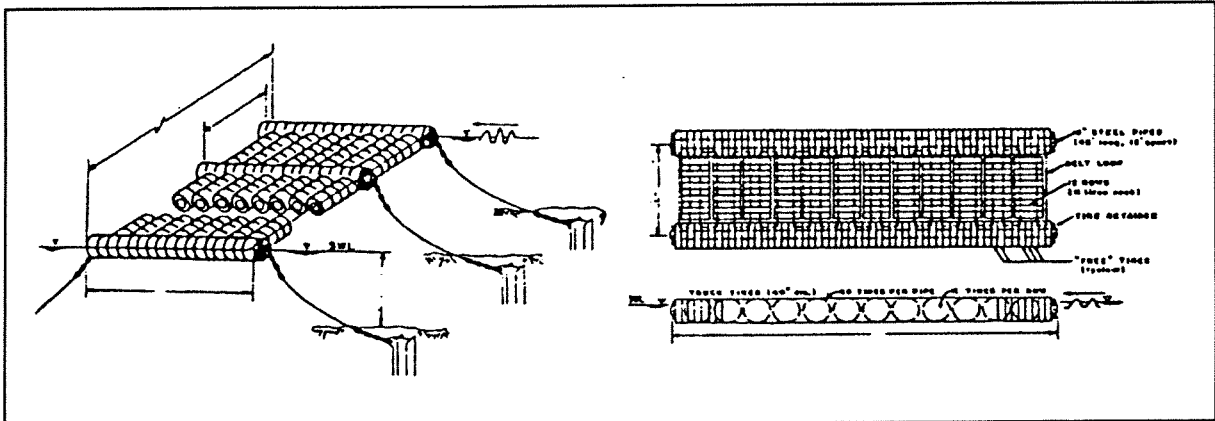
- h = waterdiepte op locatie van het scherm (m)
- D = diepgang scherm (m)
- k = $2\pi / L$ (golfgetal)
- K_T = transmissiecoëfficiënt (-)

Een verticaal golfdempend scherm wordt opgebouwd uit een draagconstructie en de waterkerende onderdelen. De draagconstructie kan bestaan uit buispalen, waaraan de golfdempende onderdelen kunnen worden aangebracht of een ponton waaronder de golfdempende schermen kunnen worden afgehangen.

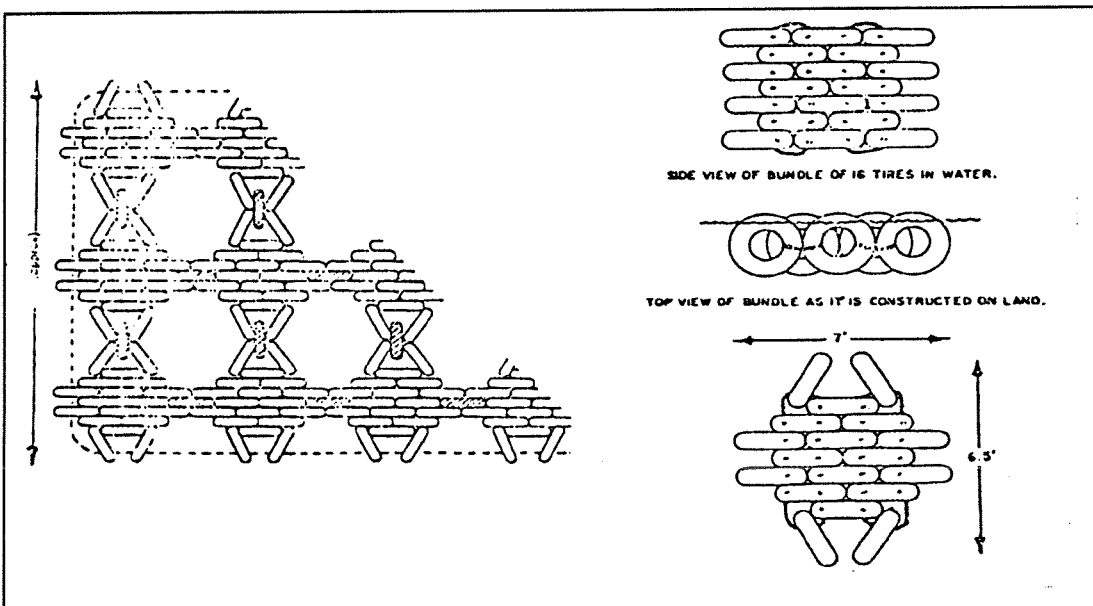
Bij het National Research Council Canada (ref. 12) heeft men geëxperimenteerd met een stalen frame, waarin rijen autobanden zijn aangebracht, als golfdemper (wave-absorber) in een plezierjachthaven om staande golven te voorkomen. Als verticaal golfdempend scherm zal dit een goedkope vervanging zijn van het duurzaam hardhout dat normaal wordt gebruikt. Er zijn alleen (nog) geen eigenschappen bekend van deze oplossing. Een andere oplossing kan zijn wanneer de schotten worden vervangen door stalen netten.

1.2.2 Resultaten experiment met verticale golfdempende scherm

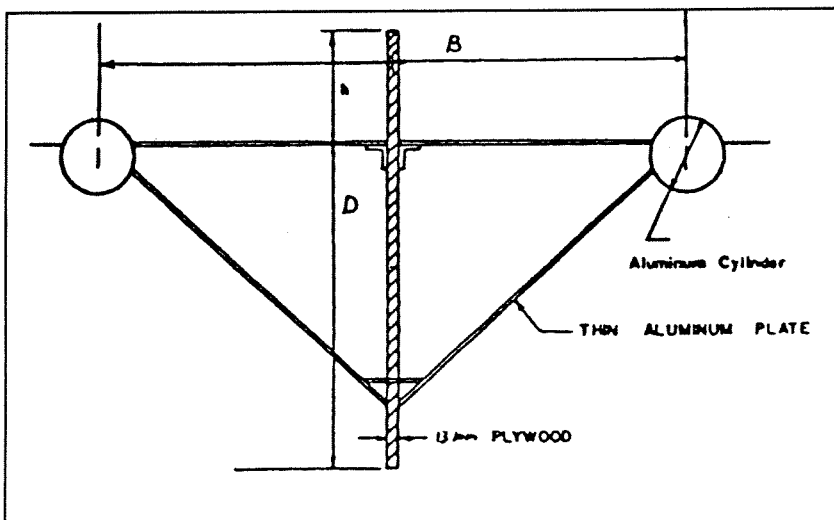
Gardner en Townend (ref. 13) hebben laboratoriumproeven op verticale golfschotten uitgevoerd en de resultaten vergeleken met de uitkomsten van bovenstaande uitdrukkingen (1.c) en (1.d). De golfperiodes varieerden bij deze laboratorium proeven tussen $T = 3$ s en $T = 12$ s. Voor het berekenen van de uitdrukkingen zijn voor $H_i = 1.0$ m, $L = 20$ m, $d = 5$ m en $b = 0.15$ m aangehouden. De resultaten voor K_T afhankelijk van de porositeit p zijn gepresenteerd in tabel 1.1.



• *Figur 1.2, Pipe Tire Floating Tire Breakwater.*



• *Figur 1.3, Goodyear Floating Tire Breakwater.*



• *Figur 1.4, A-frame breakwater.*

Overzicht uitdrukkingen en laboratoriumonderzoek voor T = 4 s			
Transmissiecoëfficiënten K_T (%)			
p (%)	vergelijking (l.c)	vergelijking (l.d)	resultaten laboratorium proeven
5	0.30	0.25	0.18
10	0.35	0.43	0.40
15	0.40	0.57	0.54
20	0.45	0.67	0.61
25	0.50	0.74	0.66
30	0.55	0.80	(-)

- Tabel I.1, Resultaten vergelijking uitdrukkingen en laboratoriumonderzoek.

Uit de resultaten blijkt dat de vergelijking l.c en l.d beter overeenkomen met het laboratorium-onderzoek naarmate de porositeit van het scherm groter wordt, waarbij vergelijking l.c gemiddeld lager en vergelijking l.d gemiddeld hoger uitvalt dan de gemeten waarden.

I.3 Drijvende golfbrekers

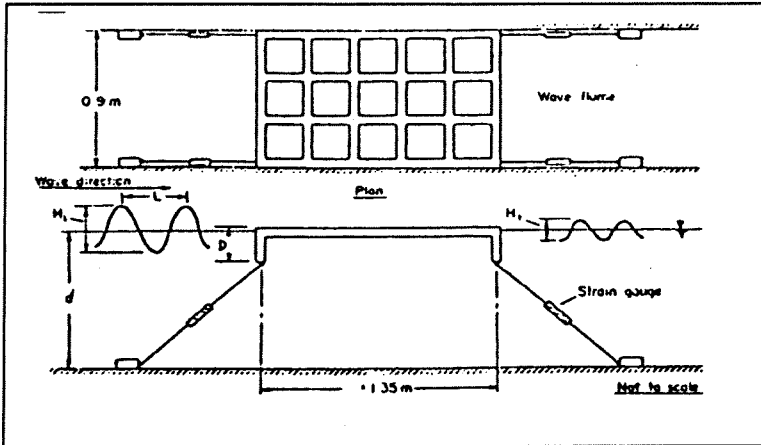
Drijvende golfbrekers kunnen worden toegepast bij de aanleg van plezierjachthavens, tijdelijke havens en voor het creëren van een rustiger golfklimaat in open zee. Hierbij zijn ze globaal onder te verdelen in twee categorieën, namelijk de starre en de flexibele drijvende golfbrekers. Bij de eerste zijn de onderdelen van de constructie stijf aan elkaar verbonden en worden de inkomende golven voornamelijk gedempt door reflectie en turbulentie. Bij de tweede kunnen de verschillende onderdelen van de constructie verplaatsingen ondergaan ten opzichte van elkaar en worden de inkomende golven gedempt door dissipatie of absorptie. Navolgend zijn globaal de voor- en nadelen gepresenteerd van drijvende golfbrekers:

Voordelen:

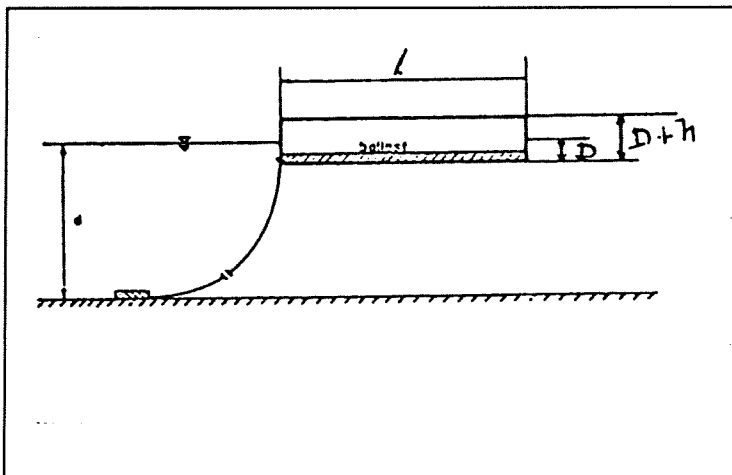
- drijvende golfbrekers zijn transporteerbaar en eventueel inzetbaar op een andere locatie;
- een drijvende golfbreker heeft weinig of geen invloed op het ecosysteem in de haven en het stromingsbeeld in en voor de haven;
- kosten hangen in mindere mate af van bodemdiepte en bodemgesteldheid dan bij stortstenen en/of monoliet golfbreker;

Nadelen:

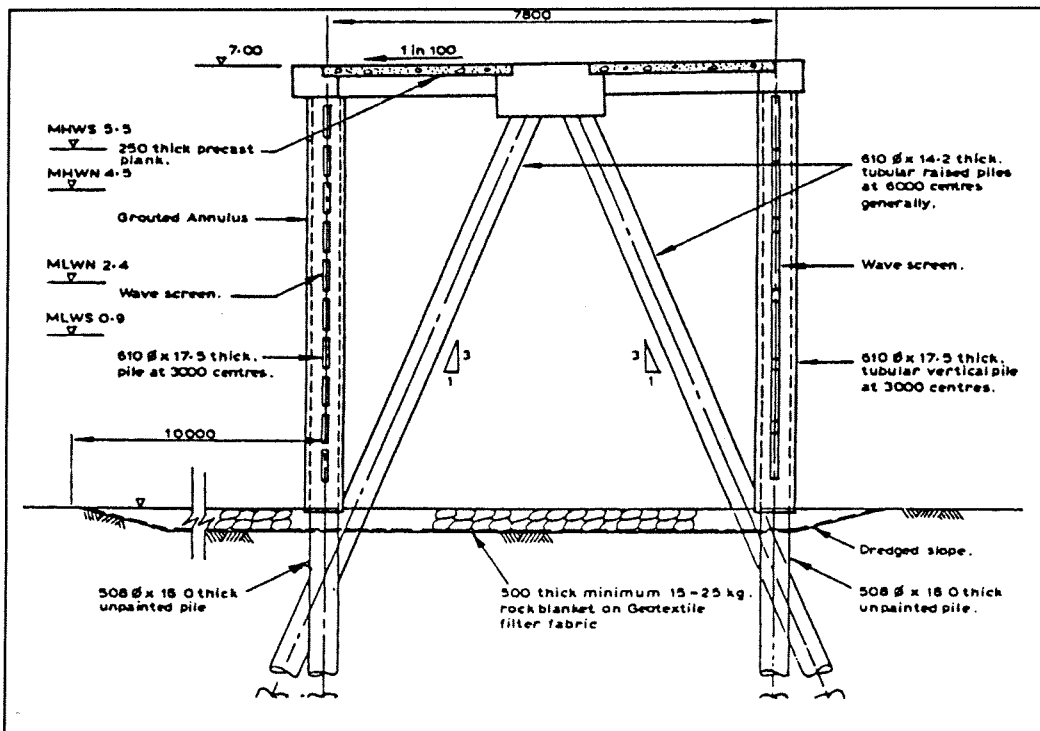
- de golfdempende eigenschap is gevoelig voor golffrequentie en golfrichting; de demping van golven met een langere periode is alleen mogelijk met een zeer omvangrijke drijvende golfbreker en zijn dus kostbaar;
- kwetsbaar in extreme omstandigheden;
- er is altijd een bepaalde hoeveelheid golfenergie die wordt doorgelaten, $K_T > 0$



• *Figuur 1.5, Perforated Floating Plate Breakwater.*



• *Figuur 1.6, Pontoon breakwater.*



• *Figuur 1.7, Wave screen/Skirt breakwater.*

1.3.1 Technische aspecten drijvende golfbrekers

In de literatuur is een benadering gegeven voor de transmissiecoëfficiënten van een drijvend ponton, welke onderstaand is weergegeven. Deze benadering (Carr (1951), ref. 14) is alleen bruikbaar als de eigenperiode T_N van de constructie bekend is, welke eventueel door middel van modelonderzoek te benaderen is.

$$K_T = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{\pi m g}{\gamma_w L h}\right)^2 \cdot \left(\left(\frac{T}{T_N}\right)^2 - 1\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1.f)$$

waarin:

- m = massa golfbreker per eenheid van lengte (kg)
- γ_w = soortelijk gewicht water (Kg/m^3)
- L = golflengte (m)
- T = golfperiode (s)
- T_N = de eigenperiode van golfbreker (s)
- B = breedte van constructie (m)
- h = waterdiepte (m)

bij aanname van ondiepwater, hydrostatische drukverdeling, lineaire demping en alleen horizontale golfbrekerbeweging.

Harms (ref. 15) heeft twee relaties afgeleid voor Floating Tire Breakwaters, afhankelijk van de breedte van de constructie en de golflengte van de inkomende golf. De constructie steekt hierbij niet dieper dan de diameter van de autoband:

$$K_T = e\left(-\frac{0.58B}{L}\right) \text{ voor de Goodyear FTB} \quad (1.g)$$

$$K_T = e\left(-\frac{102B}{L}\right) \text{ voor de Pipe Tire FTB} \quad (1.h)$$

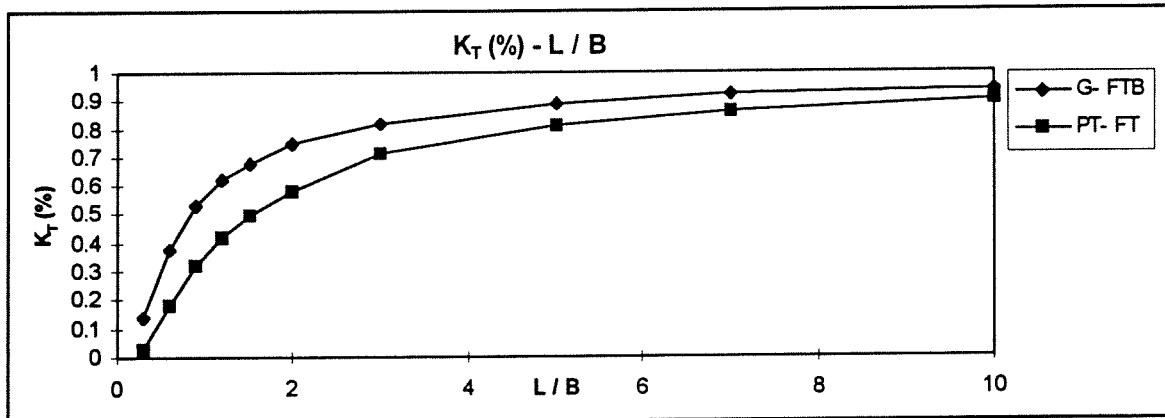
waarin:

- L = golflengte (m)
- B = breedte van constructie (m)

Verder zijn er een aantal computermodellen ontwikkeld, die transmissiecoëfficiënten kunnen berekenen, maar deze worden in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

1.3.2 Verankering van drijvende golfbrekers

Een belangrijk onderdeel van de drijvende golfbreker is de constructie waarmee deze op zijn plaats wordt gehouden en is mede bepalend voor de transmissiecoëfficiënt. Een constructie die soepel mee kan bewegen op de golfbeweging zal deze minder dempen, dan wanneer deze constructie beperkt is in zijn verplaatsingen. Het hangt af van de constructie in welke mate de vrijheidsgraden beperkt worden of moeten worden. In het algemeen worden de drijvende constructies verankerd aan de bodem of worden ze afgehangen in een geleidings- of draagconstructie. Bij het afhangen in een geleidings- of draagconstructie is het belangrijk dat aangroei van bijvoorbeeld onderwaterplanten geen invloed mag hebben op de mobiliteit van de golfdempende constructie. Aangroei in de tijd mag ook geen invloed hebben op de verschillende eigenschappen van de constructie.



• *Figuur 1.8, Transmissiecoëfficiënt Floating Tire breakwater, semi-theoretisch model (ref. 20).*

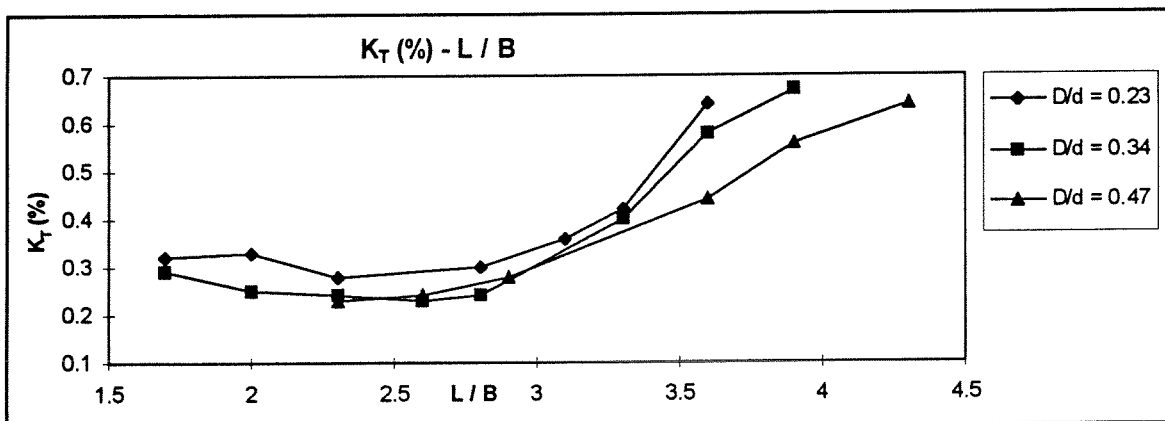
waarin:

G-FTB = Goodyear Floating Tire Breakwater

PT-FTB = Pipe Tire Floating Tite Breakwater

K_T = Transmissiecoëfficiënt

L/B = Relatieve golflengte (golflengte / breedte constructie)



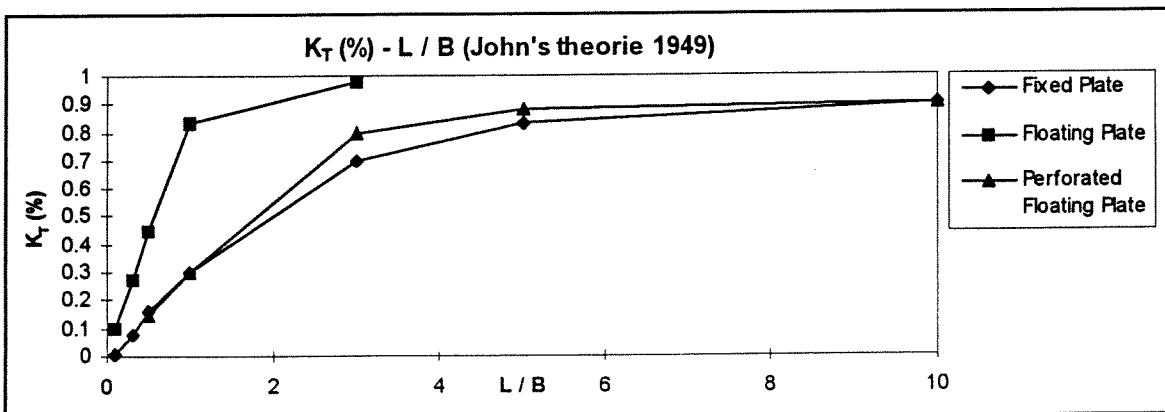
• *Figuur 1.9, Transmissiecoëfficiënt A-frame breakwater, modelonderzoek (ref. 21).*

waarin:

K_T = Transmissiecoëfficiënt

L/B = Relatieve golflengte (golflengte / breedte constructie)

D/d = Relatieve waterdiepte (diepte onderkant constructie / waterdiepte)



• *Figuur 1.10, Transmissiecoëfficiënt Horizontale Plate breakwater, modelonderzoek (ref. 20)*

waarin:

K_T = Transmissiecoëfficiënt

L/B = Relatieve golflengte (golflengte / breedte constructie)

I.4 Overzicht toepasbaarheid verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van mogelijke golfdempende oplossingen, om het golfklimaat in de haven van St. Eustatius te verbeteren. Door de karakteristieke eigenschappen van de verschillende golfdempers, is elk type bij andere golfklimaat en havenomstandigheden bruikbaar. In dit literatuuronderzoek zijn de volgende typen golfdempers met elkaar vergeleken:

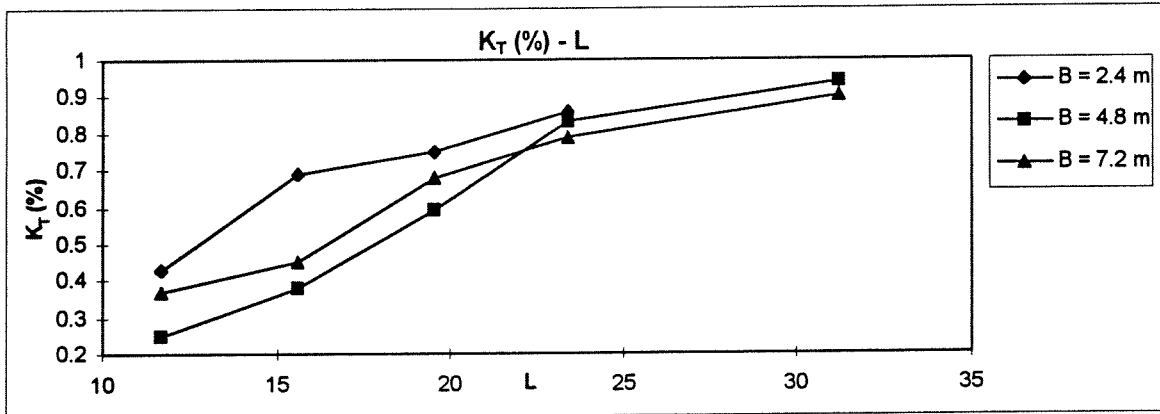
- Pipe Tire Floating Tire Breakwater, figuur I.2;
- Goodyear Floating Tire Breakwater, figuur I.3;
- A-frame breakwater, figuur I.4;
- Perforated floating plate breakwater, figuur I.5;
- Pontoon breakwater, figuur I.6;
- Wave screen/skirt breakwater, figuur I.7.

De golfdempende eigenschappen van starre of flexibele drijvende golfbrekers hangen voornamelijk af van de verhouding tussen de breedte van de constructie en de golflengte van de inkomende golf. De drijvende golfbrekers worden voornamelijk gebruikt voor tijdelijke bescherming of op beschutte locaties waar vooral korte golven ($t < 4s$) gedempt moeten worden. De starre drijvende golfbrekers hebben in het algemeen een lagere transmissiecoëfficiënt dan de flexibele drijvende golfbrekers bij gelijke golfparameters. Bij een gegeven breedte van de constructie neemt de waarde van K_T toe met toenemende golflengte. Door de vloeistofmechanische eigenschappen van langere golven (deining), zijn die door deze golfbrekers moeilijker te dempen dan de korte golven (windgolven). Om een transmissiecoëfficiënt van ca. 0.7 à 0.8 te halen, moet de breedte van de flexibele drijvende constructie in het algemeen groter zijn dan $0.8L$.

De golfdempende eigenschappen van verticale golfdempende schermen (wave-screens/skirt-breakwaters) zijn voornamelijk afhankelijk van de porositeit van het scherm, de hoogte van de onderkant van het scherm ten opzichte van de bodem, de golfeigenschappen van de inkomende golven en de waterdiepte ter plaatse. In praktijk heeft een golfdempend scherm een redelijke golfdempende werking, wanneer de diepte van de onderkant drie keer de inkomende golfhoogte bedraagt. (Nortier, ref. 19). De parameters van een scherm hangen af van de gestelde criteria voor een ontwerp.

Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de resulterende afmetingen van mogelijke reële oplossingen voor het ontwerp van de constructie en de transmissiecoëfficiënten van deze constructie. De resultaten van de transmissiecoëfficiënten van de verschillende constructies in de figuren I.8 t/m I.13 zijn in alle gevallen afkomstig van modelonderzoek door verschillende instituten en laboratoria en is er nauwelijks informatie beschikbaar over resultaten van praktijkvoorbeelden. Elk type golfdempende constructie is getest onder andere omstandigheden, zoals waterdiepte, golfhoogte en -periode etc., waardoor het vergelijken van de verschillende constructies minder betrouwbaar wordt.

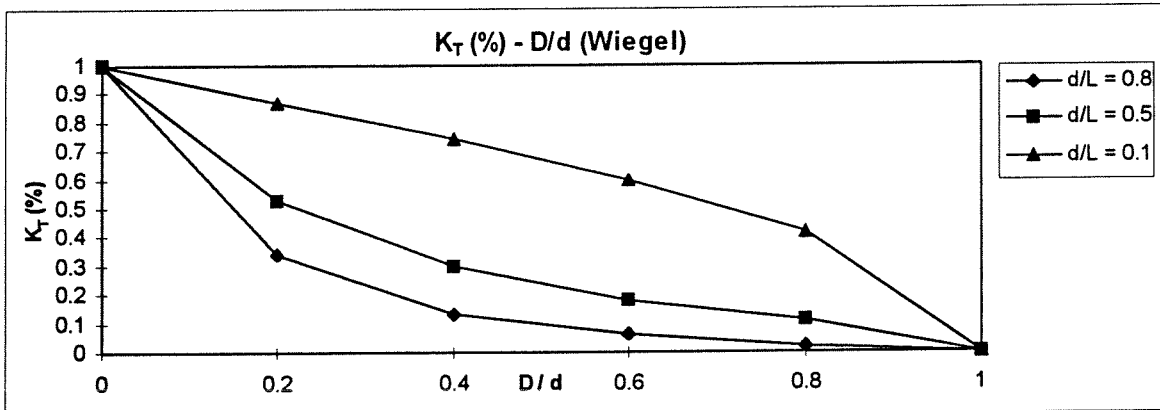
Voor de verschillende constructies is de maatgevende afmeting of parameter berekend, die van invloed is op de golfdempende eigenschappen, voor een waarde van K_T van 0.2. Bij drijvende golfbrekers is dit de breedte en voor de verticale golfdempende constructies is dit de porositeit van het scherm en de insteek van het scherm beneden het wateroppervlak. Hierdoor is een indruk verkregen van de afmetingen van de verschillende constructies.



• *Figuur 1.11, Transmissiecoëfficiënt Pontoon Breakwater, modelonderzoek (ref. 22)*

waarin:

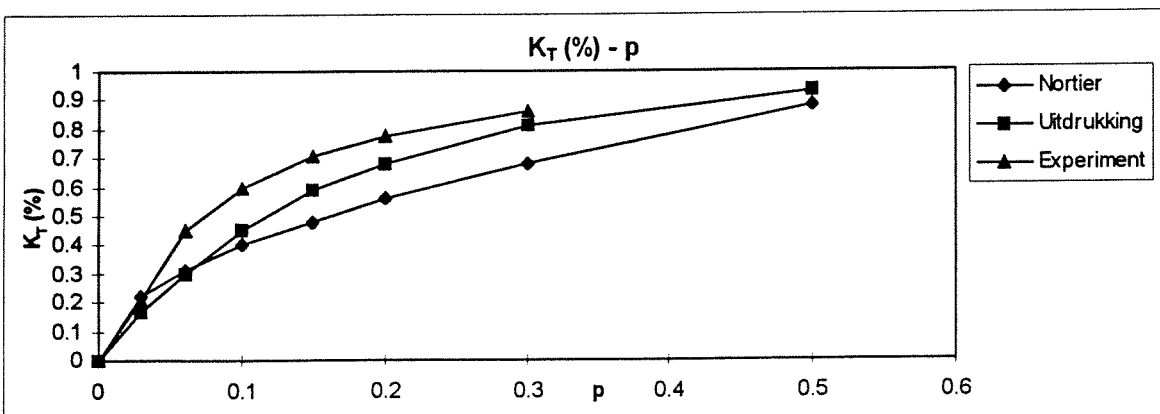
K_T = Transmissiecoëfficiënt
 L = Golfengte
 B = Breedte ponton



• *Figuur 1.12, Skirt Breakwater, Power Transmission Theorie (Wiegel 1959, ref. 11)*

waarin:

K_T = Transmissiecoëfficiënt
 D/d = relatieve waterdiepte (diepte onderkant constructie / waterdiepte)
 d/L = relatieve waterdiepte (waterdiepte / golfengte)



• *Figuur 1.13, Wave-screens, theorie en modelonderzoek (ref. 9)*

waarin:

K_T = Transmissiecoëfficiënt
 p = porositeit

In tabel I.2 is een overzicht gegeven van de resulterende afmetingen van de verschillende constructies bij een transmissiecoëfficiënt van 0.2 en een golfperiode van 10 s. De maatgevende afmeting is tevens berekend voor een golfperiode van 10 s om de invloed van de periode aan te geven.

Overzicht van afmetingen verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers			
Type constructie	K_T	L/B	T = 10 s
Pipe Tire FTB	0.2	0.8	B = 104 m
Goodyear FTB	0.2	0.4	B = 208 m
A-frame (D/h = 0.47)	0.2	2.6	B = 32 m
Perforated floating plate	0.2	0.7	B = 119 m
Pontoon (B = 7.2 m)	0.2	-	-
Skirt breakwater p = 0	0.2	D/h=0.9	D = 6.3 m
Wave screen D/h = 1	0.2		p = 0.04

• Tabel I.2, Overzicht afmetingen golfdempende constructies.

waarin:

- B = breedte van de constructie (m)
- h = waterdiepte (m)
- D = diepgang van de constructie (m)
- p = porositeit (%)
- K_T = transmissiecoëfficiënt (%)
- L = golflengte (m)

I.5 Conclusie literatuuronderzoek verticale golfdempende schermen en drijvende golfbrekers

De verschillende constructies zijn in tabel I.3 met elkaar vergeleken om te beoordelen, welke type constructie het meest geschikt is voor een toepassing als golfdemper voor de uitbreiding van de haven van St. Eustatius. In de kolom "praktijktoepassing" is aangegeven of de constructie in praktijk is toegepast als golfdemper voor een plezierjachthaven. In de kolom "Maatgevende afmeting $K_T = 0.2$, T = 10 s" is aangegeven hoe de maatgevende afmeting van de constructie voor de golfdempende functie is ten opzichte van de golfdempende eigenschap voor een golfperiode van 10 seconde en een transmissiecoëfficiënt van 0.2.

Een uitgangspunt is dat de constructie technisch eenvoudig in elkaar moet zitten, zodat bij schade de herstelwerkzaamheden met lokale krachten uitgevoerd kunnen worden. In de kolom "Eenvoud van de constructie" is aangegeven of de constructie op simpele wijze vervaardigd kan worden. Een "+" geeft hierbij aan dat de constructie simpel te construeren is.

In de laatste kolom is aangegeven of het mogelijk is om golfdempende functie op te heffen bij toenemende golfhoogten en of de constructie de extreme condities kan overleven zonder al teveel schade op te lopen. Hierbij kan worden gedacht aan het ter plaatse afzinken van de drijvende constructie of het neerlaten van de verticale schermen om op deze manier de extreme condities te overleven. Om de extreme omstandigheden te overleven kan de drijvende constructie worden getransporteerd naar een beter beschermde locatie.

In tabel I.3 is een overzicht gegeven van de mogelijke golfdempende constructies ten opzichte van de hierboven omschreven toetspunten voor een uitbreiding van de haven op St. Eustatius.

Overzicht golfdempende constructies				
Type golfbreker	Praktijk toepassing	Maatgevende afmeting, $K_T = 0.2, T = 10 \text{ s}$	Eenvoud van de constructie	opheffen golfdempende functie en overleven extreme condities
Pipe Tire FTB/ Goodyear FTB	ja	-	+	-
Horizontal plate breakwater	nee	-	+	-
A-frame breakwater	ja	-	+/-	+/-
Pontoon breakwater	ja	-	+	+/-
Pontoon+wave screen breakwater	nee	+/-	+/-	-
Wave-screen/skirt breakwater	ja	+	+	+

• Tabel 1.3, Overzicht golfdempende constructies.

waarin:

- " -- " = zeer slecht
- " - " = slecht
- " +/- " = redelijke
- " + " = goed
- " ++ " = zeer goed

Voor de keuze van de constructie zijn de golfdempende eigenschappen, de eenvoud van de constructie en de mogelijkheid tot verwijderen of vervoeren vooraf aan extreme omstandigheden het belangrijkste. De slechte golfdempende eigenschappen van de drijvende golfbrekers voor golven met een langere golfperiode in samenhang met het moeilijk kunnen verwijderen of transporteren voor of het "overleven" gedurende extreme condities maakt de drijvende constructies niet geschikt voor een toepassing op St. Eustatius en in het Caribisch gebied.

De Pontoon+Wave Screen en de Wave Screen/Skirt Breakwater hebben de beste golfdempende eigenschappen voor de grotere perioden. De Pontoon+Wave Screen breakwater is niet op eenvoudige wijze te verwijderen of te transporteren bij toenemende golfhoogten, waardoor deze constructies niet in aanmerking komt voor een toepassing in het Caribisch gebied of op St. Eustatius.

Uit de voorgaande samenvatting van het literatuuronderzoek blijkt dat een uitbreiding van de haven door middel van Wave-Screens/Skirt-Breakwaters binnen een uitbreiding door middel van verticale golfdempende schermen en/of drijvende golfbrekers de beste optie is.

GOLFBREKERONTWERP VOOR RUSTIG GOLFKLIMAAT TEN BEHOEVE VAN DE HAVENUITBREIDING VAN ST. EUSTATIUS

EEN HAALBAARHEIDSTUDIE

DEEL 2 GOLFONDERZOEK MET BEHULP VAN COMPUTERMODELLEN

JULI 1998



**GOLFBREKERONTWERP VOOR RUSTIG
GOLFKLIJMAAT TEN BEHOEVE VAN DE
HAVENUITBREIDING VAN ST. EUSTATIUS**

EEN HAALBAARHEIDSSSTUDIE

**DEEL 2 GOLFONDERZOEK MET BEHULP VAN
COMPUTERMODELLEN**

JULI 1998

Afstudeerverslag

Door: M.G.G. Raupp

Technische Universiteit Delft,
Faculteit der Civiele Techniek,
Vakgroep Waterbouwkunde.

Afstudeercommissie:

prof. drs. ir. Vrijling,	sectie Constructieve Waterbouwkunde
ir. H.K.T. Kuijper,	sectie Constructieve Waterbouwkunde
dr. ir. L.H. Holthuijsen,	sectie Vloeistofmechanica
ir. A.D. Maier.	raadgevend ingenieur

LIJST MET SYMBOLEN

<u>Symbool</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>dimensie</u>
B	: breedte constructie (in dwarsdoorsnede)	[m]
c	: golfvoortplantingssnelheid	[m/s]
C _D	: 'drag' coëfficiënt	[-]
C _L	: 'lift' coëfficiënt	[-]
D	: diepte constructie beneden gemiddeld zeeniveau	[m]
D	: paaldiameter	[m]
E	: golfenergie	[J/m ²]
E	: elasticiteitsmodulus	[N/m ²]
g	: zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
h	: waterdiepte	[m]
h _F	: aangrijphoogte kracht F	[m]
H _D	: ontwerp golfhoogte	[m]
H _I	: inkomende golfhoogte	[m]
H _R	: gereflecteerde golfhoogte	[m]
H _T	: doorgelaten golfhoogte	[m]
H _S	: significante golfhoogte	[m]
H _{SO}	: significante golfhoogte op diepwater	[m]
H _m	: maximale golfhoogte	[m]
I	: traagheidsmoment	[m ⁴]
k	: golfgetal	[rad/m]
K _p	: passieve gronddrukcoëfficiënt	[-]
K _R	: reflectiecoëfficiënt	[-]
K _S	: shoalingfaktor	[-]
K _T	: transmissiecoëfficiënt	[-]
L	: golflengte	[m]
L _D	: ontwerp golflengte	[m]
L _{jacht}	: lengte plezierjacht	[m]
m	: massa	[N]
p	: porositeit	[%]
p	: druk	[N/m ²]
P	: horizontale belasting	[N]
Re	: getal van Reynolds	[-]
t	: inheidiepte	[m]
t ₀	: diepteligging momentennulpunt belasting	[m]
T	: golfperiode	[s]
T _N	: eigenperiode	[s]
T _Z	: "zero-crossing" golfperiode	[s]
W	: weerstandmoment	[m ³]
β	: steilheid van de vooroever	[°]
δ	: verplaatsing	[m]
γ	: soortelijk gewicht	[N/m ³]
γ _{br}	: brekerparameter	[-]
γ _{eff}	: effectief volume gewicht van de grond	[N/m ³]
ρ	: dichtheid van (zee)water	[N/m ³]
ξ	: Iribaren brekerparameter	[-]
η	: Golfhoogte	[m]

LIJST MET AFKORTINGEN:

<u>Afkorting</u>		<u>Betekenis</u>
BMO	:	The British Meteorological Office
FTB	:	Floating Tire Breakwater
GWS	:	Global Wave Statistics
H.W.S	:	High Water Spring
L.W.S.	:	Low Water Spring
M.S.L.	:	Mean Sea Level
OWS	:	Ocean Wave Statistics
ref. #	:	referentie #
SPM	:	Shore Protection Manual, 1984

INHOUDSOPGAVE

LIJST MET SYMBOLEN

LIJST MET AFKORTINGEN

1. INLEIDING	2
1.1 Processen die de golfeigenschappen veranderen bij voortplanting van golven in ondiepwater	2
1.2 Golfonderzoek met behulp van computermodellen.....	3
1.2.1 SWAN.....	4
1.2.2 CREON.....	4
2. GOLFONDERZOEK: DIEPWATERGOLFKLIMAAT OMGEREKEND NAAR ONDIEPWATERGOLFKLIMAAT	6
2.1 Ontstaan van windgolven en deining	6
2.2 Diepwatergolfdata	7
2.3 Onderverdeling in sectoren m.b.t. de voortplanting van golven en deining naar St. Eustatius.....	8
2.4 Diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius.....	9
2.5 Berekenen ondiepwatergolfklimaat Oranjebaai haven met behulp van SWAN	11
2.5.1 Verwerking resultaten golfberekeningen	13
2.5.2 Het ondiepwatergolfklimaat voor de Oranjebaai haven, significante golfhoogte	13
2.5.3 Het golfklimaat voor de Oranjebaai haven, individuele golfhoogte	15
3. INVLOED GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIE OP HET GOLFKLIMAAT IN DE ORANJEBAAI HAVEN	18
3.1 Opzet golfvoortplantingsberekeningen in CREON	18
3.1.1 Verwerking golfberekeningen in CREON	19
3.2 Conclusie transmissiecoëfficiënt en lengte van de golfdempende constructie Oranjebaai haven	20

LITERATUURLIJST

BIJLAGEN

- I "Overzicht diepwatergolfklimaat Global Wave Statistics"
- II "Overzicht diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius"
- III "Inputfile SWAN"
- IV "Mathcad sheet"
- V "Inputfile CREON"
- VI "Golfdoordringing in de haven"

1. INLEIDING

Bij het ontwerpen van constructies in zee of aan de kust is het noodzakelijk om informatie over het golfklimaat ter plaatse ter beschikking te hebben. Hieruit kunnen de parameters voor het ontwerp worden bepaald en kan worden nagegaan of het golfklimaat het toelaat om de verscheidene werkzaamheden uit te voeren. Vaak laat het tijdsbestek of de hoge kosten het niet toe om specifiek golfonderzoek ter plaatse uit te voeren. Door meteorologische instituten over de hele wereld worden diepwatergolfgegevens verzameld en gearhiveerd, zodat deze informatie onder andere kan worden gebruikt voor het berekenen van het golfklimaat op andere locaties dan de waarnemingspunten.

Wanneer windgolven en deininggolven vanuit diepwater de kust, ondiepten of obstakels in zee naderen, veranderen de golfkarakteristieken. Dit komt door een aantal processen, waaraan de binnendringende golven onderhevig zijn. De belangrijkste golfeigenschappen worden uitgedrukt in een golfhoogte (H uitgedrukt in meters), een golfperiode (T uitgedrukt in seconden) en een golfvoortplantingsrichting (uitgedrukt in graden ten opzichte van het noorden). Door refractie, diffractie, shoaling, breking, golftransmissie en golfreflectie veranderen de eigenschappen van een golf. Deze processen en de invloed die ze hebben op de golfkarakteristieken zullen in het kort worden besproken.

1.1 Processen die de golfeigenschappen veranderen bij voortplanting van golven in ondiepwater

Refractie

Refractie is het veranderen van golfvoortplantingsrichting door het veranderen van de voortplantingssnelheid van de golf langs de golfkam. Het verschijnsel treedt op bij golven, wanneer deze vanuit diepwater ondiepwater naderen en binnendringen. Doordat de voortplantingssnelheid ($c = (g h)^{1/2}$) van de golven kleiner wordt naarmate het ondieper wordt, buigen de golfstralen af in de richting van de kust en van de normaal van de dieptelijnen. Door dit verschijnsel is het mogelijk dat golven die bijna parallel de kust aanlopen, de kust toch bereiken. Wanneer golven vanuit ondiepwater zich voortplanten richting diepwater zal het omgekeerde gebeuren, dus dat de golfstralen afbuigen van de normaal van de dieptelijnen. Door het veranderen van de golfvoortplantingsrichting en de golfvoortplantingssnelheid, verandert de golfhoogte ervan uitgaande dat er geen energie wordt gedissipeerd.

Diffractie

Diffractie is het veranderen van golfhoogte naast en achter een obstakel in water. Wanneer golven op zee een obstakel (bv. golfbreker) ontmoeten, zal een deel van de golven hierop reflecteren. Aan de zijanten van het obstakel buigt het niet-gereflecteerde deel van de golfkammen om het obstakel heen, zodat deze zich voortplanten in de lijzijde of schaduwzijde van het obstakel. Hierdoor neemt in het algemeen de golfhoogte af in het gebied achter het obstakel, maar in sommige specifieke gevallen is het mogelijk dat deze door interferentie groter wordt dan de onverstoorde inkomende golfhoogte .

Shoaling

Shoaling is het veranderen van golfhoogte langs de golfstraal door het veranderen van waterdiepte. Bij het naderen van een kust zullen de golven bij steeds ondieper wordend water, de invloed van de bodem gaan merken. Bij de toenemende invloed van de bodem, neemt de golfvoortplantingssnelheid af en zal de golfhoogte langs de golfstraal veranderen, waardoor de golfsteilheid (verhouding tussen de golfhoogte en de golfengte) ook verandert. De verhouding tussen de golfhoogte in diepwater en in ondiepwater wordt weergegeven in de shoalingfactor K_S , waarmee het verloop van de golfhoogte bij nadering van de kust of in ondieper wordend water kan worden berekend.

Breking

Wanneer golven doordringen in steeds ondieper wordend water, zal de invloed van de bodem toenemen. Hierdoor verandert de golfvoortplantingssnelheid en de golfhoogte. Door de afnemende voortplantings-snelheid en een (in eerste instantie) gelijkblijvend vermogen F , neemt de golfhoogte in de richting van de kust toe, waardoor de golfsteilheid (H/L) toeneemt. De maximale steilheid van een golf wordt bepaald door het criterium dat voortplantingssnelheid van de top van de golf niet groter kan zijn dan de voortplantingssnelheid van de golf zelf. Bij een bepaalde verhouding tussen golfhoogte, golfperiode, golfvoortplantingssnelheid, bodemdiepte en bodemhelling zal de golf instabiel worden en breken, waarbij de golfenergie wordt gedissipeerd. De maximale golfhoogte wordt bepaald door breking en is afhankelijk van twee criteria, de waterdiepte en de golfsteilheid.

Golfreflectie en golftransmissie

Op het moment dat golven op zee een constructie bereiken, zal deze, afhankelijk van zijn eigenschappen, de golfkarakteristieken veranderen. Wanneer de constructie volledig ondoorlaatbaar is, zal deze de inkomende golven absorberen of reflecteren en het achterliggende gebied beschermen. Bij het absorberen wordt alle golfenergie omgezet in een andere vorm van energie (warmte, geluid, etc.).

Bij reflectie worden de inkomende golven op de constructie weerkaatst, waarbij de inkomende golven en de teruggekaatste golven een nieuw golfpatroon vormen aan de voorzijde van de constructie.

Bij een constructie, die de golven voor een gedeelte doorlaat en een gedeelte reflecteert, is de transmissiecoëfficiënt van belang. De grootte hiervan is afhankelijk van de afmetingen van de golfdempende constructie en de golfparameters en geeft de verhouding weer tussen de hoogte van de inkomende golf en de doorgelaten golf.

1.2 Golfonderzoek met behulp van computermodellen

Wanneer diepwatergolfgegevens bekend zijn, is het mogelijk om hiermee golfgegevens in ondiepwater uit te rekenen. Daar deze berekeningen zeer tijdrovend zijn, zijn er computermodellen ontwikkeld waarmee ze uitgevoerd kunnen worden. Met behulp van deze modellen is het dan mogelijk om de diepwatergolfgegevens om te rekenen naar de ondiepwatergolfgegevens op een bepaalde locatie voor de kust. Enkele voorbeelden van deze computermodellen zijn HISWA en SWAN.

Bij het aanleggen van een constructie in een kustzone, is het belangrijk om na te gaan welke invloed dit heeft op het golfklimaat ter plaatse. Vaak worden deze constructies aangebracht om het golfklimaat in een havenbekken te beheersen en dient de invloed ervan te worden vastgesteld.

Het is mogelijk om de situatie na te bootsen in een schaalmodel, waarbij de bathymetrie van de kust of haven wordt geschematiseerd en de invloed van de nieuwe constructie daarop kan worden bekeken. Doordat deze manier van golfonderzoek in het algemeen kostbaar is, zijn er computermodellen ontwikkeld, waarmee de invloed van constructies op het golfklimaat in een havenbekken kan worden nagegaan. Een voorbeeld hiervan is CREON.

In het eerste gedeelte van het golfonderzoek in deel 2, hoofdstuk 2 is met behulp van het computermodel SWAN diepwatergolfdata omgerekend tot een ondiepwatergolfklimaat voor de haven van St. Eustatius, met een waterdiepte van ca. 7 m. In het tweede gedeelte van het golfonderzoek in deel 2, hoofdstuk 3 is de invloed van de te ontwerpen golfdempende constructie op het golfklimaat in de haven van St. Eustatius onderzocht met behulp van het computermodel CREON.

1.2.1 SWAN

Het computermodel SWAN (Simulation Waves Nearshore, ref. 20) is een numeriek model dat gebruikt wordt voor het berekenen van golfparameters in kustzone's, meren en estuaria met behulp van wind-, bodem- en stromingsgegevens. Het model is gebaseerd op de actie balans vergelijking en is ontwikkeld door de Technische Universiteit Delft, vakgroep Waterbouwkunde, sectie Vloeistof-mechanica.

De volgende processen worden door het model beschreven:

- golfvoortplanting van kort- en langkammige golven door geografische ruimte;
- refractie ten gevolge van bodem- en stroomvariatie;
- shoaling ten gevolge van bodem- en stroomvariatie;
- stoppen en reflecteren van golven door tegengestelde stroming;
- golftransmissie of -absorptie door obstakels.

De volgende effecten van golfgroei en dissipatie zijn in het model opgenomen:

- genereren van golfenergie door wind;
- dissipatie van golfenergie door "white-capping";
- dissipatie van golfenergie door het breken van golven in ondiep water;
- dissipatie van golfenergie door bodemwrijving;
- herverdeling van golfenergie over het golfspectrum door niet-lineaire golf-golf interactie ("quadruplets" en "triads")

Het model geeft een volledige spectrale beschrijving van het golfklimaat. Het model geeft geen rekenschap van de invloed van diffractie en kan dus niet gebruikt worden voor het berekenen van golfvoortplanting achter constructies in zee, havendammen, golfbrekers etc.

1.2.2 CREON

Het computermodel CREON is een numeriek model, welke de voortplanting van golven beschrijft in ondiep water met variërende waterdiepte. CREON berekent de verandering in golfeigenschappen van golven ten gevolge van refractie en diffractie achter constructies en is ontwikkeld door Rijkswaterstaat. Het model is gebaseerd op de theorie van Radder (ref. 21).

De volgende processen worden door het model beschreven:

- golfvoortplanting van langkammige mono-chromatische golven door geografische ruimte;
- refractie ten gevolge van bodem- en stroomvariatie;
- diffractie ten gevolge van de aanwezigheid van verticale constructies met een variabele transmissiecoëfficiënt;
- shoaling ten gevolge van bodem- en stroomvariatie.

De volgende effecten van golfgroei en dissipatie zijn in het model opgenomen:

- genereren van golfenergie door wind;
- dissipatie van golfenergie door het breken van golven in ondiepe zones;
- dissipatie van golfenergie door bodemwrijving en vegetatie;

In het model zijn twee aannamen gedaan:

1. Onregelmatige golven kunnen worden gesimuleerd door superpositie van monochromatische golven met verschillende voortplantingsrichtingen.
2. De gemiddelde periode T_M is gebruikt in plaats van de volledige discretizatie van het golfspectrum.

Het model beschrijft geen golfreflectie, waardoor de het model niet geschikt is voor havens met kademuren.

2. GOLFONDERZOEK: DIEPWATERGOLFKLIMAAT OMGEREKEND NAAR ONDIEPWATERGOLFKLIMAAT

Bij het ontwerpen van een constructie dient rekening te worden gehouden met de krachten welke voortkomen uit de omgeving. Bij een golfdempende constructie zijn de belangrijkste krachten afkomstig uit de golfbelasting. Het golfklimaat op locatie wordt bepaald door windgolven en deining. De windgolven en deining die het eiland St. Eustatius bereiken, worden door drie bronnen opgewekt:

- lokale wind; dit zijn de matige "Trade Winds", welke voornamelijk waaien uit oostelijke en noordoostelijke richting;
- stormen op de Atlantische oceaan;
- orkanen en zware stormen die het Caribisch gebied teisteren.

Omliggende eilanden, riffen en ondiepten (banken) beperken zowel de opwekking van windgolven en deining, als de doordringing van deining uit de omliggende oceanen. Hierdoor wijkt het lokale golfklimaat op diepwater nabij St. Eustatius af van het algemene waargenomen golfklimaat in het Caribisch gebied. Vanuit diepwater naderen de windgolven en deining de ondiepten, waardoor de golfkarakteristieken veranderen. Refractie, diffractie, shoaling en breking van de golven zijn de voornaamste processen die hierop invloed hebben.

In 1988 heeft het Waterloopkundig Laboratorium, in opdracht van Ingenieursbureau Witteveen + Bos, golfonderzoek gedaan ten behoeve van het ontwerp van de huidige stortstenen golfbreker. Het doel van dit onderzoek was het vaststellen van kansen van voorkomen en overschrijdingskansen van significante golfhogten op een locatie waar de waterdiepte ca. 7 m bedraagt (ref. 7). Het rapport geeft geen informatie over kansen van voorkomen van golfperioden en golfvoortplantingsrichtingen op deze locatie.

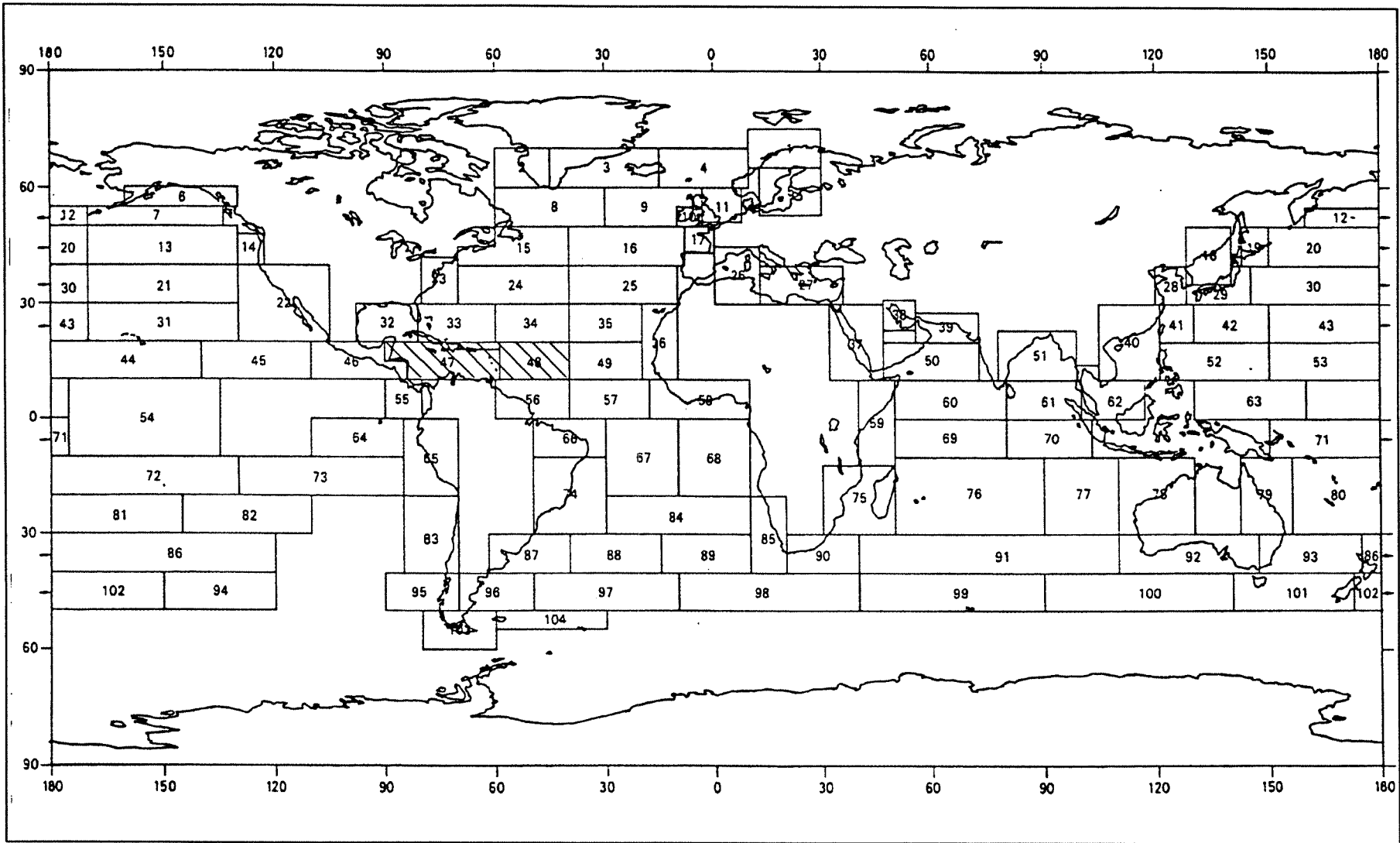
De transmissiecoëfficiënt van een doorlatende golfbreker is afhankelijk van de golfperiode, zodat voor het ontwerp van de golfdempende constructie informatie over de kansen van voorkomen van verschillende golfperiode belangrijk is. Voor de ligging van de golfdempende constructie is informatie over golfvoortplantingsrichtingen belangrijk. Voor het verkrijgen van deze informatie is met behulp van het computermodel SWAN golfonderzoek uitgevoerd. Indien gebruik is gemaakt van de resultaten van het WL, is daar in de tekst duidelijk naar verwezen.

2.1 Ontstaan van windgolven en deining

Het golfklimaat in het Caribisch gebied wordt voornamelijk opgewekt door de zogenaamde "Trade Winds", welke gedurende meer dan 80 % van de tijd waaien vanuit oostelijke en noordoostelijke richting. De "Trade Winds" zijn voornamelijk zwak tot matig (beneden ca. 10 m/s) met enkele uitschieters tot ca. 25 m/s. Wind, komende uit het gebied vanuit het zuidoosten, het zuiden, het westen, tot aan het noordwesten, komt minder dan 5% van de tijd voor en is over het algemeen zwakker dan de "Trade Winds". De golfparameters zijn voornamelijk afhankelijk van de strijklengte van de wind over het wateroppervlak (fetch), de waterdiepte, windsnelheid en de duur van een windveld.

Doordat de wind voornamelijk uit oostelijke en noordoostelijke richtingen komt, is de voortplantings-richting van de golven voornamelijk in westelijke en zuidwestelijke richtingen. Door de ligging van de haven in de Oranjebaai aan de zuid-westkust van eiland, biedt het eiland een natuurlijke bescherming tegen deze golven.

• Figur 2.1, Waarnemingsgebieden Global Wave Statistics.



Deining, welke wordt opgewekt door zware depressies in de Noord Atlantische oceaan of in de Caribische zee, kan het gebied rond St. Eustatius binnendringen door sectoren (windows) tussen de eilanden al of niet verstoord door aanwezige ondiepten/banken/riffen rondom het eiland.

Extreme golfcondities kunnen lokaal worden opgewekt door zware stormen en orkanen, welke regelmatig het gebied teisteren. Informatie over het golfklimaat op een locatie wordt in het algemeen verkregen van weer- en oceanografische instituten, welke wind- en golfdata verzamelen van bepaalde gebieden, die beschikbaar zijn voor golfonderzoek. De beschikbare golfdata in samenhang met de invloeden van de aanwezige eilanden, riffen en banken bepalen het diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius.

2.2 Diepwatergolfdata

Informatie over diepwatergolfgegevens in het Caribisch gebied is onder andere bijgehouden en gearchiveerd door "The British Meteorological Office (BMO)" in Bracknell, "Ocean Wave Statistics (OWS)" en "Global Wave Statistics (GWS)". De golfdata zijn afkomstig van scheepswaarnemingen in de betreffende gebieden (area's). De informatie van "Ocean Wave Statistics" zijn gepubliceerd in 1967 en het vervolg "Global Wave Statistics" is gepubliceerd in 1986. Voor het golfonderzoek in deze studie, om het ondiepwatergolfklimaat voor de haven van St. Eustatius te berekenen, is gebruik gemaakt van de golfdata van area 47 en area 48 afkomstig van de Global Wave Statistics (ref. 22).

Het eiland ligt ongeveer op de scheidingsgrens van de bovengenoemde area's. Voor de golven komende uit een gebied van 0° - 90° - 180° is gebruik gemaakt van de data van area 48 en voor de golven komende uit een gebied van 180° - 270° - 360° is gebruik gemaakt van de data van area 47. In figuur 2.1 is een overzicht gegeven in welke gebieden in de wereld golfdata is verzameld en gearchiveerd. De golfdata van area 47 en 48 zijn afkomstig uit een groot waarnemingsgebied rondom St. Eustatius, waarin de specifieke ligging van het eiland tussen de andere eilanden, ondiepten en riffen niet is meegenomen. Het betreft dus alleen informatie over het algemene diepwatergolfklimaat in de betreffende area's. De invloed van de ligging van het eiland tussen de andere eilanden, ondiepten en riffen op de doordringing van deining en golven zal in de volgende paragrafen worden besproken.

De golfdata per area is onderverdeeld in 8 hoofdrichtingen (0° - 45° - 90° - 135° - 180° - 225° - 270° en 315°), die allemaal 45° ($\Delta\theta = 45^{\circ}$) van de windroos beslaan. De hoofdrichting 90° beslaat bijvoorbeeld een gebied op de windroos van 67.5° ($90 - 22.5$) tot 112.5° ($90 + 22.5$). Per hoofdrichting is aangegeven in hoeveel procent van de tijd de waarnemingen van de voortplantingsrichting van de golven uit dit gebied komen. Het totaal van de percentages van de acht sectoren per area komt op 100%.

Voor golven komende uit het noorden (0°), noordwesten (315°), westen (270°), zuidwesten (225°) en zuiden (180°) is gebruik gemaakt van golfdata afkomstig van area 47 en voor golven komende uit het noordoosten (45°), oosten (90°) en zuidoosten (135°) is gebruik gemaakt van golfdata afkomstig van area 48 (figuur 2.1). Doordat de percentages van deze acht hoofdrichtingen opgeteld groter zijn dan 100%, moeten de percentages per hoofdrichting worden gereduceerd met een constante factor, om het totaal van de percentages op 100% te brengen.

Opmerking:

In dit rapport is een fout gemaakt en zijn alleen de percentages van drie sectoren uit area 48 vermenigvuldigd met een factor 0.95 om het totaal aan waarnemingen van alle acht sectoren van het samengestelde diepwatergolfklimaat op 100% te brengen.

De samengestelde diepwatergolfdata, die zijn verkregen in de bovengenoemde area's 47 en 48, zijn gepresenteerd in de Bijlage I "Overzicht diepwatergolfklimaat Global Wave Statistics", waarin is uitgezet de kans van voorkomen van de significante golfhoogte (H_s) tegen de "zero-crossing" golfperiode (T_z) per hoofdrichting. De "zero-crossing" golfperiode is de tijd gemeten tussen de opeenvolgende nuldoorgangen van het wateroppervlak met het gemiddelde. In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de overschrijdingskansen van significante golfhoogten op diepwater.

Overschrijdingskans (%) van significante golfhoogten op diepwater	
H_s (m)	Alle richtingen
8	0
7	0.002
6	0.62
5	3.722
4	13.825
3	53.756
2	83.872
1	98.171

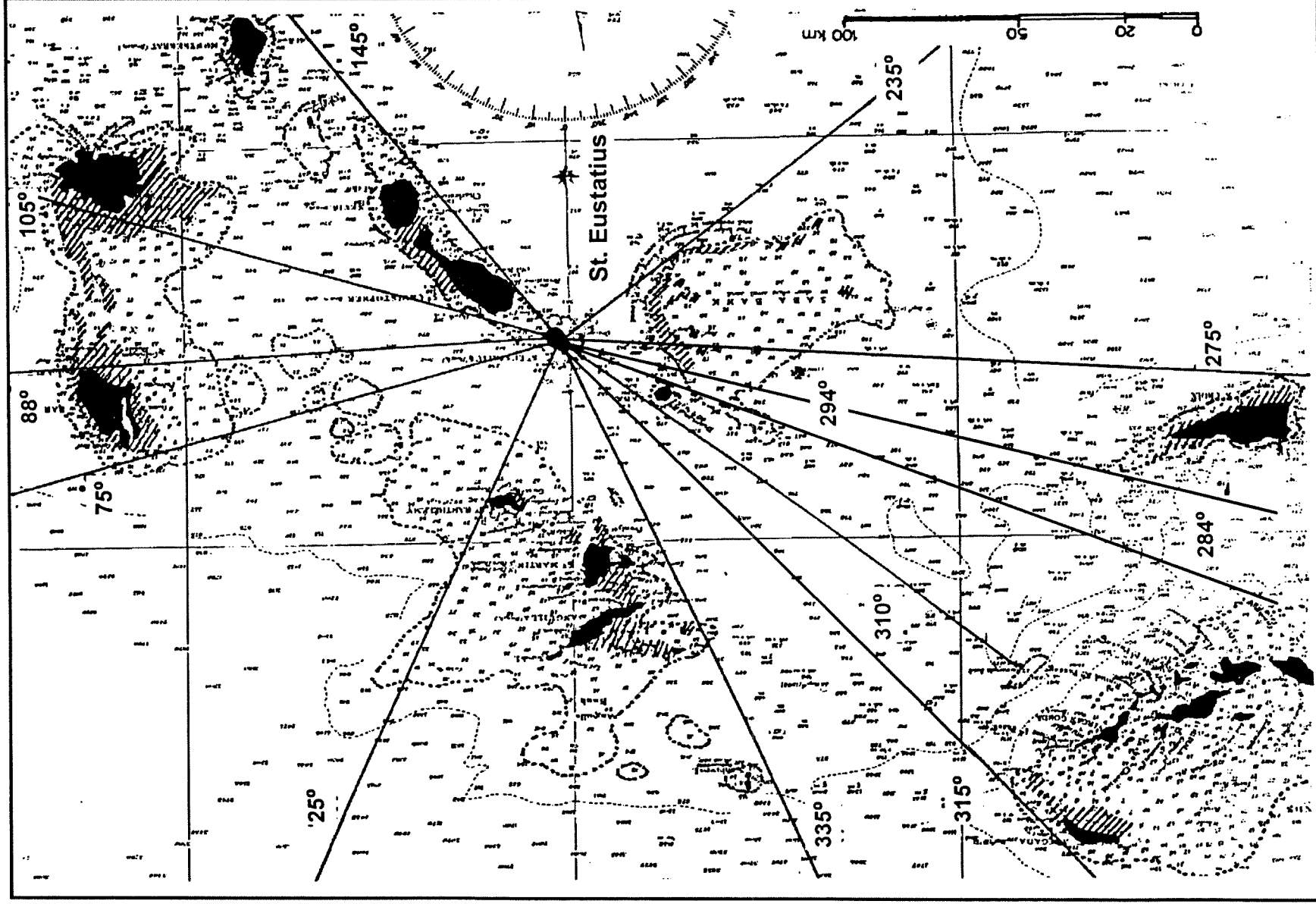
• Tabel 2.1, Overzicht samengesteld diepwatergolfklimaat area 47 en 48.

Voor de waargenomen golfdata geldt dat extreme golfhoogte minder frequent worden waargenomen dan er werkelijk optreden. Dit is te wijten aan het feit dat schepen, welke een bijdrage leveren aan het waarnemen van onder andere golfhoogten en golfperiodes, de orkanen liever ontwijken en hun route verleggen. Tevens wordt het waarnemen van extreme golfhoogten bemoeilijkt door de toenemende scheepsrespons bij toenemende golfhoogte en golfperiode. Hierdoor geven de golfdata een goed beeld van de optredende golfhoogten gedurende normale weersomstandigheden en rustige weersomstandigheden en een vertekend beeld van de golfhoogten tijdens extreme stormen en orkanen. Voor het berekenen van de ontwerp-golfhoogte tijdens extreme omstandigheden wordt verwezen naar deel 1, paragraaf 3.2.2.

2.3 Onderverdeling in sectoren m.b.t. de voortplanting van golven en deining naar St. Eustatius

De ontwikkeling van golven, wanneer de diepte geen rol speelt, wordt bepaald door de strijklengte van de wind over het wateroppervlak, de windkracht en de duur van het windveld. Ondiepe riffen en banken kunnen de voortplanting van golven beïnvloeden afhankelijk van de golfparameters, de waterdiepte en de lengte van de ondiepte in de richting van de golfvoortplanting. Door de omliggende eilanden en riffen/banken rondom St. Eustatius wordt de voortplanting en ontwikkeling van golven in de voortplantingsrichting naar het eiland beperkt.

De voortplanting van windgolven en deining naar St. Eustatius is onder te verdelen in twee aspecten, namelijk 1) de voortplanting van golven over diepwater tussen de omliggende eilanden door, waarbij deze eilanden een beschermende functie hebben en 2) de voortplanting van golven over de omliggende ondiepten en riffen, waardoor de golfkarakteristieken veranderen.



• *Figuur 5.2, Gebied rondom St. Eustatius onderverdeeld in sectoren*

Het gebied rondom St. Eustatius is hierdoor onder te verdelen in verschillende sectoren (vensters, windows), waar het water een bepaald karakter heeft met betrekking tot de voortplanting van golven. Wanneer ondiepten invloed hebben op de voortplanting van golven, hangt af van de golfkarakteristieken (H, L en T) en de waterdiepte (h). Een schematisch onderverdeling van het gebied in sectoren wordt gegeven in figuur 2.2. Hierbij geven de getallen de graden aan van de grenzen van de betreffende sectoren.

In tabel 2.2 op de volgende bladzijde is een overzicht gegeven van de verschillende sectoren rondom St. Eustatius. Hierin is aan gegeven in hoeverre de golfvoortplanting naar het eiland wordt beperkt, wat de oorzaak van de beperking is en welke sector het betreft ten opzichte van het eiland.

Overzicht verschillende sectoren met betrekking tot de golfvoortplanting naar het eiland St. Eustatius			
Sector	Mate van beïnvloeding	Eiland(en) en/of ondiepte(n)	Beperkt doordringing van
25°-75°	Gedeeltelijk transparante sector	Ondiepte (h = 35 m) tussen St. Barthelemy en Barbuda	Deining
75°-88°	Volledig ondoordringbare sector	Eiland Barbuda	Windgolven Deining
88°-105°	Gedeeltelijk transparante sector	Ondiepte (h = 10 m) tussen Barbuda en Antiqua	Windgolven Deining
105°-145°	Volledig ondoordringbare sector	Eilanden Antiqua en St. Christopher	Windgolven Deining
145°-235°	Voortplanting van windgolven en deining wordt niet belemmerd	Komende uit het zuiden, de Caribische Zee	-
235°-294°	Gedeeltelijk transparante sector	Ondiepte Saba Bank (h = 14 m)	Windgolven Deining
275°-284°	Volledig ondoordringbare sector	Eiland St. Croix	Windgolven Deining
294°-310°	Volledig ondoordringbare sector	Eiland Saba	Windgolven Deining
294°-315°	Volledig ondoordringbare sector	Eilanden Puerto Rico en The Virgin Islands	Windgolven Deining
315°-335°	Voortplanting van windgolven en deining wordt niet belemmerd	Komende uit het noordwesten, de Atlantische Oceaan	-
335°-25°	Volledig ondoordringbare sector	Eilanden Anguilla, St. Maarten en St. Barthelemy.	Windgolven Deining

• Tabel 2.2, Overzicht verschillende vensters met betrekking tot de golfvoortplanting

2.4 Diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius

Door de ligging van het eiland St. Eustatius te midden van de eilanden en riffen/banken wordt de voortplanting van golven in de richting van het eiland beïnvloed, waardoor het diepwatergolfklimaat rondom het eiland afwijkt van het algemene diepwatergolfklimaat volgens de Global Wave Statistics. Hierdoor zijn de kansen van voorkomen van de oorspronkelijke golfstatistieken (H_S en T_Z) volgens de GWS gereduceerd, waarbij de mate van reductie in de verschillende sectoren afhankelijk is van de ligging van het eiland ten opzichte van de ligging van de omliggende eilanden, ondiepten en riffen.

Rondomliggende eilanden beperken:

1. De ontwikkeling van windgolven

Doordat de strijklengte van de wind (ca. 10 m/s met enkele uitschieters tot max. ca. 25 m/s) over het wateroppervlak in bepaalde richtingen beperkt is, kunnen windgolven in de ondergenoemde vensters zich maximaal ontwikkelen tot de in tabel 2.3 aangegeven significante golfhoogten in de aangegeven tijdsduur. Deze waarden zijn afgeleid uit de figuur 2.3 van Groen en Dorrestein (ref. 23) voor de ontwikkeling van windgolven voor een gegeven strijklengte en windsnelheid. Voor de strijklengte is de afstand van het betreffende eiland in de sector tot aan het eiland St. Eustatius genomen. Voor de windsnelheid is 25 m/s aangehouden. In de tabel is de ontwikkeling van golven tijdens orkaanomstandigheden buiten beschouwing gelaten

Overzicht maximale golfhoogte voor de verschillende sectoren voor gegeven strijklengte en windsnelheid van 25 m/s			
Sector	Strijklengte	H _{S,MAX}	Tijdsduur
75° - 88°	110 km	6 m	6 uur
105° - 145°	13 km	2.5 m	1.3 uur
275° - 284°	180 km	7.5 m	9 uur
294° - 310°	20 km	3 m	1.8 uur
335° - 25°	40 km	3.5 m	3 uur

- *Tabel 2.3, Overzicht maximale golfhoogte voor de verschillende sectoren, bron: Groen & Dorrestein (1976)*

De tabellen met kansen van voorkomen op diepwater per hoofdrichting zijn opgebouwd uit golfhoogten van 0 tot 1 m, 1 tot 2 m, 2 tot 3 m, enz. en golfperiodes van < 4 s, 4 tot 6 s, 6 tot 8 s, enz. Voor de bovengenoemde sectoren kunnen geen golven voorkomen die groter zijn dan de berekende golfhoogten in de tabel. Om de tabellen met golfdata aan te passen aan de situatie rondom St. Eustatius, zijn per hoofdrichting de kansen van voorkomen van golven hoger dan de in tabel 2.3 gegeven maximale significante golfhoogte, opgeteld bij de kansen van de golven met deze maximale significante golfhoogte in de betreffende hoofdrichtingen.

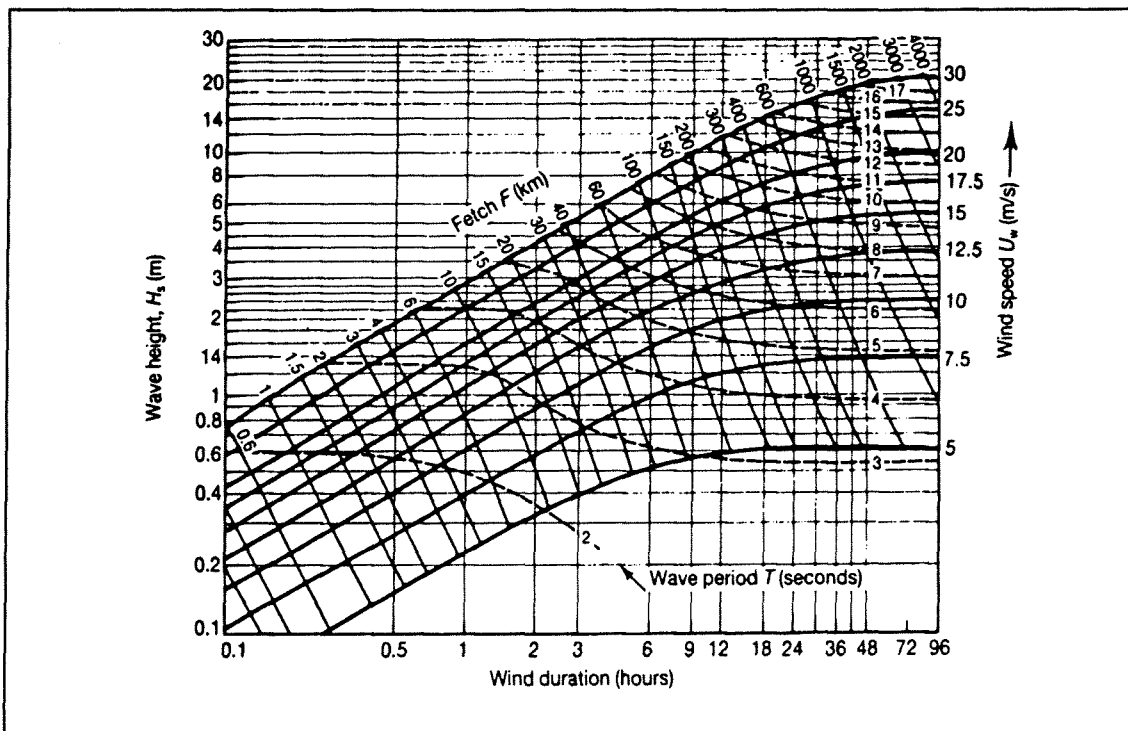
Bij het optellen van percentages is rekening gehouden met de verhouding tussen de breedte van de sector ten opzichte van de breedte van de hoofdrichting. Indien de sector de hele hoofdrichting beslaat ($\Delta\theta_S \geq \Delta\theta_{HR}$), zijn de combinaties van golven in de tabellen met een grotere golfhoogte dan de maximale golfhoogte voor de betreffende sector op 0 gesteld. Hierdoor blijven de kansen van voorkomen per hoofdrichting gelijk.

Indien de sector niet de hele hoofdrichting beslaat, zijn de kansen van voorkomen van golven groter dan de berekende maximale golfhoogte voor een gedeelte opgeteld bij de kansen van de maximale golfhoogte, waarbij rekening is gehouden met de verhouding tussen de breedte van de sector en de breedte van de hoofdrichting ($\Delta\theta_S < \Delta\theta_{HR}$).

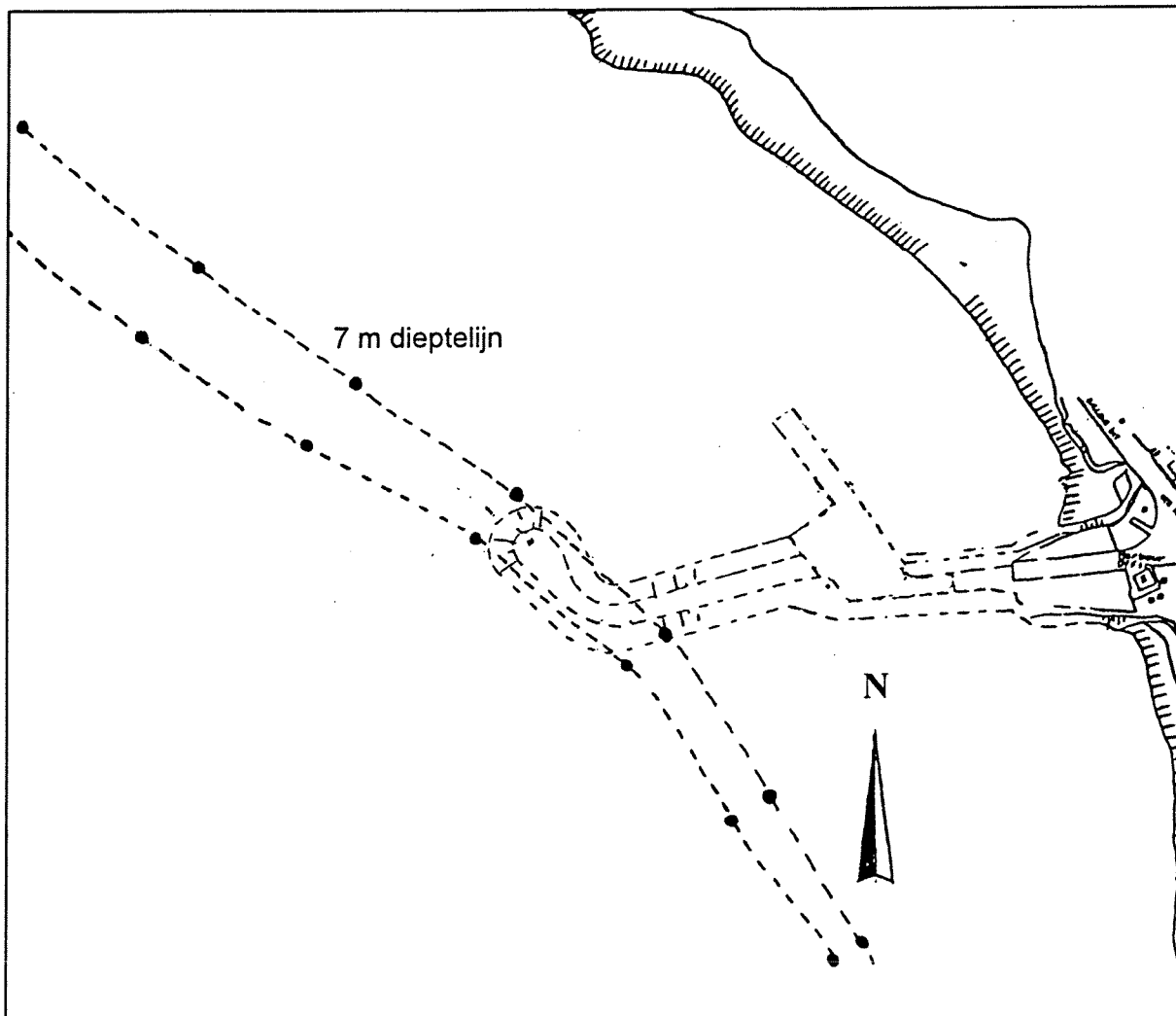
2. De doordringing van windgolven en deining komende van de oceaan

Het effect van ondiepe banken en riffen op de voortplanting en ontwikkeling van windgolven is klein, zolang de waterdiepte groter is dan een kwart van de golflengte in diepwater. Dit betekent dat het effect van de ondiepten ($h = 35 \text{ m} - 55 \text{ m}$) in het venster 25° - 75° alleen merkbaar is bij golven met een periode groter dan ca. 10 s. De Saba Bank ($d = 14 \text{ m}$) in het venster 310° - 335° beïnvloedt golven met een periode groter dan 5 s.

De voortplanting van golven over de Saba Bank is door het Waterloopkundig Laboratorium berekend met het programma ENDEC (ref. 24) om een indicatie te krijgen van de golfhoogtereductie op de golven komende uit westelijke richtingen. De resultaten zijn gepresenteerd in tabel 2.4 en laten zien dat de reductie van golfhoogte toeneemt met toenemende golfperiode. Hierin is H_{S0} de golfhoogte voor de bank en H_S de golfhoogte achter de bank.



• *Figuur 2.3, Golfvoorspelling afhankelijk van strijklengte en windsnelheid, bron: Groen & Dorrestein 1976.*



• *Figuur 2.4, 7 m dieptelijn, waar SWAN-uitvoer is opgevraagd.*

Golfhoogtereductie (H_s / H_{s0}) Saba Bank, waterdiepte ca. 14 m				
H_{s0} (m)	T_z			
	5	8	12	16
1	1.00	0.98	0.95	0.93
2	0.99	0.93	0.88	0.83
4	0.97	0.82	0.69	0.62
8	-	0.60	0.35	0.20

• *Tabel 2.4, Golfhoogtereductie over de Saba Bank.*

Voor golven met een hoogte groter dan 4 m en een periode van 8 seconde wordt de golfhoogte door de ondiepte ca. 20 % gereduceerd. Door deze golfhoogtereductie zijn de kansen van voorkomen van golven groter dan 4 m en een periode van 8 s opgeteld bij de kansen van voorkomen van een golfhoogte van 3 tot 4 m, waarbij de kansen van voorkomen voor golven met een hoogte groter dan 4 m en een periode van 8 s op 0 gesteld.

Bij de overige hoofdrichtingen waar de golfdoordringing wordt beperkt door ondiepten, zijn geen veranderingen doorgevoerd in de kansen van voorkomen vanwege de te kleine golfhoogtereductie voor de golfhoogten.

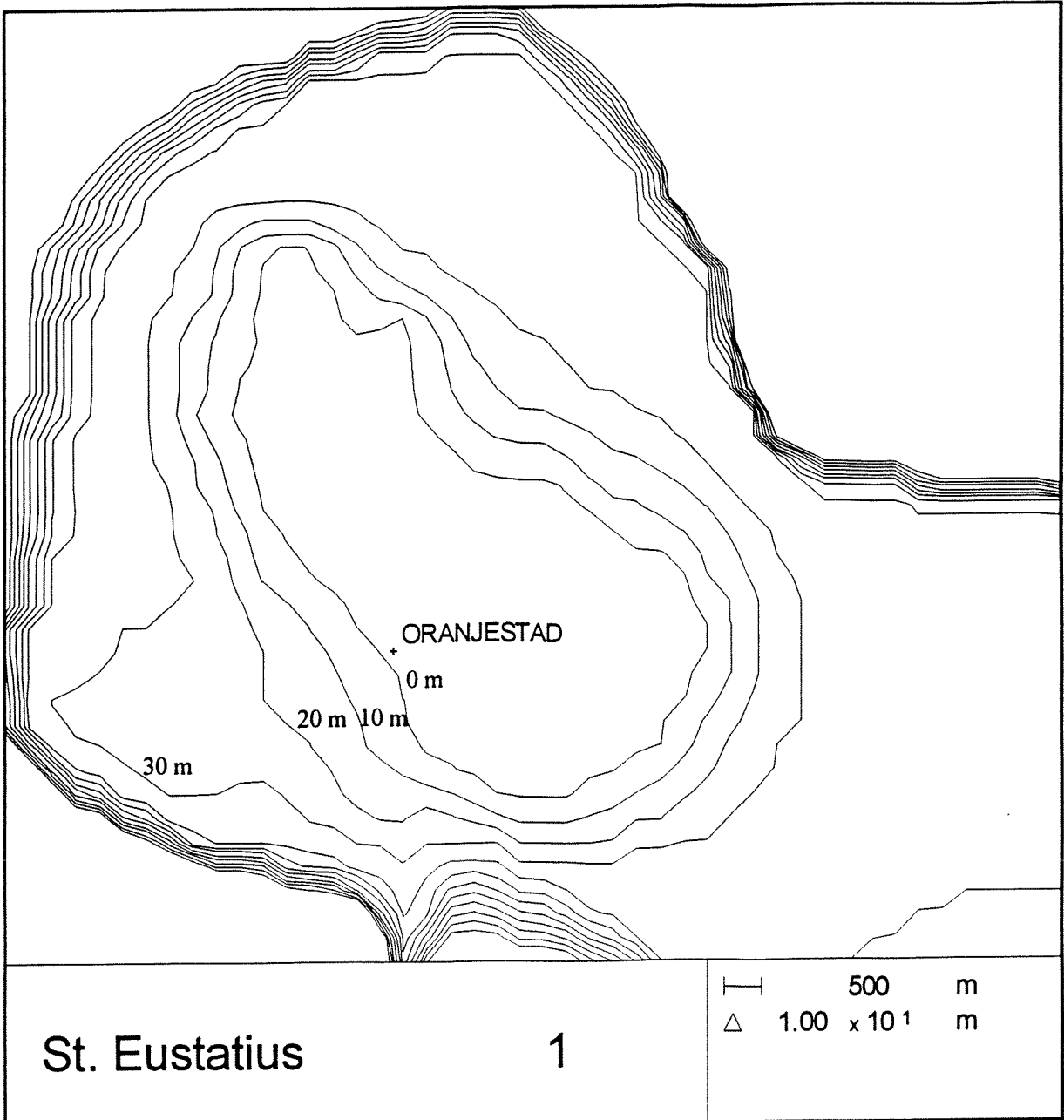
Het aangepast diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius, waarbij de golfhoogten zijn gereduceerd volgens bovenbeschreven principe, is gepresenteerd in Bijlage II "Overzicht diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius", waarbij per hoofdrichting is aangegeven in welke mate de diepwatergolfdata zijn aangepast ten opzichte van het algemene diepwatergolfklimaat.

Naar aanleiding van het opstellen van het diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius kan het volgende worden geconcludeerd:

- *De kans van voorkomen voor golven uit de hoofdrichtingen 45° - 90° - 135° is ca. 89%. Door de ligging van de Oranjebaai op het eiland St. Eustatius biedt het eiland een natuurlijke bescherming tegen golven met een korte golfperiode uit deze richtingen. Golven met een langere golfperiode kunnen door refractie de Oranjebaai haven bereiken, maar zullen waarschijnlijk wel in hoogte gereduceerd worden.*
- *De kans van voorkomen van golven groter dan 4 m voor alle hoofdrichtingen bedraagt 3.581%. De kans van voorkomen van golven groter dan 4 m voor de hoofdrichtingen 45° - 90° - 135° bedraagt 3.548%. Hieruit wordt opgemaakt dat vrijwel alle golven groter dan 4 m uit deze hoofdrichtingen komen.*

Opmerking:

Bij het samenstellen van het diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius voor de hoofdrichting 270° is een fout gemaakt. De kansen van voorkomen van golven met een hoogte groter dan 4 m en een periode groter dan 8 seconde hadden moeten worden opgeteld bij de kans van voorkomen van golven met een hoogte van 3 tot 4 m met een periode groter dan 8 s. In het overzicht in de bijlage zijn de kansen van voorkomen van golven groter dan 3 m met een periode groter dan 4 seconde in hoofdrichting 270° opgeteld bij de kansen van voorkomen van golven met een hoogte tussen 2 m en 3 m. De kans van voorkomen van de golven waarvoor de fout is gemaakt, bedraagt 0.029%.



• *Figuur 2.5, Iso-dieptelijnen bodemgrid.*

2.5 Berekenen ondiepwatergolfklimaat Oranjebaaï haven met behulp van SWAN

Met de in paragraaf 2.4 beschreven invloeden op de doordringing van golven is een aangepast diepwatergolfklimaat samengesteld voor de wateren rondom het eiland St. Eustatius. In dit golfklimaat nabij St. Eustatius zijn de invloeden verwerkt van rondom liggende eilanden, ondiepten en riffen. Met behulp van het golfmodel SWAN, welke de voortplanting van golven vanuit diepwater naar ondiepwater simuleert, zijn de diepwatergolfgegevens nabij St. Eustatius omgerekend naar een ondiepwatergolfklimaat op locatie voor de huidige haven van St. Eustatius langs de dieptelijn, waar de waterdiepte 7.0 m bedraagt.

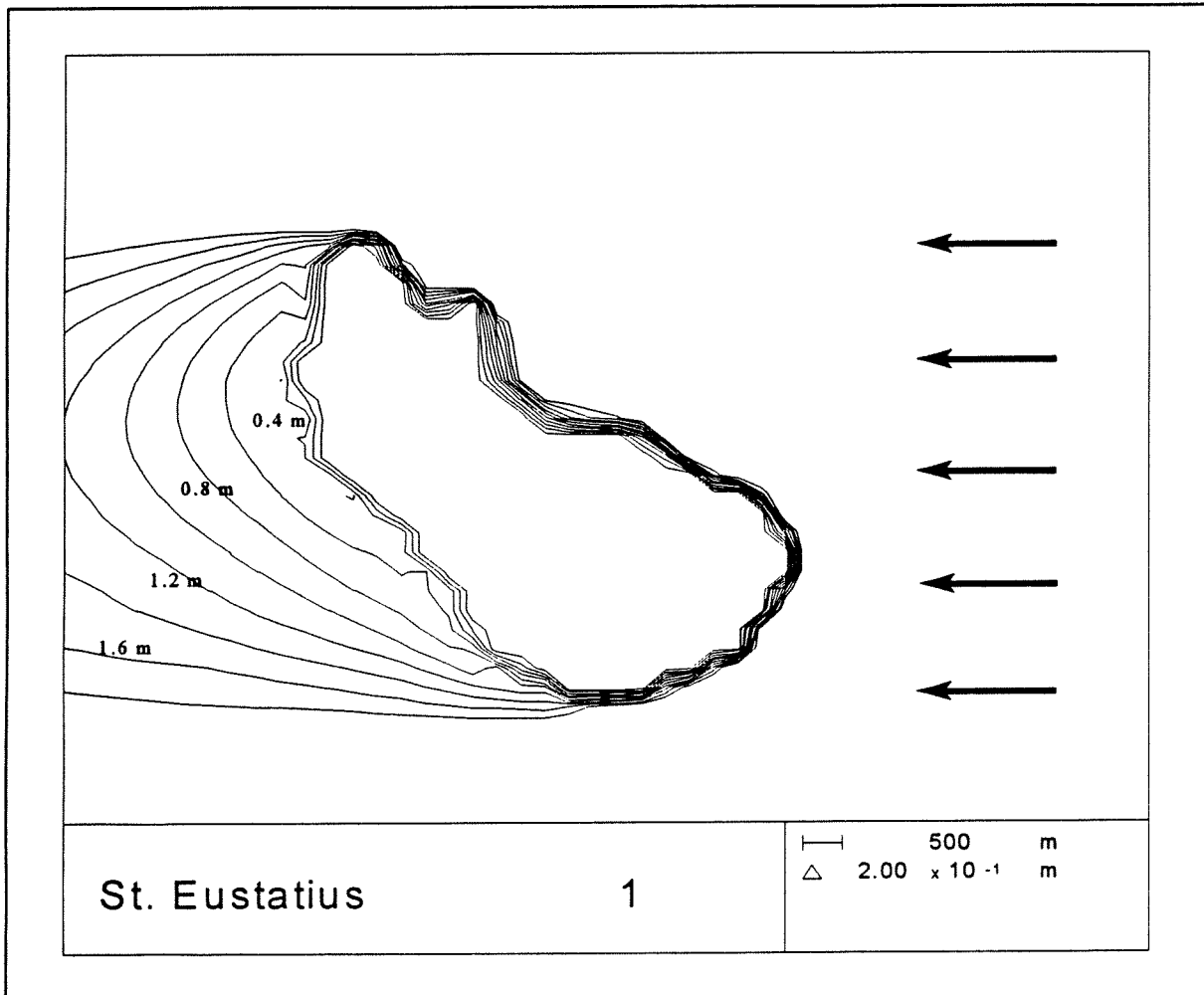
Per hoofdrichting zijn de verschillende combinaties van golfhoogte en -periode in het model ingevoerd, om per combinatie te berekenen wat de resulterende golfhoogte, -periode en -voortplantingsrichting wordt in 7 meetpunten langs de 7 m dieptelijn voor de haven (zie figuur 2.4). In de bijlage III "SWAN input-file" is een voorbeeld gegeven van een input-file, waarmee één berekening is uitgevoerd. Bij deze berekeningen zijn de invloeden van stroming en wind op de ontwikkeling van golven buiten beschouwing gelaten. De nauwkeurigheid van de berekeningen hangt ondermeer af van de grootte van het bodem- en rekengrid en hoe de randvoorwaarden aan het model worden opgelegd.

Het bodemgrid beslaat een oppervlakte van ca. 14 km bij 12.5 km rondom het eiland, waarbij op de randen de waterdiepte groter is dan ca. 100 m (figuur 2.5). Alleen in het zuidoostelijke gedeelte van het bodemgrid bedraagt de waterdiepte maximaal ca. 40 m, vanwege de ondiepte tussen het eiland St. Eustatius en St. Christopher. In de knooppunten van het bodemrooster is om de 125 m de waterdiepte vastgelegd. De waterdiepte tussen de gridpunten wordt door het model geïnterpoleerd.

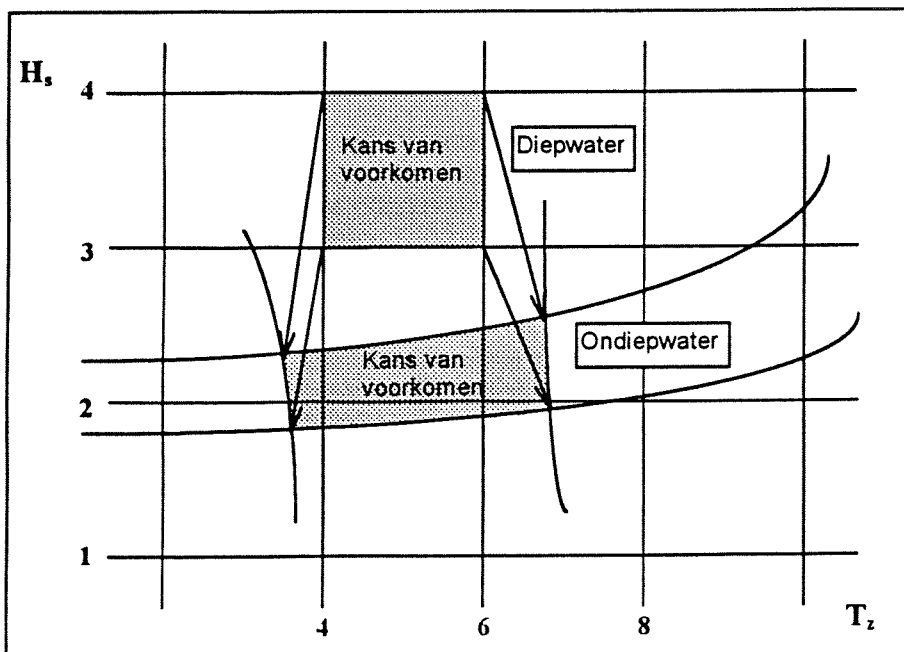
De fijnheid van het rekengrid bepaalt op welke knooppunten de numerieke berekeningen worden uitgevoerd. In het model dienen het aantal gridpunten in zowel de x-richting en y-richting, als de lengte van het rekengrid in de x- en de y-richting te worden ingevoerd, waarmee de afmetingen van Δx en Δy vaststaan. Tevens dient de rotatie van de x- en de y-as te worden ingevoerd. De nauwkeurigheid van de berekeningen hangt onder andere af van het aantal gridpunten en neemt toe naarmate het aantal gridpunten groter wordt, bij gelijk blijvende gridafmetingen.

Bij alle berekeningen is gebruik gemaakt van een rekengrid van 45 bij 40 punten en een rotatiehoek van 0° van de x- en y-as, wat resulteert in een Δx en Δy van ca. 300 m. Een aantal proefberekeningen zijn uitgevoerd met een rekengrid van 60 bij 55, waardoor de rekentijd meer dan twee keer zo groot werd en het verschil in berekende golfhoogte ca. 1 à 2 cm bedroeg. Alle berekeningen zijn vervolgens uitgevoerd met een rekengrid van 45 bij 40 punten.

De diepwatergolfparameters zijn uniform op twee of drie zijden van het rekengrid opgelegd, welke afhangt van de golfvoortplantingsrichting. Indien de golfvoortplantingsrichting haaks op het rekengrid staat, zijn de golfparameters opgelegd op de zijde waar de golven vandaan komen en langs de twee zijanten. Indien de golfvoortplantingsrichting onder een hoek van 45° staat ten opzichte van een zijde van het rekengrid, zijn de golfparameters opgelegd op de twee zijden, waar de golven vandaan komen. Per berekening is tevens een plot gemaakt van het eiland, met daarin aangegeven de isolijnen van de resulterende golfhoogte. Figuur 2.6 geeft als voorbeeld een plot van de resulterende golfhoogten bij een oorspronkelijke golfvoortplantingsrichting van 90° , een significante golfhoogte van 2 m op diepwater en een periode van 8 seconde.



• *Figuur 2.6, Resulterende iso-golhoogtelijnen voor $H_s = 2 \text{ m}$, $T = 8 \text{ s}$ en $\text{dir.} = 90^\circ$.*



• *Figuur 2.7, Verschuiving en vervorming kans X door voortplanting van de golven van diepwater naar ondiepwater*

2.5.1 Verwerking resultaten golfberekeningen

In een tabel met kansen van voorkomen van golfhoogte en golfperiode per hoofdrichting wordt een kans X ingesloten door vier combinaties van een golfhoogte en periode. Een kans X wordt bijvoorbeeld ingesloten door de combinaties $[H_s (4m), T_z (4s)] - [H_s (4m), T_z (6s)] - [H_s (3m), T_z (6s)] - [H_s (3m), T_z (4s)]$ per hoofdrichting op diepwater. Voor elke combinatie van golfhoogte en -periode per hoofdrichting is een berekening in SWAN uitgevoerd, waarbij de golfparameters zijn berekend vóór de haven en vóór de huidige golfbreker in 7 punten langs de 7 m dieptelijn (figuur 2.4). Elke berekening per hoofdrichting levert een nieuwe combinatie van golfhoogte, golfperiode en golfvoortplantingsrichting in ondiepwater.

In figuur 2.7 is aangegeven hoe de vier combinaties van golfhoogte en -periode op diepwater zijn verschoven voor de situatie op ondiepwater. Hierbij vervormd de oorspronkelijke vierhoek, waardoor kans X nu verdeeld is over meerdere vierhoeken op ondiepwater. Kans X is aan de hand van het vervormde oppervlak van kans X in de tabel over de verschillende vierhoeken verdeeld. Tevens komt het voor dat door de veranderende voortplantingseigenschappen van golven met een langere periode de combinatie van golfhoogten en perioden aan de linkerzijde van kans X in één hoofdrichting op ondiepwater vallen, terwijl de combinatie van de golfhoogten en perioden aan de rechterzijde in de naburige hoofdrichting op ondiepwater vallen. Door de kansen binnen alle vierhoeken op diepwater opnieuw te verdelen over de vierhoeken en hoofdrichtingen op ondiepwater, zijn de tabellen met kansen van voorkomen op ondiepwater samengesteld.

De berekeningen hebben uitgewezen dat de voortplantingsrichting van alle golven in ondiepwater vallen in 4 hoofdrichtingen. Dit zijn de hoofdrichtingen $180^\circ - 225^\circ - 270^\circ - 315^\circ$. De mate van verandering van golfvoortplantingsrichting hangt onder andere af van de golfperiode. Hierdoor is het mogelijk dat één golf met een kleine golfperiode en één golf met een lange periode uit dezelfde hoofdrichting op diepwater, terecht komen in twee verschillende hoofdrichtingen op ondiepwater. Aan de hand van de berekende voortplantingsrichtingen zijn de kansen van voorkomen verdeeld over 4 hoofdrichtingen op ondiepwater.

In de volgende paragraaf is een overzicht gegeven van het berekende ondiepwater-golfklimaat.

2.5.2 Het ondiepwatergolfklimaat voor de Oranjebaaï haven, significante golfhoogte

In tabellen 2.5 t/m 2.9 zijn de kansen van voorkomen van golfhoogte en -periode per hoofdrichting ($\Delta\theta = 45^\circ$) op ondiepwater gepresenteerd en is een totaaloverzicht gegeven van de 4 hoofdrichtingen op ondiepwater. Hieruit kan worden geconcludeerd dat in ca. 92% van de tijd de golven uit het zuiden (hoofdrichting 180°) en zuidwesten (hoofdrichting 225°) komen. In ca. 11% van de tijd zijn de golven hoger dan 1 m en in ca. 1,5% van de tijd zijn de golven hoger dan 1,5 m. De golven hebben in ca. 41% van de tijd een periode welke groter is dan 8 seconde.

Ondiepwatergolfdata voor de Oranjebaaï haven (diepte 7 m), hoofdrichting 180 graden									
Kans van voorkomen (in % van de tijd)									Totaal
H _s (m)	>3	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 tot 3	0	0	0.66	0.018	0.006	0	0	0.684
	1.5 tot 2	0	0.022	0.328	0.178	0.113	0	0	0.641
	1 tot 1.5	0.042	1.36	1.058	1.153	0.5	0	0	4.113
	0.5 tot 1	0.472	3.86	8.78	6.428	0.803	0	0	20.343
	0 tot 0.5	2.912	9.93	8.63	4.8	0.224	0	0	26.496
	Totaal	3.426	15.172	19.456	12.577	1.646	0	0	52.277
		<4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	
		T _z (s)							

• Tabel 2.5, Overzicht ondiepwatergolfklimaat hoofdrichting 180 graden.

Ondiepwatergolfdata voor de Oranjebaaï haven (diepte 7 m), hoofdrichting 225 graden									
Kans van voorkomen (in % van de tijd)									Totaal
H _s (m)	>3	0	0	0.005	0.001	0	0	0	0.006
	2 tot 3	0	0.037	0.04	0.002	0.075	0.188	0	0.342
	1.5 tot 2	0	0.18	0.051	0.002	0.482	0.364	0.019	1.098
	1 tot 1.5	0.049	0.553	0.095	0.002	1.791	0.83	0.019	3.339
	0.5 tot 1	0.198	0.366	0.019	0.001	3.914	1.244	0	5.742
	0 tot 0.5	0.526	0.55	11.16	14.41	3.02	0.053	0	29.719
Totaal		0.773	1.686	11.37	14.418	9.282	2.679	0.038	40.246
		<4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	
T _z (s)									

• Tabel 2.6, Overzicht ondiepwatergolfdklimaat hoofdrichting 225 graden.

Ondiepwatergolfdata voor de Oranjebaaï haven (diepte 7 m), hoofdrichting 270 graden									
Kans van voorkomen (in % van de tijd)									Totaal
H _s (m)	>3	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 tot 3	0	0.024	0.048	0.001	0.001	0	0	0.074
	1.5 tot 2	0	0.076	0.038	0.005	0.011	0	0	0.13
	1 tot 1.5	0.041	0.31	0.141	0.023	0.008	0	0	0.523
	0.5 tot 1	0.167	0.91	0.284	0.02	0.01	0	0	1.391
	0 tot 0.5	1.14	1.888	0.047	0.005	0.002	0	0	3.082
Totaal		1.384	3.208	0.558	0.054	0.032	0	0	5.2
		<4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	
T _z (s)									

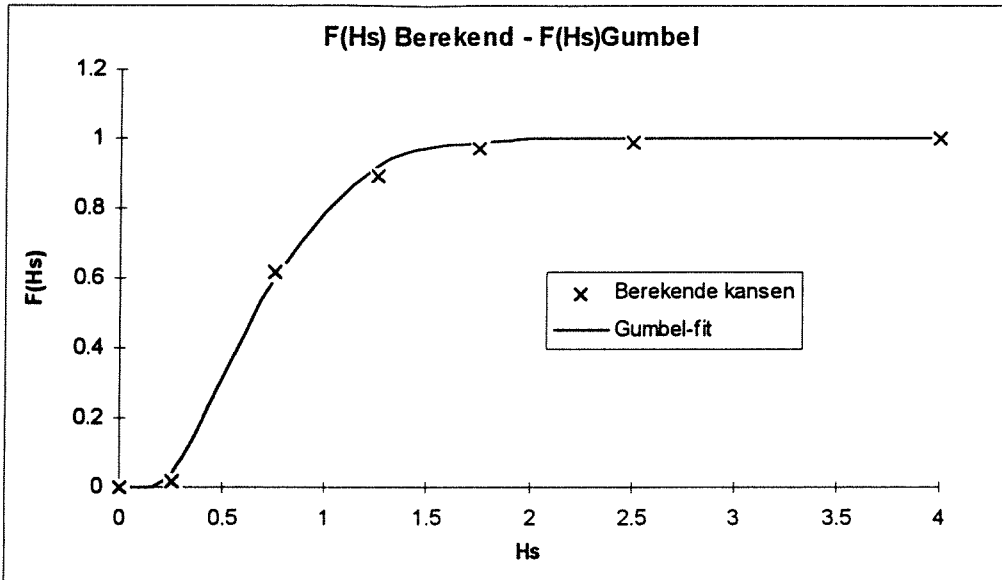
• Tabel 2.7, Overzicht ondiepwatergolfdklimaat hoofdrichting 270 graden.

Ondiepwatergolfdata voor de Oranjebaaï haven (diepte 7 m), hoofdrichting 315 graden									
Kans van voorkomen (in % van de tijd)									Totaal
H _s (m)	>3	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 tot 3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5 tot 2	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 tot 1.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5 tot 1	0.009	0	0	0	0	0	0	0.009
	0 tot 0.5	0.385	0	0	0	0	0	0	0.385
Totaal		0.394	0	0	0	0	0	0	0.394
		<4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	
T _z (s)									

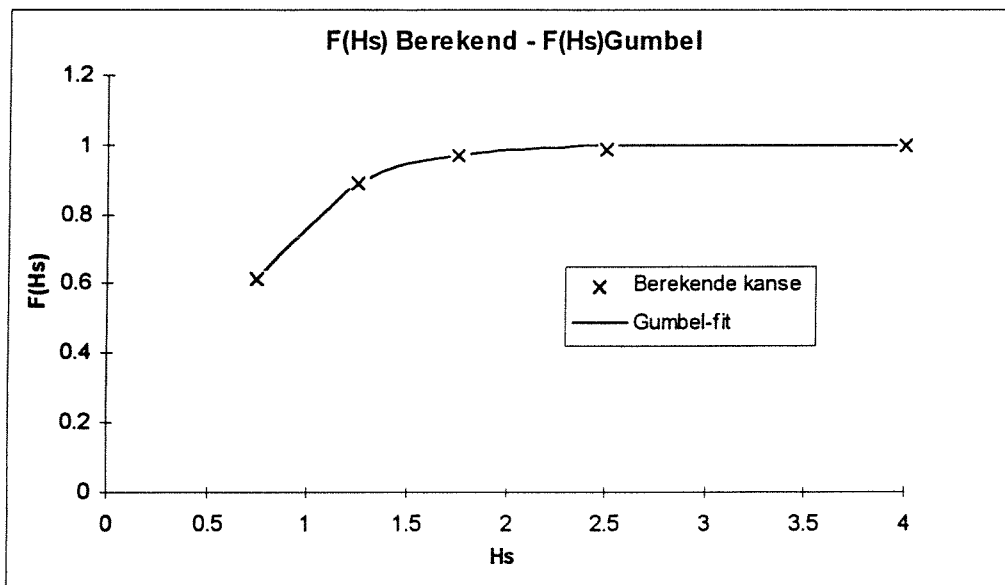
• Tabel 5.8, Overzicht ondiepwatergolfdklimaat hoofdrichting 315 graden.

Ondiepwatergolfdata voor de Oranjebaaï haven (diepte 7 m), alle richtingen									
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)									Totaal
H _s (m)	>3	0	0	0.005	0.001	0	0	0	0.006
	2 tot 3	0	0.061	0.748	0.021	0.082	0.188	0	1.1
	1.5 tot 2	0	0.278	0.417	0.185	0.606	0.364	0.019	1.869
	1 tot 1.5	0.132	2.223	1.294	1.178	2.299	0.83	0.019	7.975
	0.5 tot 1	0.846	5.136	9.083	6.449	4.727	1.244	0	27.485
	0 tot 0.5	4.963	12.368	19.837	19.215	3.246	0.053	0	59.682
Totaal		5.941	20.066	31.384	27.049	10.96	2.679	0.038	98.117
		<4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	
T _z (s)									

• Tabel 2.9, Overzicht ondiepwatergolfdklimaat, totaaloverzicht



• *Figuur 2.8, Gumbel-kansverdeling gefit met kansen van ondiepwatergolfklimaat*



• *Figuur 2.9, Gumbel-kansverdeling gefit met kansen van ondiepwatergolfklimaat, $H_s > 0.75$ m.*

2.5.3 Het golfklimaat voor de Oranjesbaai haven, individuele golfhoogte

De golfdempende constructie wordt gedimensioneerd op een individuele golfhoogte, waarbij de grootte afhangt van het ontwerp. Het berekende ondiepwatergolfklimaat (deel 2, paragraaf 2.5.2) geeft kansen van voorkomen van significante golfhoogten met een bepaalde golfperiode T_z .

Uit de berekende kansen van voorkomen op ondiepwater is de lange-termijn kansverdeling van significante golfhoogten $\{F_{H_s}(H_s)\}$ afgeleid, welke wordt beschreven met een Gumbel-kansverdeling. De algemene vorm van de Gumbel-verdelingsfunctie luidt als volgt:

$$F_{H_s}(H_s) = e^{-e^{-\frac{H_s - A}{B}}} \quad (2.a)$$

waarin:

H_s = significante golfhoogte (m)

A en B = constanten

Om A en B te bepalen is de "kleinste kwadraten methode" toegepast. Indien alle kansen van overschrijden worden gebruikt voor het bepalen van de parameters A en B, wijkt de Gumbel-kansverdelingsfunctie af van de overschrijdingskansen voor de golven groter dan 0.75 m (zie figuur 2.8). Daar de ontwerpgolfhoogten voor het normale golfklimaat groter zijn dan 0.75 m, zijn A en B bepaald voor de overschrijdingskansen van golven ≥ 0.75 m. Hierdoor benaderd de Gumbel-verdeling de berekende overschrijdingskansen van significante golfhoogten beter, maar is verdelingsfunctie minder betrouwbaar voor golven < 0.75 m. In figuur 2.9 zijn de overschrijdingskansen en de Gumbel-kansverdeling gepresenteerd voor een waarde van A van 0.494 en B van 0.353 voor H_s is groter dan 0.75 m.

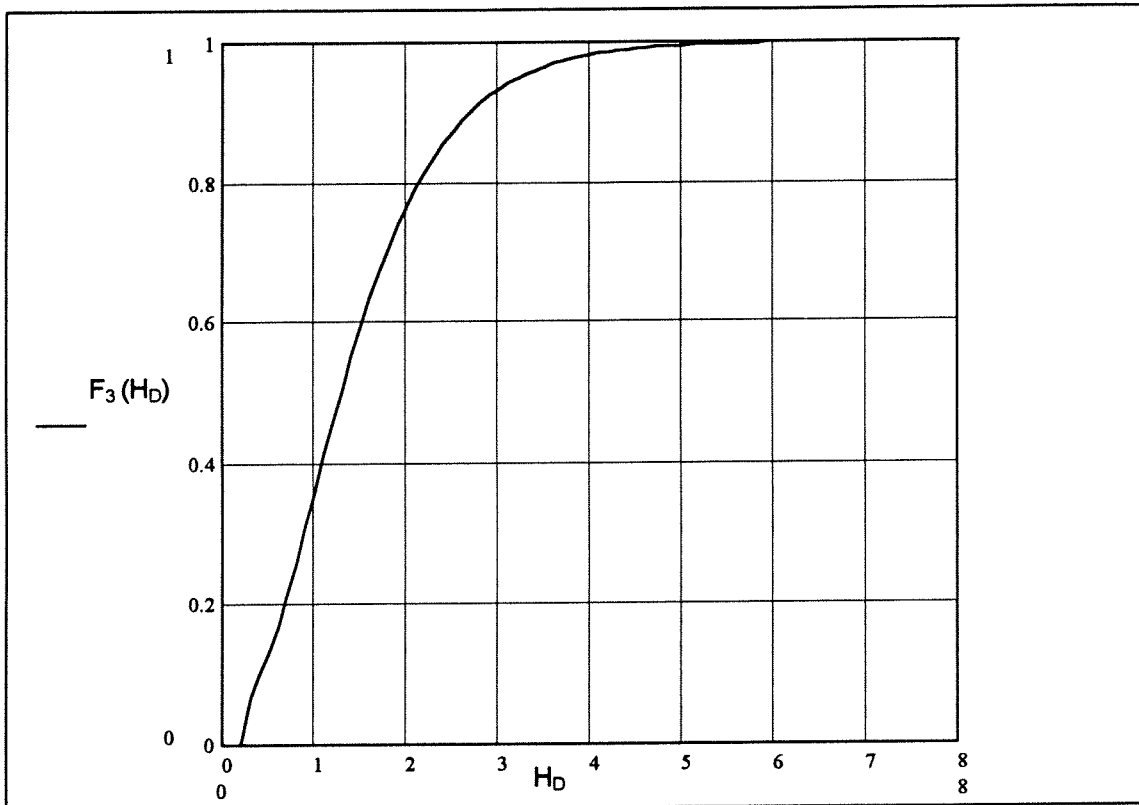
De korte-termijn verdeling $\{F_1(H_d)\}$ van een individuele golfhoogte (H_d) voor een gegeven significante golfhoogte (H_s) voor een (aangenomen stationaire) zeeconditie of storm kan worden beschreven met de Rayleigh-verdeling, welke onderstaand is gegeven. De Rayleigh-verdeling beschrijft de kans dat de golfhoogte kleiner is dan de individuele ontwerpgolfhoogte (H_d) voor een gegeven significante golfhoogte (H_s).

$$F_1(H_d) = 1 - e^{-2 \left(\frac{H_d}{H_s} \right)^2} \quad (2.b)$$

waarin:

H_d = individuele golfhoogte (m)

H_s = significante golfhoogte (m)



• *Figuur 2.10, Lange-termijn verdeling individuele golfhoogte.*

De extreme-waarde verdeling $\{F_{2,N}(H_d)\}$ beschrijft de kans dat alle golven tijdens een stationair aangenomen zeeconditie kleiner of gelijk zijn dan de individuele golfhoogte H_d voor een gegeven H_s . Het aantal golven in deze zeeconditie wordt weergegeven door N . Voor het berekenen van deze extreme-waarde verdeling is uitgegaan van N is 3000, wat neerkomt op een stationaire zeeconditie (storm) van ca. 8 uur voor een golfperiode van 10 seconde. De extreme-waarde verdeling luidt als volgt:

$$F_{2,N}(H_d) = \left\{ 1 - e^{\left(-2 \left(\frac{H_d}{H_s} \right)^2 \right)} \right\}^N \quad (2.c)$$

waarin:

H_d = individuele golfhoogte
 H_s = significante golfhoogte (m)
 N = aantal golven (#)

De lange-termijn verdeling $\{F_3(H_d)\}$ voor de individuele golfhoogte wordt verkregen door de kans dat alle golfhoogten kleiner of gelijk zijn aan de individuele ontwerpgolfhoogte (H_d) tijdens dezelfde zeeconditie voor een gegeven significante golfhoogte (H_s) te vermenigvuldigen met de kans dat deze zeeconditie voorkomt (weergegeven door lange-termijn verdeling van de significante golfhoogte H_s). Deze kans dient te gelden voor alle H_s , zodat het product van bovenbeschreven kans geïntegreerd moet worden van 0 tot ∞ .

Deze lange-termijn verdeling $\{F_3(H_d)\}$ wordt als volgt beschreven:

$$F_3(H_d) = \int_0^{\infty} F_{2,N}(H_d) \cdot f_{H_s}(H_s) dH_s \quad (2.d)$$

Deze verdelingsfunctie (figuur 2.10) van de individuele golfhoogte is met behulp van een rekenprogramma (Mathcad) berekend voor een waarde van N is 3000. In de bijlage IV is de opbouw van de sheet gepresenteerd.

Tijdens het functioneren van de golfdempende constructie mag de golfhoogte in de haven maximaal 0.3 m bedragen voor een golf met een Return Period van 1 jaar (zie deel 1, paragraaf 3.2.2). De gewenste transmissiecoëfficiënt wordt bepaald door een golfhoogte aan de zeezijde met een Return Period van 1 jaar te reduceren tot deze maximale golfhoogte.

De overschrijdingskans $\{P(\underline{H} < H_d)\}$ van een golfhoogte met een Return Period van 1 jaar is berekend met de volgende verdeling:

$$P(\underline{H} < H_d) = 1 - (1 - e^{-f}) \quad (2.e)$$

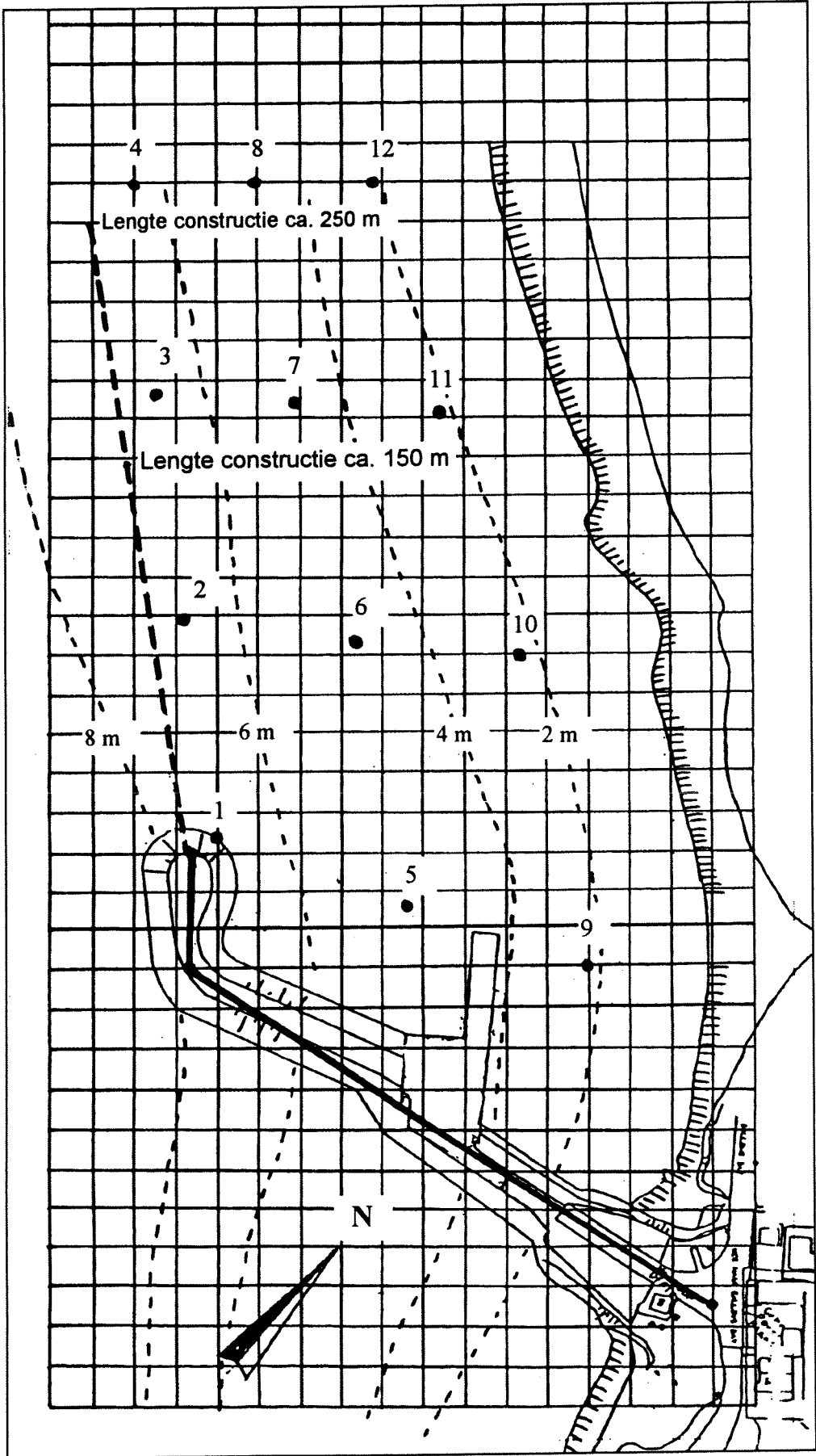
waarin:

f = jaarlijkse frequentie $\{= 1 \text{ jaar} / \text{RP (jaren)}\}$

Met behulp van deze overschrijdingskans en figuur 2.10 voor de lange-termijn verdeling $\{F_3(H_d)\}$ voor de individuele golfhoogte is de ontwerp golfhoogte voor de transmissiecoëfficiënt van de golfdempende constructie bepaald voor een golf met een Return Period van 1 jaar. Deze golfhoogte bedraagt 1.1 m

Opmerking:

De bovenbeschreven verdeling $\{P(\underline{H} < H_d)\}$ is geldig voor een Poisson-verdeling en niet voor de bovenbeschreven lange-termijn verdeling $\{F_3(H_d)\}$ voor de individuele golfhoogte. Hierdoor wijkt de werkelijke individuele golfhoogte van de golf met een Return Period van 1 jaar af van de berekende waarde van 1.1 m. Gezien de aard van het onderzoek en de fase waarin deze fout is opgemerkt, is met de waarde van 1.1 m de benodigde transmissiecoëfficiënt van de constructie berekend.



• *Figuur 3.1, Meetpunten 1 t/m 12.*

3. INVLOED GOLFDEMPENDE CONSTRUCTIE OP HET GOLFKLIAMAAT IN DE ORANJEBAAI HAVEN

Bij het aanleggen of uitbreiden van een haven in een kustzone is het noodzakelijk en van belang om de invloed van de aan te leggen constructie op het lokale golfklimaat na te gaan, voordat deze daadwerkelijk wordt gebouwd. Hierdoor krijgt men inzicht op de invloed van de constructie op het golfklimaat en op de processen die de golfeigenschappen beïnvloeden (refractie en diffractie) bij doordringing in de haven. Daar specifiek schaalmodelonderzoek vaak te kostbaar en alleen voor deze situatie te gebruiken is, zijn er computermodellen ontwikkeld die de golfdoordringing achter constructies en havenbekkens kunnen simuleren. Voor de havenuitbreiding op St. Eustatius is de invloed van de verlenging van de huidige golfbreker op het lokale golfklimaat berekend met het computermodel CREON.

3.1 Opzet golfvoortplantingsberekeningen in CREON

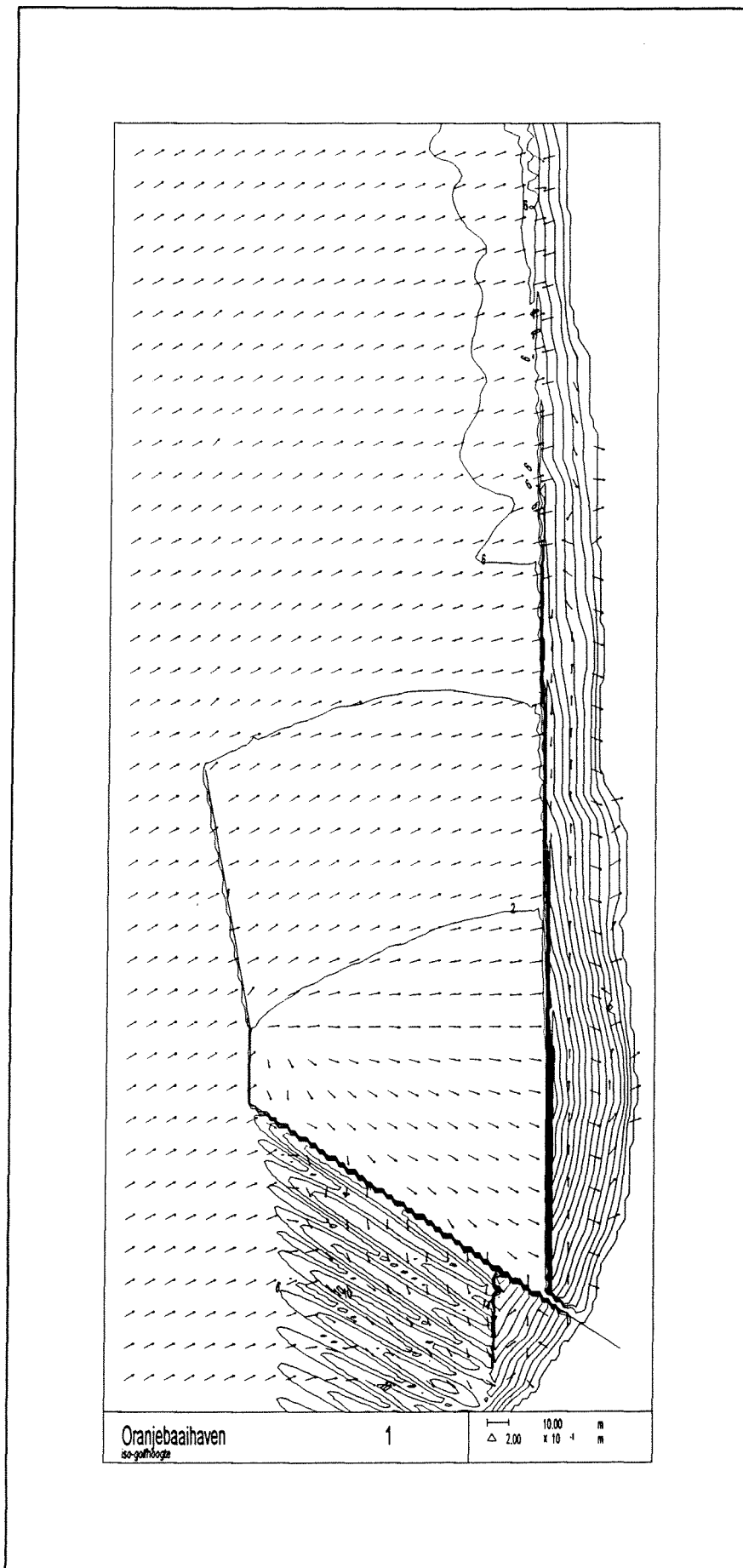
Om de invloed van de golfdempende constructie op het golfklimaat in de haven van St. Eustatius vast te stellen, is als eerste de golfdoordringing met de bestaande stortstenen golfbreker bepaald, de 0-situatie. De invloed van twee ontwerp-parameters (de lengte en de transmissiecoëfficiënt van de constructie) van de golfdempende constructie zijn vergeleken ten opzichte van deze situatie.

De bodemligging van het havengebied van 255 m bij 750 m (zie figuur 3.1) is in een bodemgrid van 15 m bij 15 m vastgelegd. De waterdiepte ten zuidwesten van de kop van de huidige golfbreker bedraagt op de rand van het bodemgrid ca. 10 m en loopt op tot 0 m bij de oever. De bodemhelling in de haven bedraagt ongeveer 1:25. De stortstenen golfbreker is geschematiseerd als een verticaal scherm met een transmissiecoëfficiënt van 0 en bij de berekeningen is aangenomen dat de kust en golfbreker geen golven reflecteren.

Het havenbekken wordt gevormd door een enkele golfbreker. Hierdoor is er in noordwestelijke richting geen duidelijke afbakening van het havengebied. Voor golven komende uit het zuiden of het zuidwesten neemt de invloed van de golfbreker op het golfklimaat in de haven in noordwestelijke richting in ca. 92 % van de tijd (zie deel 2, paragraaf 2.5.2) af met de afstand. Vanwege de aard van deze studie is het niet noodzakelijk om een volledig golfklimaat in de haven te berekenen voor een aantal punten. De invloed van de transmissiecoëfficiënt van de golfdempende constructie dient vastgesteld te worden aan de hand van dit onderzoek. Voor een aantal specifieke plaatsen in de haven wordt de resulterende golfhoogte berekend om de invloed van de verschillende parameters van de golfdempende constructie na te gaan.

Er zijn berekeningen uitgevoerd, waarbij de huidige golfbreker is verlengd in noordwestelijke richting langs de dieptelijn, waar de waterdiepte ca. 7.0 m - 7.5 m bedraagt (zie figuur 3.1). Voor een constructielengte L_c van 150 m en 250 m van de golfdempende constructie zijn met 4 verschillende transmissiecoëfficiënten (0, 0.25, 0.5 en 0.75) golfberekeningen gemaakt. Voor een raster van 12 (4 bij 3) vastliggende meetpunten (zie figuur 3.1) in de haven is uitvoer opgevraagd over o.a. golfhoogte, golfperiode en golfvoortplantingsrichting.

De fijnheid van het rekengrid bepaalt op welke knooppunten de numerieke berekeningen worden uitgevoerd. In het model dienen het aantal gridpunten in zowel de x-richting en y-richting, als de lengte van het rekengrid in x- en in y-richting te worden ingevoerd, waarmee de Δx en Δy van het rekengrid vaststaan. De nauwkeurigheid van de berekeningen hangt onder andere af van de stapgrootte en neemt toe naarmate de Δx en Δy kleiner worden.



• *Figuur 3.2, Resulterende golfhoogte Oranjebaai haven.*

Bij alle berekeningen is gebruik gemaakt van een rekengrid van 136 bij 200 punten ter grootte van het bodemgrid, wat resulteert in een Δx van ca. 2 m en Δy van ca. 5.5 m. De golfparameters zijn in de vorm van een golfhoogte, -periode en -voortplantingsrichting in het model ingevoerd. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een situatie zonder wind en stroming. In bijlage V "CREON input-file" is een voorbeeld gegeven van de invoer.

Aangenomen is dat de golfhoogte in de haven mag maximaal 0.3 m mag bedragen voor een golf met een Return Period van 1 jaar. Deze aanname is gebaseerd op onderzoek van de Small Craft Harbour Branch (zie deel 1, paragraaf 3.2.2). Hierdoor dient een golf met een Return Period van 1 jaar aan de zeezijde van de constructie te worden gereduceerd tot minimaal 0.3 m. Deze golfhoogte bedraagt 1.1 m (zie deel 1, paragraaf 3.3.1). De ontwerp golfperiode bedraagt 10 seconde (zie deel 1, paragraaf 3.3.1). De golven komen voor ca. 92% uit hoofdrichting 180° en 225° . Hierdoor zijn voor deze richtingen berekeningen uitgevoerd om de transmissiecoëfficiënt van de constructie te bepalen.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een golfhoogte van 1.1 m, een periode van 10 s en voor een transmissiecoëfficiënt van 1.0, 0.75, 0.5, 0.25 en 0 van de golfdempende constructie voor een lengte L_e van 150 m en 250 m. Vanwege de lineariteit van het model kan de vereiste transmissiecoëfficiënt hieruit worden afgeleid. Per berekening is tevens een plot gemaakt van het havengebied, waarin aangegeven de isolijnen van de resulterende golfhoogte. Figuur 3.2 geeft voorbeeld een plot van de resulterende golfhoogten bij een oorspronkelijke golfvoortplantingsrichting van 225° .

Door het vergelijken van de resultaten van de verschillende berekeningen met wisselende constructie-parameters met de resultaten van de berekeningen van de 0-situatie, is inzicht verkregen in de constructieparameters die het golfklimaat in de haven van St. Eustatius voldoende beïnvloeden. Door het koppelen van het gewenste golfklimaat (zie deel 1, paragraaf 3.2.2) aan de berekende golfhoogten in de haven met CREON, kunnen de ontwerp-parameters voor de golfdempende constructie worden bepaald.

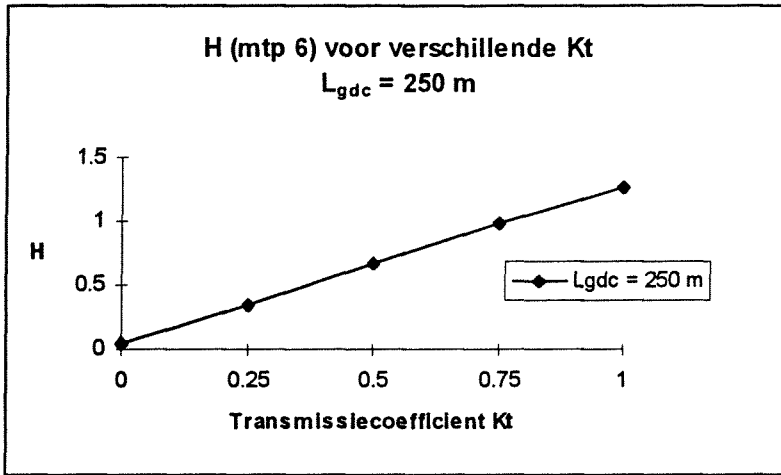
Na het bepalen van de vereiste transmissiecoëfficiënt, zijn voor deze waarde nieuwe berekeningen gemaakt om de invloed van refractie en diffractie aan te geven. Uit deze berekeningen valt af te leiden in welk gedeelte van de haven de golfhoogte kleiner is dan 0.3 m en voldoet aan het gewenste havenklimaat.

3.1.1 Verwerking golfberekeningen in CREON

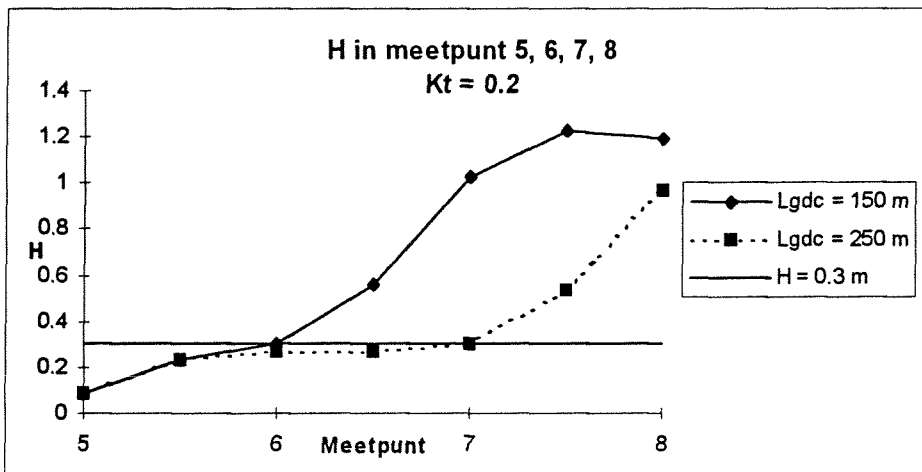
Voor de meetpunten 1 t/m 12 (zie figuur 3.1) zijn de berekende golfhoogten in de haven in een tabel gepresenteerd in Bijlage VI. In deze tabel zijn voor de verschillende eigenschappen van de golfdempende constructie de resulterende golfhoogten gepresenteerd voor de hoofdrichtingen 180° en 225° . Bij het vaststellen van een toelaatbare golfklimaat in plezierjachthavens worden in het algemeen alleen beperkingen opgelegd ten opzichte van golfhoogten en is er in de literatuur (nog) geen gedetailleerde informatie beschikbaar over de toelaatbaarheid van golfperiodes in plezierjachthavens afhankelijk van de jachtlengte.

In figuur 3.3 is voor meetpunt 6 de resulterende golfhoogte uitgezet tegen de transmissiecoëfficiënt van de golfdempende constructie met een lengte L_e van 250 m en een golfhoogte aan de zeezijde van de constructie van 1.1 m, een golfperiode van 10 s en een golfvoortplantingsrichting van 225° .

Uit deze grafiek is de vereiste transmissiecoëfficiënt afgeleid en is vastgesteld op 0.2. Na het berekenen door CREON van de golfhoogten voor een K_T van 0.2, is in figuur 3.4 voor de meetpunten 5, 6, 7 en 8 de golfhoogte uitgezet voor een golfdempende constructie met een lengte L_e van 150 m en 250 m, een golfhoogte van 1.1 m, een golfperiode van 10 s en een golfvoortplantingsrichting van 225° . Voor de tussenliggende punten tussen de meetpunten 5, 6, 7 en 8 is ook een berekening uitgevoerd, waarvan de resultaten in de grafiek zijn verwerkt. Uit de grafiek kan de invloed van de lengte van de constructie op de resulterende golfhoogte in de haven worden vastgesteld.



• *Figuur 3.3, Resulterende golfhoogte meetpunt 6 afhankelijk van de transmissiecoëfficiënt van de golfdempende constructie.*



• *Figuur 3.4, Resulterende golfhoogte in de meetpunten 5, 6, 7 en 8.*

Het model gaf een verstoring aan voor meetpunt 9 (zie figuur 3.2), waardoor de resultaten voor dit meetpunt niet betrouwbaar zijn. Naar aanleiding van de resultaten voor dit meetpunt zijn geen conclusies getrokken. De verstoring in het model heeft de berekeningen voor de andere meetpunten niet beïnvloed.

3.2 Conclusie transmissiecoëfficiënt en lengte van de golfdempende constructie Oranjebaaï haven

Met betrekking tot de transmissiecoëfficiënt en de lengte van de golfdempende constructie wordt het volgende geconcludeerd:

- *Uit figuur 3.3 is afgeleid dat een transmissiecoëfficiënt van ca. 0.2 van de golfdempende constructie, leidt tot golfhoogten achter de constructie van maximaal ca. 0.3 m. De afmetingen en eigenschappen van de constructie zullen aan de hand van deze transmissiecoëfficiënt worden bepaald.*
- *Bij het bepalen van de lengte van de golfdempende constructie dient rekening te worden gehouden met de invloed van diffractie op de golfhoogten achter de kop van de constructie. Bij een transmissiecoëfficiënt van 0.2 wordt bij een lengte van de golfdempende constructie L_e van 150 m tot meetpunt 6 een rustige zone verkregen waar de golfhoogte kleiner is dan 0.3 m. Bij een transmissiecoëfficiënt van 0.2 wordt bij een lengte van de golfdempende constructie L_e van 250 m tot meetpunt 7 een rustige zone verkregen waar de golfhoogte kleiner is dan 0.3 m. Het optimaliseren van de lengte van de golfdempende constructie valt buiten het doel van deze haalbaarheidsstudie.*

LITERATUURLIJST:

1. Civil Engineering Caribbean, Willemstad, Curaçao. Haven St. Eustatius, Grondonderzoek Gallowsbay, Supervisor's report. 1988.
2. Meteorological Service of the Netherlands Antilles and Aruba. Hurricanes and Tropical Storms of the Netherlands Antilles and Aruba. 1994.
3. Northwest Hydraulic Consultants Ltd. Vancouver. Study to determine acceptable wave climate in small craft harbours. Small Craft Harbours Branch, Fisheries and Oceans Canada. 1980.
4. J.M.J. Journée. SEAWAY, Strip-Theory of Motions and Loads of Ships, Barges, Catamarans and Semi-Submersibles at Infinite and Restricted Waterdepths, release 4.14. Delft University of Technology, Ship Hydromechanics Laboratory. 1996.
5. R.C. Nelson. Depth limited wave heights in very flat regions. Coastal engineering 23, pp. 43 - 59. 1994.
6. Oceanroutes, Inc. Marine Weather Science Division. Hurricane Hindcast for St. Eustatius Island, Caribbean Sea, no. S2947. 1987.
7. Delft Hydraulics Laboratory. Wave conditions Oranjestad breakwater St. Eustatius, Wave climate study, report H777. 1988.
8. R.L. Mott. Applied Fluid Mechanics, sec. edition.
9. Truitt and Horbich. Transmission of random waves through pile breakwaters. Coastal Engineering. 1986.
10. Hayashi et al. Closely Spaced Pile Breakwater as Protection Structure against Beach Erosion. Coastal Engineering in Japan, Vol. 11. 1968.
11. R.L. Wiegel. Transmission of waves Past a Rigid Vertical Thin Barrier. J. of the Waterways and Harbour Division, ASCE, Vol. 86, pp 1-12. 1960.
12. Jamieson. An efficient and cost effective wave absorber for marinas. National Research Council of Canada.
13. Gardner and Townend. The Design of a Slotted Vertical Screen Breakwater. Sir William Halcrow & Partners Ltd., Coastal Engineering, pp. 1881-1893. 1986.
14. J.H. Carr. Mobile Breakwaters. Proceedings of the Second Conference on Coastal Engineering, Houston, pp. 281-294. 1951.
15. Harms and Volker. Design Criteria for Floating Tire Breakwater. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Vol. 107, pp. 29-44. 1981.
16. Ofuya. On floating breakwaters. Queens University at Kingston, Ontario, department of Civil Engineering. 1968.
17. Bouwmeester and Van den Breggen. Floating Breakwaters, literature review. Delft University of Technology, department of Civil Engineering, Hydraulic and Offshore Engineering section. 1984.
18. G.P. Blumberg and R.J. Cox. Floating Breakwater Physical Model Testing for Marina Applications. PIANC-AIPCN Bulletin, no. 63, pp. 5 -13. 1988.

19. I.W. Nortier. Toegepaste vloeistofmechanica, Hydraulica voor Waterbouwkundigen, zesde druk. 1989.
20. R.C. Ris. Spectral modelling of wind waves in coastal areas, proefschrift, faculteit Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft. 1997.
21. A.C. Radder. On the parabolic equation method for water-wave propagation. J. Fluid Mech. 95(1), pp.159-176. 1979.
22. British Maritime Technology Limited. Global Wave Statistics. 1986.
23. Groen en Dorrestein. Zeegolven. 1976.
24. Stive en Dingemans. Calibration and verification of a one-dimensional model for wave energy decay, Delft Hydraulics Report H533. 1984.
25. Proceedings of floating breakwaters conference. 1974.
26. Proceedings of second conference of floating breakwaters. 1981.
27. CERC, Coastal Engineering Research Centre. Shore Protection Manual. 1984
28. CUR/RWS, Centre for Civil Engineering Research and Codes, Directorate-General for Public Works and Watermanagement, Road and Hydraulic Engineering Division. Manual on the use of Rock, CUR report 169. 1995

BIJLAGE I

“Overzicht diepwatergolfklimaat Global Wave Statistics”

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 47, hoofdrichting 0 graden (337,5-22,5)													
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0.004	0.004	0.004	0	0	0	0	0	0	0.012
	4 tot 5	0	0.004	0.02	0.02	0.01	0.004	0	0	0	0	0	0.058
	3 tot 4	0.004	0.03	0.06	0.06	0.03	0.01	0.004	0	0	0	0	0.198
	2 tot 3	0.01	0.1	0.2	0.2	0.08	0.02	0.002	0	0	0	0	0.612
	1 tot 2	0.08	0.4	0.6	0.3	0.1	0.02	0.004	0	0	0	0	1.504
	0 tot 1	0.3	0.5	0.4	0.1	0.02	0.004	0	0	0	0	0	1.324
	Totaal	0.394	1.034	1.284	0.684	0.244	0.058	0.01	0	0	0	0	3.708
		<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13	
		Tz (s)											

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 48 (*0,95), hoofdrichting 45 graden (22,5-67,5)													
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0.038	0.067	0.067	0.038	0.038	0	0	0	0.248
	4 tot 5	0	0	0.038	0.19	0.38	0.38	0.19	0.095	0.038	0	0	1.311
	3 tot 4	0	0.038	0.19	0.86	1.33	1.05	0.57	0.19	0.067	0.038	0	4.333
	2 tot 3	0	0.095	1.23	3.04	3.23	2	0.76	0.19	0.067	0	0	10.612
	1 tot 2	0.038	0.67	3.23	4.66	3.14	1.24	0.38	0.067	0.038	0	0	13.463
	0 tot 1	0.095	0.76	1.23	0.86	0.29	0.067	0	0	0	0	0	3.302
	Totaal	0.133	1.563	5.918	9.648	8.437	4.804	1.938	0.58	0.21	0.038	0	33.269
		<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13	
		Tz (s)											

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 48 (*0,95), hoofdrichting 90 graden (67,5-112,5)													
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0.048	0.095	0.095	0.048	0.048	0	0	0	0.334
	4 tot 5	0	0	0.048	0.29	0.48	0.38	0.29	0.095	0.048	0	0	1.631
	3 tot 4	0	0.048	0.38	1.33	0.86	1.43	0.67	0.29	0.095	0	0	5.103
	2 tot 3	0	0.29	2.09	4.75	4.75	2.66	1.05	0.29	0.095	0	0	15.975
	1 tot 2	0.048	1.24	5.13	6.94	4.28	1.62	0.48	0.095	0	0	0	19.833
	0 tot 1	0.19	1.14	1.71	1.05	0.29	0.048	0	0	0	0	0	4.428
	Totaal	0.238	2.718	9.358	14.408	10.755	6.233	2.538	0.818	0.238	0	0	47.304
		<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13	
		Tz (s)											

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 48 (*0,95), hoofdrichting 135 graden (112,5-157,5)													
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0.008	0.008	0	0	0	0	0	0	0.016
	4 tot 5	0	0	0.019	0.019	0.019	0.008	0.008	0	0	0	0	0.073
	3 tot 4	0	0.019	0.076	0.095	0.086	0.038	0.019	0.008	0	0	0	0.341
	2 tot 3	0.008	0.95	0.38	0.48	0.29	0.095	0.029	0.008	0	0	0	2.24
	1 tot 2	0.086	0.67	1.33	0.95	0.38	0.095	0.019	0.008	0	0	0	3.538
	0 tot 1	0.29	0.76	0.76	0.29	0.076	0.019	0	0	0	0	0	2.195
	Totaal	0.384	2.399	2.565	1.842	0.859	0.255	0.075	0.024	0	0	0	8.403
		<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13	
		Tz (s)											

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 47, hoofdrichting 180 graden (157,5-202,5)

Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0.004
	4 tot 5	0	0.002	0.004	0.004	0.002	0	0	0	0	0	0	0.012
	3 tot 4	0.002	0.01	0.02	0.01	0.004	0.002	0	0	0	0	0	0.048
	2 tot 3	0.01	0.06	0.07	0.04	0.01	0.002	0	0	0	0	0	0.192
	1 tot 2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.02	0.004	0	0	0	0	0	0.724
	0 tot 1	0.4	0.5	0.2	0.06	0.01	0.002	0	0	0	0	0	1.172
Totaal	0.512	0.872	0.496	0.216	0.046	0.01	0	0	0	0	0	2.152	
	<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13		
	Tz (s)												

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 47, hoofdrichting 225 graden (202,5-247,5)

Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
	4 tot 5	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.003
	3 tot 4	0.001	0.004	0.01	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0.019
	2 tot 3	0.008	0.03	0.03	0.01	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0.082
	1 tot 2	0.06	0.1	0.09	0.03	0.01	0.001	0	0	0	0	0	0.291
	0 tot 1	0.3	0.2	0.09	0.02	0.003	0	0	0	0	0	0	0.613
Totaal	0.369	0.335	0.222	0.064	0.017	0.002	0	0	0	0	0	1.009	
	<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13		
	Tz (s)												

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 47, hoofdrichting 270 graden (247,5-292,5)													
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4 tot 5	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.003
	3 tot 4	0.001	0.01	0.01	0.004	0.001	0	0	0	0	0	0	0.026
	2 tot 3	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.001	0	0	0	0	0	0.101
	1 tot 2	0.1	0.1	0.1	0.04	0.01	0.002	0	0	0	0	0	0.352
	0 tot 1	0.2	0.2	0.1	0.02	0.004	0.001	0	0	0	0	0	0.525
	Totaal	0.311	0.341	0.241	0.085	0.025	0.004	0	0	0	0	0	1.007
	<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13		
	Tz (s)												

Diepwatergolfdata Global Wave Statistics, Area 47, hoofdrichting 315 graden (292,5-337,5)													
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)													Totaal
Hs (m)	7 tot 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6 tot 7	0	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.002
	5 tot 6	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0.003
	4 tot 5	0	0.003	0.004	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0	0.011
	3 tot 4	0.001	0.01	0.01	0.01	0.003	0.001	0	0	0	0	0	0.035
	2 tot 3	0.01	0.04	0.04	0.02	0.006	0.001	0	0	0	0	0	0.117
	1 tot 2	0.06	0.2	0.1	0.04	0.01	0.001	0	0	0	0	0	0.411
	0 tot 1	0.3	0.3	0.1	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0.74
	Totaal	0.371	0.554	0.256	0.105	0.03	0.003	0	0	0	0	0	1.319
	<4	4 tot 5	5 tot 6	6 tot 7	7 tot 8	8 tot 9	9 tot 10	10 tot 11	11 tot 12	12 tot 13	>13		
	Tz (s)												

BIJLAGE II

“Overzicht diepwatergolfklimaat nabij St. Eustatius”

Diepwatgolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 0 graden (337,5-22,5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0	0	0
	4 tot 5	0	0	0	0	0	0
	3 tot 4	0.004	0.118	0.128	0.018	0	0.268
	2 tot 3	0.01	0.3	0.28	0.022	0	0.612
	1 tot 2	0.08	1	0.4	0.024	0	1.504
	0 tot 1	0.3	0.9	0.12	0.004	0	1.324
	Totaal	0.394	2.318	0.928	0.068	0	3.708
		<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14
		Tz (s)					

Bijzonderheden: beperkte fetch, max. 45 km, Hs max. 3,5 m, kansen van Hs>4 m opgeteld bij de Hs = 3 tot 4 m

Diepwatgolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 45 graden (22,5-67,5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0.105	0.105	0.038	0.248
	4 tot 5	0	0.038	0.57	0.57	0.133	1.311
	3 tot 4	0	0.228	2.19	1.62	0.257	4.333
	2 tot 3	0	1.325	6.27	2.76	0.257	10.612
	1 tot 2	0.038	3.9	7.8	1.62	0.105	13.463
	0 tot 1	0.095	1.99	1.15	0.067	0	3.302
	Totaal	0.133	7.481	18.085	6.742	0.79	33.269
		<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14
		Tz (s)					

Bijzonderheden: golfdoordringing wordt nauwelijks beïnvloed door ondiepten (ca. 30 m), geen veranderingen aangebracht.

Diepwatergolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 90 graden (67,5-112,5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0.143	0.143	0.048	0
	4 tot 5	0	0.048	0.77	0.67	0.143	0
	3 tot 4	0	0.428	2.19	2.1	0.385	0
	2 tot 3	0	2.38	9.5	3.71	0.385	0
	1 tot 2	0.048	6.37	11.22	2.1	0.095	0
	0 tot 1	0.19	2.85	1.34	0.048	0	0
	Totaal	0.238	12.076	25.163	8.771	1.056	0
		<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14
		Tz (s)					

Bijzonderheden: golfdoordringing beperkt door eilanden en ondiepten, fetch max. 110 km, Hs max. 6 m, geen veranderingen aangebracht.

Diepwatergolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 135 graden (112,5-157.5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0	0	0
	4 tot 5	0	0.006	0.018	0	0	0
	3 tot 4	0	0.031	0.059	0.024	0	0
	2 tot 3	0.008	1.407	0.928	0.173	0.016	0
	1 tot 2	0.086	2	1.33	0.114	0.008	0
	0 tot 1	0.29	1.52	0.366	0.019	0	0
	Totaal	0.384	4.964	2.701	0.33	0.024	0
		<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14
		Tz (s)					

Bijzonderheden: Golfdoordringing deels beperkt, 66,3% fetch 13 km Hs max 2,5 m, deels onbeperkt 33,3%, 66,6% van de kansen van Hs>3m opgeteld bij Hs = 2 - 3 m

Diepwatergolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 180 graden (157,5-202,5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0.002	0.002	0	0	0.004
	4 tot 5	0	0.006	0.006	0	0	0.012
	3 tot 4	0.002	0.03	0.014	0.002	0	0.048
	2 tot 3	0.01	0.13	0.05	0.002	0	0.192
	1 tot 2	0.1	0.5	0.12	0.004	0	0.724
	0 tot 1	0.4	0.7	0.07	0.002	0	1.172
	Totaal	0.512	1.368	0.262	0.01	0	2.152
	<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14	
Tz (s)							
Bijzonderheden: Golfdoordringing niet beperkt							

Diepwatergolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 225 graden (202,5-247,5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0	0	0
	4 tot 5	0	0.002	0	0	0	0.002
	3 tot 4	0	0.015	0.004	0	0	0.019
	2 tot 3	0.009	0.06	0.014	0	0	0.083
	1 tot 2	0.06	0.19	0.04	0.002	0	0.292
	0 tot 1	0.3	0.29	0.023	0	0	0.613
	Totaal	0.369	0.557	0.081	0.002	0	1.009
	<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14	
Tz (s)							
Bijzonderheden: golfdoordringing deels onbeperkt, deels beperkt door waterdiepte, Saba Bank (ca. 14 m) Golven met Hs=4 m en T=8 s worden voor ca. 20% in hoogte gereduceerd, geen veranderingen aangebracht							

Diepwatergolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 270 graden (247,5-292,5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0	0	0	0	0
	4 tot 5	0	0	0	0	0	0
	3 tot 4	0	0	0	0	0	0
	2 tot 3	0.011	0.082	0.036	0	0	0.129
	1 tot 2	0.1	0.2	0.05	0.003	0	0.353
	0 tot 1	0.2	0.3	0.024	0.001	0	0.525
	Totaal	0.311	0.582	0.11	0.004	0	1.007
		<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14
		Tz (s)					

Bijzonderheden: golfdoordringing beperkt door waterdiepte, Saba Bank (ca. 14 m)
 Golven met Hs=4 m en T=8 s worden voor ca. 20% in hoogte gereduceerd, kansen van Hs>3 opgeteld bij kansen Hs = 2 tot 3 m

Diepwatergolfdata nabij St. Eustatius, hoofdrichting 315 graden (292,5-337,5)							
Kans van voorkomen (procent v/d tijd)							Totaal
Hs (m)	6 tot 7	0	0	0	0	0	0
	5 tot 6	0	0.002	0.002	0	0	0.004
	4 tot 5	0	0.008	0.003	0	0	0.011
	3 tot 4		0.02	0.014	0	0	0.034
	2 tot 3	0.011	0.08	0.026	0.002	0	0.119
	1 tot 2	0.06	0.3	0.05	0.001	0	0.411
	0 tot 1	0.3	0.4	0.04	0	0	0.74
	Totaal	0.371	0.81	0.135	0.003	0	1.319
		<4	4 tot 6	6 tot 8	8 tot 10	10 tot 12	12 tot 14
		Tz (s)					

Bijzonderheden: Golfdoordringing niet beperkt, fetch ca. 180 km, geen veranderingen aangebracht

BIJLAGE III
“SWAN input-file”

```

$***** HEADING *****
$
PROJ 'St. Eustatius' '1'
$
$ 'Golfdoordringing Oranjebaai haven'
$
$ 'Sektor 45 graden'
$
$ 'Bodemgrid 125*125'
$
$ 'Hs = 1m, tm02 = 10s'
$
$***** MODEL INPUT *****
$
CGRID 125. 125. 0. 13875. 12125. 45 40 CIRCLE 36 0.05 0.4 20
$
INPGRID BOTTOM 0. 0. 0. 112 98 125. 125.
READINP BOTTOM 1. 'bodfine1.txt' FREE
$
BOU STAT SIDE UPP Y JON CONST 1 MEAN 10 225 20
BOU STAT SIDE UPP X JON CONST 1 MEAN 10 225 20
$
BREAKING
$
FRICTION
$
$***** OUTPUT REQUESTS *****
$
RAY 'RAY1' 4750. 3375. 5250. 3875. 6 4500. 3625. 5000. 4125.
ISO 'D7M' 'RAY1' BOTTOM 7
ISO 'D8M' 'RAY1' BOTTOM 8
$
SITE 'ORANJESTAD' 5250. 4125. TOWN
$
TABLE 'D7M' HEAD 'H1T10e.out' HS DEP TM02 DIR DSPR
TABLE 'D8M' HEAD 'H1T10f.out' HS DEP TM02 DIR DSPR
$
PLOT 'COMPGRID' FILE 'H1T10a.plt' ISO HS 0.2
PLOT 'COMPGRID' FILE 'H1T10b.plt' ISO DEPTH SITES
$
TEST 0,0
COMPUTE
STOP
$

```


BIJLAGE IV
“Mathcad sheet”

A := .494

B := .353

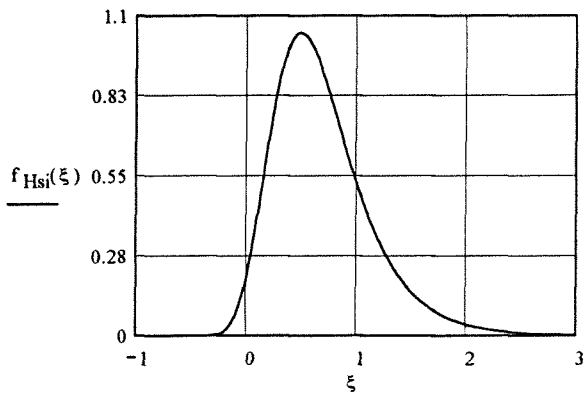
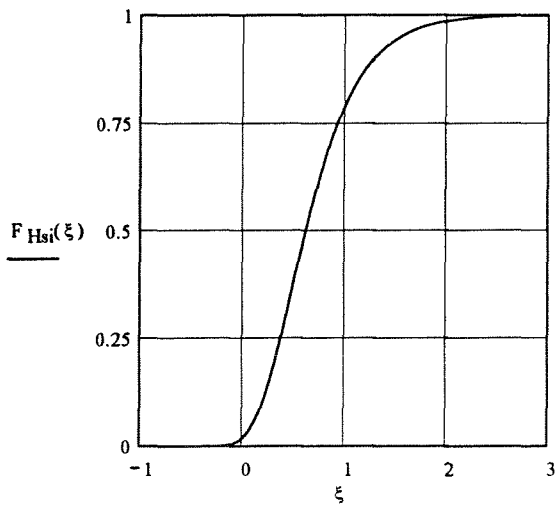
h := 12

Gumbell density

$$F_{\text{Hsi}}(\xi) := e^{-e^{-\frac{\xi-A}{B}}}$$

$$f_{\text{Hsi}}(\xi) := \frac{1}{B} \cdot \exp\left[\frac{-(\xi-A)}{B}\right] \cdot \exp\left[-\exp\left[\frac{-(\xi-A)}{B}\right]\right]$$

$\xi := -1, -0.99.. 8$



Individual wave height for several exceedance levels

b := 0.78

Conditional distribution

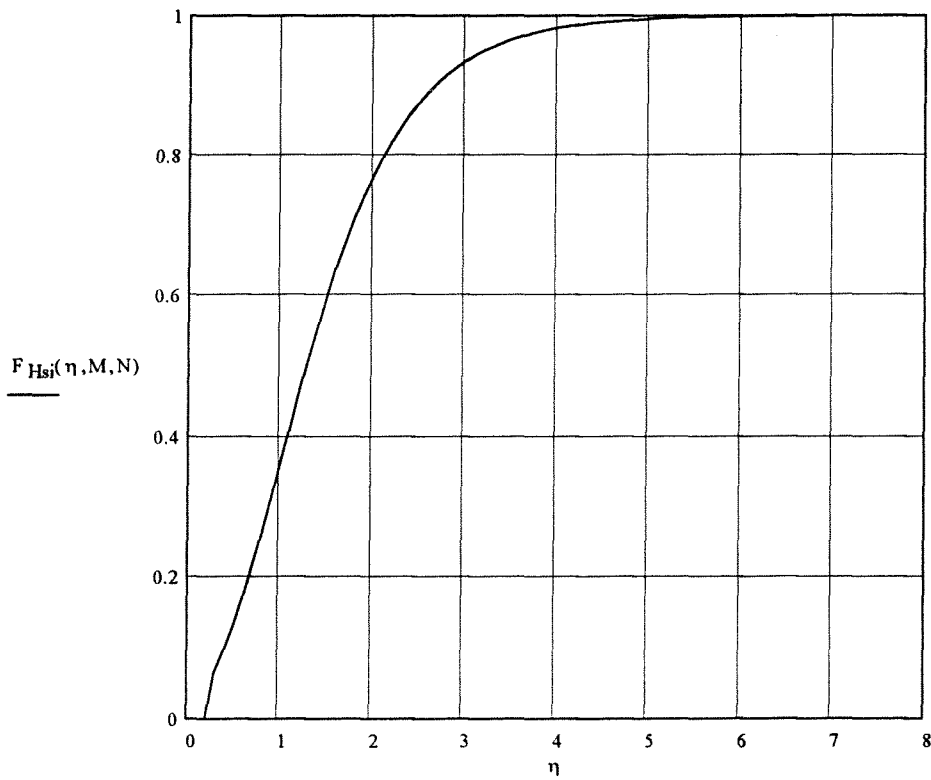
$$F_{H_{cond}}(\eta, H_s, N) := \left[1 - e^{-2 \left(\frac{\eta}{H_s} \right)^2} \right]^N$$

$$F_{H_{si}}(\eta, M, N) := \left(\int_{-1}^{+8} F_{H_{cond}}(\eta, \xi, N) \cdot f_{H_{si}}(\xi) d\xi \right)^M$$

N := 3000

M := 1

$\eta := 0, 0.1.. 10$



BIJLAGE V
“CREON input-file”

```

$
$--Input-file Golfdoordringing haven St. Eustatius in CREON-----
$
PROJECT 'Oranjebaai haven' '1'
  'Golfdoordringing Oranjebaai haven St. Eustatius'
  'Huidige situatie + uitbreiding met golfdempende constructie'
  'Geen wind, geen vegetatie'
$
TEST
$
$--Inlezen bodemfile t.o.v. p.c.-----
$
INPut BOTtom 0. 0. 0. 17 50 15. 15.
$
READ BOTtom 'bodhav.txt' FREE
$
$--Computational grid--DX<0.25/L, DY< 0.15L t.o.v. p.c.-----
$
GRID 255. 750. 120. 170 250 20 Fixed 0. 0. 0.
$
$--Upwind boundary t.o.v. p.c.-----
$ Golf komende uit hoofdsektor 180 overeenkomend met p.c. 45
$
INC PARam MD 6 0.5 10. 45.
$
$--Lateral boundaries-----
$
BOUndary LEft PERF
BOUndary RIght PERF
$
$--Obstacles t.o.v. p.c.-----
$
OBST SCReen 0 LIN 240. 37. 67. 180. 67. 225.
OBST SCReen 0.47 LIN 67. 225. 45. 375.
$
BRERking
$
FRIction
$
NUMS
$
$--Define output locations t.o.v. p.c.-----
$
RAY 'ray1' 30. 240. 240. 165. 6 0. 495. 225. 510.
DEP 'd7m' 'ray1' 7
DEP 'd5m' 'ray1' 5
DEP 'd3m' 'ray1' 3
$
$--Define output request-----
$
TABle 'd7m' PAPer 'h05t10d7.out' XP YP HSign DIR PERoid DEPth WLENgth
TABle 'd5m' PAPer 'h05t10d5.out' XP YP HSign DIR PERoid DEPth WLENgth
TABle 'd3m' PAPer 'h05t10d3.out' XP YP HSign DIR PERoid DEPth WLENgth
$
LINE 240. 37. 67. 180. 67. 225.

```

LINE 67. 225. 45. 375.

\$

~~\$_Define plot request~~_____

\$

PLOt 'COMPGRID' File 'h05t10h.plt' 'iso-golfhoogte' ISO HSign VEC TDI LINES

PLOt 'COMPGRID' File 'h05t10d.plt' 'iso-waterdiepte' ISO DEPth LINES

\$

~~_____~~

\$

TEST

STOP RUN

\$

BIJLAGE VI

“Golfdoordringing in de haven”

Resulterende golfhoogten in de haven berekend met CREON

H = 1.1 m en T = 10 s

hoofdrichting 180°		Meetpunt											
L _{gdc}	K _T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0.25	1.17	1.15	1.13	0.17	1.17	1.33	1.18	0.27	0.87	1.39	1.33
150	0.75	0.57	1.01	1.14	1.14	0.20	1.08	1.13	1.21	0.35	0.79	1.24	1.31
150	0.5	0.36	0.64	1.10	1.15	0.12	0.65	0.9	1.22	0.19	0.52	0.94	1.27
150	0.25	0.19	0.35	1.08	1.17	0.06	0.36	0.71	1.23	0.2	0.29	0.71	1.27
150	0	0	0.02	1.07	1.19	0.2	0.08	0.52	1.30	0.21	0.09	0.48	1.27
250	0.75	0.57	1.03	0.97	1.05	0.20	0.98	1.07	1.06	0.31	0.79	1.19	1.16
250	0.5	0.36	0.66	0.61	0.90	0.12	0.64	0.69	0.81	0.46	0.51	0.79	0.87
250	0.25	0.19	0.35	0.32	0.78	0.07	0.35	0.38	0.63	0.19	0.28	0.44	0.66
250	0	0	0	0.03	0.65	0.01	0.02	0.08	0.44	0.15	0.03	0.1	0.49
hoofdrichting 225°		Meetpunt											
L _{gdc}	K _T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	0.44	1.16	1.14	1.13	0.4	1.27	1.22	1.18	1.30	1.30	1.31	1.28
150	0.75	0.50	0.92	1.18	1.13	0.35	0.99	1.16	1.18	1.25	1.03	1.23	1.28
150	0.5	0.34	0.62	1.22	1.13	0.23	0.67	1.09	1.19	1.18	0.73	1.14	1.29
150	0.25	0.17	0.31	1.27	1.13	0.11	0.36	1.04	1.19	1.11	0.43	1.06	1.29
150	0	0.01	0.03	1.32	1.13	0.06	0.20	0.99	1.20	1.09	0.29	1.00	1.30
250	0.75	0.50	0.93	0.91	1.12	0.34	0.99	0.96	1.13	1.26	1.04	1.06	1.21
250	0.5	0.34	0.63	0.61	1.06	0.23	0.67	0.65	1.05	1.18	0.72	0.75	1.12
250	0.25	0.17	0.32	0.31	1.02	0.11	0.34	0.36	0.98	1.11	0.37	0.45	1.04
250	0	0	0.01	0.06	0.99	0.02	0.05	0.20	0.93	1.06	0.09	0.29	0.99

Resulterende golfhoogten in de haven berekend met CREON
H = 1.1 m en T = 10 s

hoofdrichting 180°		Meetpunt						
L _{gdc}	K _T	5		6		7		8
150	0.2	0.05	0.16	0.30	0.30	0.67	1.08	1.24
250	0.2	0.05	0.16	0.28	0.31	0.31	0.26	0.59

hoofdrichting 225°		Meetpunt						
L _{gdc}	K _T	5		6		7		8
150	0.2	0.09	0.23	0.30	0.56	1.03	1.23	1.19
250	0.2	0.09	0.23	0.27	0.27	0.3	0.54	0.97