

# **Golfbelasting in havens en afgeschermd gebied**

**een gedetailleerde methode voor het bepalen van  
golfbelastingen voor het toetsen van waterkeringen**

**RIKZ/2002.034**

# **Golfbelasting in havens en afgeschermd gebied**

**een gedetailleerde methode voor het bepalen van  
golfbelastingen voor het toetsen van waterkeringen**

**RIKZ/2002.034**

---

## Colofon

**Uitgegeven door:** Rijksinstituut voor Kust en Zee

**Informatie:** Helpdesk Waterkeren  
Postbus 5044  
2600 GA Delft

**Telefoon:** 015-2518450  
**E-mail:** [helpdesk@waterkeren.nl](mailto:helpdesk@waterkeren.nl)  
**Website:** [www.waterkeren.nl](http://www.waterkeren.nl)

**Uitgevoerd door:** Rijksinstituut voor Kust en Zee  
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en waterbouwkunde  
Rijksinstituut voor Zoetwaterhuishouding en Afvalwaterbehandeling  
DHV Milieu en Infrastructuur (Projectcode: T1471)  
Witteveen+Bos (Projectcode: Rw1099-3)

**Datum:** 28 september 2002



# Inhoudsopgave

---

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Algemeen kader	5
1.2	Beoogde toepassing	6
1.3	Leeswijzer	6
<b>2</b>	<b>Schema voor toetsing van waterkeringen in havens</b>	<b>7</b>
2.1	Algemene beschrijving schema	7
2.2	Toelichting schema	9
<b>3</b>	<b>Bepaling golfrandvoorwaarden met gedetailleerde methode</b>	<b>13</b>
3.1	Toepassingscriteria gedetailleerde methode	13
3.2	Geldigheidsbereik reductie-coëfficiënten	16
3.3	Schematisatie van de haven	17
3.4	Hydraulische randvoorwaarden buiten de haven	20
3.4.1	Informatiebron en vorm	20
3.4.2	Golfrichting	20
3.5	Berekening bijdrage diffractie	23
3.6	Berekening bijdrage transmissie	29
3.7	Bepaling effect interactie diffractie-transmissie	32
3.8	Bepaling bijdrage lokale golfgroei	33
3.9	Bepaling golfbelasting in het uitvoerpunt vanuit alle bijdragen	35
<b>4</b>	<b>Bepaling golfrandvoorwaarden met geavanceerde methode</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>Case Buitenhaven Vlissingen</b>	<b>37</b>
5.1	Inleiding	37
5.2	Schematisatie	37
5.3	Locatie DHV02	39
5.3.1	Toetsen aan criteria gedetailleerde methode.	39
5.3.2	Bepaling met gedetailleerde methode	40
5.4	Overige locaties	42
5.5	Vergelijking resultaten	44
<b>6</b>	<b>Symbolen</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur</b>	<b>49</b>
Bijlage I	Fysische processen in havens	
Bijlage 2	Diffractiediagrammen	
Bijlage 3	Handleiding rekeninstrument	

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Algemeen kader

De hydraulische randvoorwaarden voor de Nederlandse primaire waterkeringen worden elke vijf jaar vastgesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat. Deze randvoorwaarden zijn buitengaats van havens afgegeven. Om de primaire waterkeringen die rondom de haven liggen te kunnen toetsen op veiligheid, is een vertaling nodig van de hydraulische randvoorwaarden die buitengaats van de havens gegeven zijn, tot voor de waterkering rondom de havens. Om de hydraulische randvoorwaarden te bepalen binnen de havens en afgeschermd gebieden is een vertaling nodig langs, door en over de afschermden havenmonding van de havens.

Dit rapport biedt de beheerders van waterkeringen in havens en afgeschermd gebieden een leidraad voor een gedetailleerde vertaling van golfbelasting buiten de haven naar golfbelasting binnen de haven. Het rapport beschrijft een gedetailleerde methode die door DHV in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) en in samenwerking met het Rijksinstituut voor Zoetwaterhuishouding en Afvalwaterbehandeling (RIZA) en de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) is ontwikkeld. Het Projectbureau Zeeweringen is bij de ontwikkeling van de methode betrokken geweest als klankbord namens de beoogde gebruikers.

De methode biedt enerzijds de mogelijkheid middels relatief eenvoudige rekenregels, waarmee de belangrijkste fysische processen in havens in rekening worden gebracht, te komen tot een vertaling van golfbelasting buiten de haven naar golfbelasting binnen de haven. De eenvoudige rekenregels mogen daarbij worden toegepast als voldaan wordt aan de toepassingscriteria. Anderzijds biedt de methode richtlijnen en criteria voor de toepassing van geavanceerde modellen voor de bepaling van golfbelasting in havens.

De methode voor bepaling van golfbelasting in havens en afgeschermd gebieden biedt de beheerder van waterkeringen in havens de mogelijkheid op relatief gedetailleerde wijze een beeld te krijgen van de golfbelasting in een haven. Vanwege de relatieve eenvoud van de rekenregels is de met die rekenregels berekende golfbelasting veelal groter dan met geavanceerde modellen berekende golfbelasting. Aan de andere kant is de met de gedetailleerde methode berekende golfbelasting veelal lager dan de golfbelasting buiten de haven. De gedetailleerde methode is daarmee uitstekend in te passen in het toetsingstraject van waterkeringen in havens, waarin van een grove benadering naar een fijne benadering wordt toegewerkt. De methode, zoals beschreven in dit rapport, is dan ook ingebed in het toetsingstraject, en opgenomen in de Leidraad Toetsen op Veiligheid.

## 1.2 Beoogde toepassing

De gedetailleerde methode voor golfrandvoorwaardenbepaling in havens is geschikt voor gebruik bij de toetsing van waterkeringen in havens. In beginsel is de methode ook voor ontwerpdoeleinden toepasbaar, maar vooralsnog wordt het gebruik ervan voor ontwerp niet aanbevolen, omdat deze methode kan leiden tot het onnodig conservatief ontwerpen. Bij de opzet van de methode is uitgegaan van de situering van havens in of langs zeeën, meren of estuaria, en in mindere mate voor havens langs rivieren. Aanbevolen wordt om deze methode alleen toe te passen voor havens langs rivieren, indien aangenomen kan worden dat de stormopzet in het havenbekken maatgevend is, en niet de maatgevende waterstand bij een hoge rivierafvoer. Bij toepassing van de methode voor golfrandvoorwaardenbepaling in havens moet bedacht worden dat de methode slechts enkele fysische processen in en rond havens in rekening brengt, in hoofdzaak diffractie, transmissie en lokale golfgroei door wind. Onder de aanname van diepwater condities worden fysische processen als refractie, shoaling, dissipatie van energie door bodemwrijving en breking op ondiepte niet in rekening gebracht. Ook reflectie en golf-golfinteracties worden om verschillende redenen niet in rekening gebracht. Omdat in de methode een aanzienlijk aantal processen verwaarloosd is, moet het toepassen van de methode aan toepassingscriteria getoetst worden, maar zal de gebruiker van de methode tevens op basis van eigen fysisch inzicht toepassing van de methode moeten overwegen.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is in het schema, met uitgebreide toelichting, opgenomen dat de toetsers van waterkeringen in havens stapsgewijs leidt van een grove benadering van de golfbelasting in havens naar een steeds fijnere benadering. Het verdient aanbeveling dit schema bij de toetsing van waterkeringen in havens te volgen. In hoofdstuk 3 wordt de gedetailleerde methode voor de bepaling van golfbelasting in havens beschreven. Dit hoofdstuk vormt het **“kookboek”** voor deze methode. In paragraaf 3.1 worden de toepassingscriteria gegeven op basis waarvan de toetsers inzicht krijgt in de toepasbaarheid van de gedetailleerde methode. In de daarop volgende paragrafen worden de vuistregels en formules voor de berekening van golfbelasting in havens gegeven. De verschillende fysische processen worden in verschillende paragrafen behandeld. Hoofdstuk 4 geeft enkele toepassingscriteria voor de toepassing van geavanceerde modellen, voor het geval dat de gedetailleerde methode onvoldoende resultaten geeft of niet toegepast kan worden. Hoofdstuk 5 beschrijft een praktijkcase van de berekening van golfbelasting in de buitenhaven van Vlissingen met de gedetailleerde methode. Hierbij is onder andere een vergelijk gemaakt met de door geavanceerde modellen berekende golfbelasting op dezelfde punten in de havens. In de hoofdstukken 6 en 7 worden achtereenvolgens de gebruikte symbolen en de gebruikte literatuur gegeven.

In de bijlagen van het rapport worden de theoretische achtergronden, afwegingen en geldigheidsgebieden gegeven van de verschillende processen die een rol spelen bij de bepaling van hydraulische randvoorwaarden binnen havens en afgeschermd gebieden.

## 2 Schema voor toetsing van waterkeringen in havens

---

De gedetailleerde methode voor bepaling van golfbelasting in havens past in het toetstraject van waterkeringen, waarin van een grove naar een fijne benadering wordt toegewerkt. Vanuit het oogpunt van hydraulische randvoorwaarden is de meest grove benadering het toepassen van de hydraulische randvoorwaarden buiten de haven, de meest fijne het toepassen van geavanceerde rekenmodellen. De gedetailleerde methode voor bepaling van golfbelasting in havens past hier als benadering tussenin. De methode is dan ook ondergebracht in een schema voor het gebruik van hydraulische randvoorwaarden voor toetsing van waterkeringen in havens.

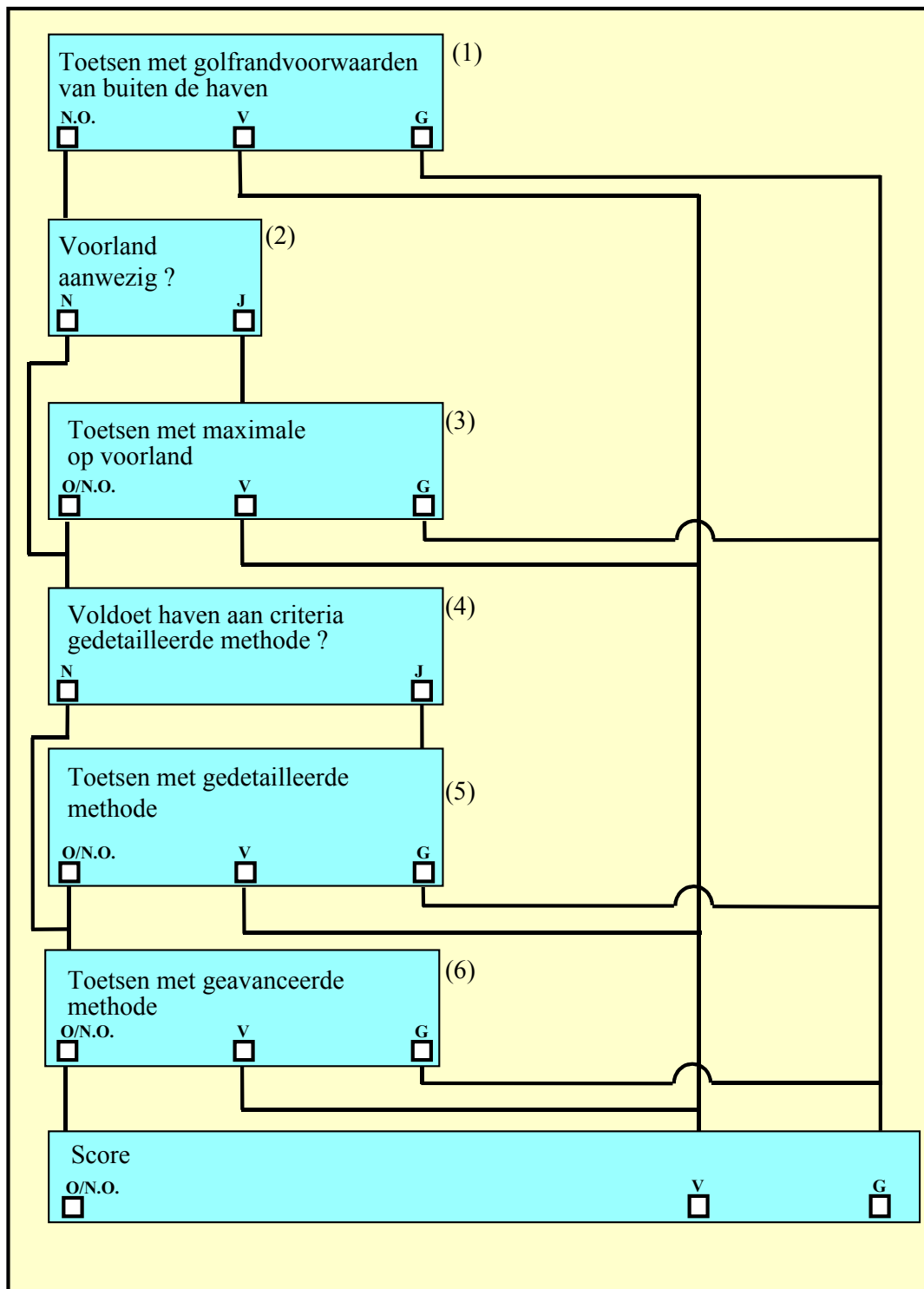
### 2.1 Algemene beschrijving schema

In figuur 1 is het schema weergegeven voor het gebruik van hydraulische randvoorwaarden voor toetsing van de waterkeringen in havens. Het schema kan maximaal in 6 stappen worden doorlopen:

- STAP 1: Toetsen met randvoorwaarden buiten de haven
- STAP 2: Controle op aanwezigheid van ondiep voorland voor de waterkering in de haven (kaden etc.)
- STAP 3: Toetsen met maximale golfhoogte en piekperiode op voorland
- STAP 4: Toetsen haven en golfcondities aan criteria voor gebruik van de gedetailleerde methode
- STAP 5: Toetsing met golfbelasting bepaald met de gedetailleerde methode
- STAP 6: Toetsing met golfbelasting bepaald met geavanceerde modellen

Met het doorlopen van het schema vanaf STAP 1 worden steeds nauwkeurigere hydraulische randvoorwaarden toegepast voor toetsing, maar neemt ook de inspanning voor de bepaling van die hydraulische randvoorwaarden toe. Na elke stap dienen de toetsresultaten te worden bepaald en geanalyseerd om te bepalen of het doorlopen van een volgende stap nodig, zinvol en/of haalbaar is. Belangrijke afweging daarbij is of de verfijning van de toetsing moet worden gevonden in de verfijning van de methode van golf randvoorwaardenbepaling of in een verfijning in de methode van toetsing (eenvoudige toets, gedetailleerde toets, geavanceerde toets), of in beide. In het schema is het uitgangspunt gehanteerd dat scores “onvoldoende” en “nader onderzoek” geen harde toetsresultaten zijn, zolang een meer verfijnde methode voor de bepaling van golfbelasting beschikbaar is. In die gevallen moet de bovenbeschreven afweging worden gemaakt.

.....  
Figuur 1  
Schema voor de bepaling van golfbelasting  
voor toetsing van waterkeringen in havens





## 2.2 Toelichting schema

### STAP 1: *Toetsen met randvoorwaarden buiten de haven*

In eerste instantie wordt de toetsing uitgevoerd te worden met de golfcondities zoals deze gelden buiten de haven. Deze hydraulische randvoorwaarden moeten worden ontleend aan de Hydraulische Randvoorwaarden 2001. Wanneer de toetsing van een vak voor één of meerdere mechanismen 'onvoldoende' of 'nader onderzoek' scoort, kan eerst gekeken worden of een ondiep voorland aanwezig is in STAP 2. Indien dit het geval is, kan als tussenstap de toetsing worden uitgevoerd met de maximale golfcondities op het hoge voorland in STAP 3.

### STAP 2: *Controle aanwezigheid ondiep voorland voor de waterkering*

Een ondiep voorland (bijvoorbeeld een kadeconstructie of haventerrein) ligt voor en direct aansluitend aan de waterkering, heeft een talud van minder dan 1:10 en een lengte loodrecht op de dijk van minimaal  $1 * L_{0,p}$ . Wanneer een ondiep voorland aanwezig is kan in STAP 3 worden getoetst met de maximale golfcondities op het hoge voorland. Wanneer het voorland een lengte loodrecht op de dijk heeft tussen 0,25 en  $1 * L_{0,p}$  is sprake van een voorland met gering dempend effect. De tussenstap is in dat geval niet toegestaan en dient te worden doorgedaan met STAP 4.

#### Voorbeeld:

#### Gegeven:

golfrandvoorwaarden buiten:  $h = \text{NAP} + 6 \text{ m}$ ,  $H_s = 2,1 \text{ m}$ ,  
 $T_p = 5,0 \text{ s}$  kade met lengte 50 m, horizontaal terrein gelegen op NAP + 5 m. golfrichting wordt loodrecht op het voorland verondersteld.

#### Berekening:

$$L_{0,p} = (g/2\pi) * T_p^2 = 39,0 \text{ m}$$

Lengte kade is groter dan  $L_{0,p}$  en taludhelling is kleiner dan 1/10 => er is sprake van ondiep voorland

#### Resultaat:

Doorgaan met STAP 3

### STAP 3: *Toetsen met maximale golfhoogte en piekperiode op het voorland*

Wanneer aan de criteria van een ondiep voorland (STAP 2) wordt voldaan, kan getoetst worden met de maximale golfcondities op het voorland:

- De golfhoogte op het voorland  $H_{s,m}$  is gelijk aan  $0,7 * h_m$ , tenzij de golfhoogte  $H_s$  buiten de haven lager is dan  $0,7 * h_m$ , want dan wordt de golfhoogte  $H_s$  aangehouden.

- De golfperiode op het voorland is gelijk aan piekperiode  $T_p$  buiten de haven.
- De golfrichting wordt loodrecht op de waterkering verondersteld, tenzij een betere benadering van de golfrichting kan worden aangehouden

Wanneer bij de toetsing van een vak met de golfrandvoorwaarden bepaald in STAP 3 de score 'onvoldoende' of 'nader onderzoek' wordt verkregen voor één of meerdere mechanismen, kan gekeken worden of een verdere reductie van de golfcondities verkregen kan worden met behulp van de gedetailleerde methode voor de golfconditiebepaling binnen de haven.

Voorbeeld:

Gegeven:

golfrandvoorwaarden buiten:  $h = \text{NAP} + 6 \text{ m}$ ,  $H_s = 2,1 \text{ m}$ ,  $T_p = 5,0 \text{ s}$  kade met lengte 50 m, horizontaal terrein gelegen op  $\text{NAP} + 5 \text{ m}$ .  
golfrichting wordt loodrecht op het voorland verondersteld.  
resultaat STAP 2: er is sprake van een ondiep voorland.

Berekening:

$$h_m = 6 - 5 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

Golfhoogte  $H_{s,m}$  op het voorland is  $0,7 * h_m = 0,7 \text{ m}$ , en is kleiner dan  $H_s$  buiten de haven

Resultaten:

$$h = \text{NAP} + 6 \text{ m}$$

$$H_{s,m} = 0,7 \text{ m}$$

$$T_p = 5,0 \text{ s}$$

golfrichting loodrecht op waterkering tenzij betere benadering mogelijk

**STAP 4: Toetsing haven aan criteria gedetailleerde methode.**

Om gebruik te mogen maken van (delen van) de gedetailleerde methode om de golfcondities op punten binnen de haven te bepalen, moeten de haven en de golfcondities voldoen aan enkele criteria. Deze criteria zijn voor de verschillende processen die een rol (kunnen) spelen opgenomen in paragraaf 3.1 van dit rapport. Algemeen geldt dat de gedetailleerde methode niet toepasbaar is voor :

- Bij havens met een verwachte prominente invloed van reflectie
- Bij havens met een zeer complexe havengeometrie

Wanneer aan deze criteria wordt voldaan, kan getoetst worden met (delen van) de gedetailleerde methode volgens STAP 5. Als de gedetailleerde methode niet gebruikt kan of mag worden, kunnen de golfcondities in de haven worden bepaald met geavanceerde modellen volgens STAP 6.

*STAP 5: Toetsing met golfcondities uit de gedetailleerde methode*

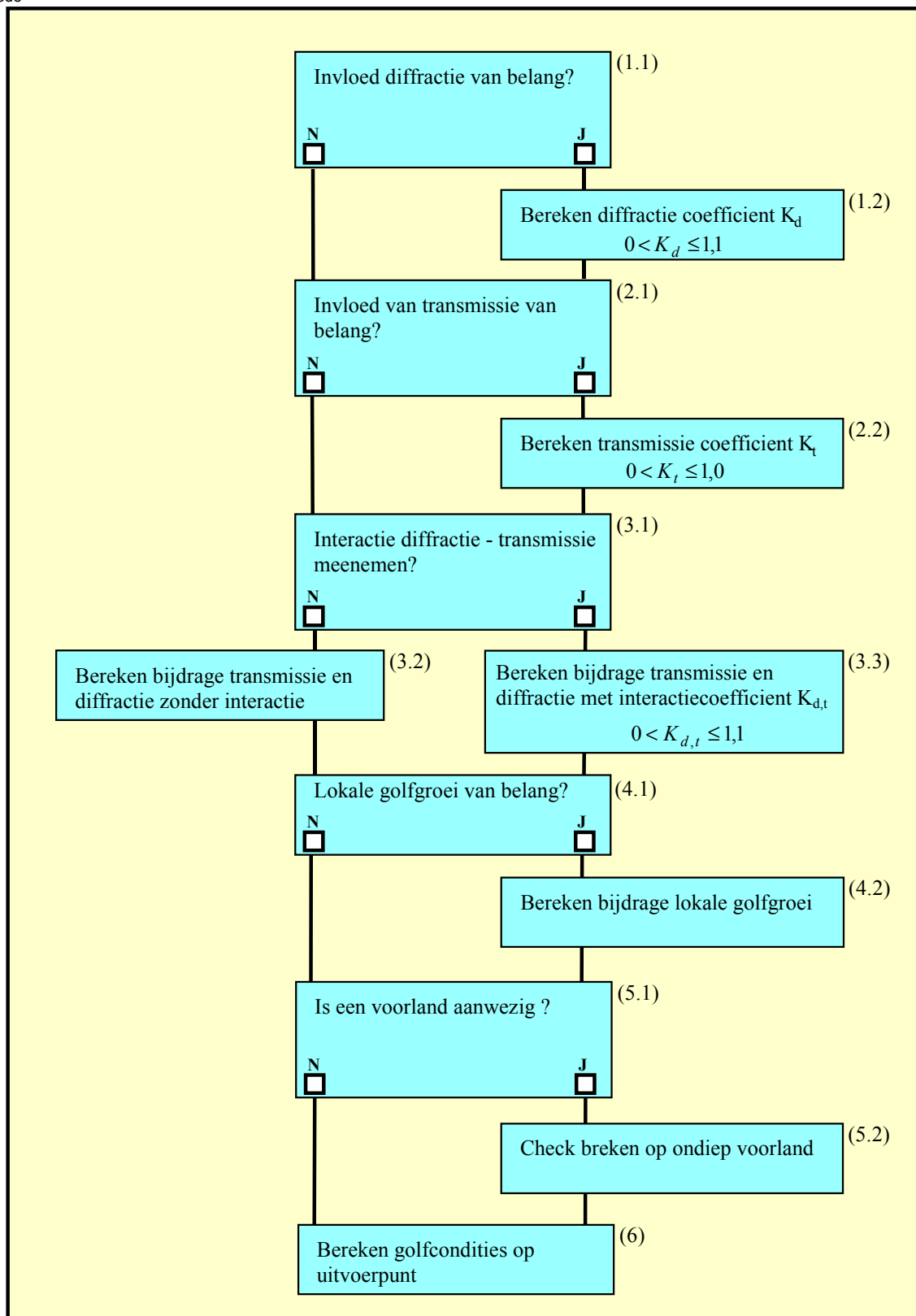
Als de toepassing van de gedetailleerde methode toegestaan is (STAP 4), kunnen vervolgens naar eigen inzicht bepaalde processen al dan niet meegenomen worden bij de berekening van golfrandvoorwaarden in de haven. In figuur 2 is een schema opgenomen waarin de gedetailleerde methode stapsgewijs wordt doorlopen. De gedetailleerde methode is uitgebreid beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport.

Bij een score 'onvoldoende' of 'nader onderzoek' kan besloten worden de golfcondities te bepalen met behulp van geavanceerde modellen (STAP 6).

*STAP 6: Toetsen met golfcondities bepaald met geavanceerde modellen*

De golfrandvoorwaarden worden bepaald met geavanceerde modellen. De criteria voor toepassing van modellen zijn opgenomen in hoofdstuk 4 van dit rapport.

Figuur 2  
De gedetailleerde methode



## 3 Bepaling golfrandvoorwaarden met gedetailleerde methode

---

In dit hoofdstuk worden de toepassingscriteria, vuistregels en formules van de gedetailleerde methode voor de bepaling van golfbelasting in havens beschreven. De volgorde waarin de verschillende fysische processen aan bod komen is gelijk aan de volgorde die wordt gehanteerd in het stappenschema van de gedetailleerde methode, zoals weergegeven in figuur 2 in hoofdstuk 2.

### 3.1 Toepassingscriteria gedetailleerde methode

De golfbelasting in de haven wordt bepaald aan de hand van één of meerdere van de volgende fysische processen:

- Diffractie
- Transmissie
- Lokale golfgroei door wind
- Beperking golfhoogte door ondiep voorland
- Interactie tussen diffractie en transmissie

#### Opmerking

Voor de beschrijving van bovengenoemde en andere fysische processen wordt verwezen naar Bijlage 1.

Ten behoeve van de ontwikkeling van een gedetailleerde methode voor de bepaling van golfbelasting in havens is de berekeningswijze van een aantal van bovengenoemde fysische processen sterk vereenvoudigd en is een aantal fysische processen (zoals bijvoorbeeld refractie) in het geheel niet in de methode meegenomen. Deze vereenvoudigingen en verwaarlozingen van bepaalde fysische processen in havens stellen beperkingen aan de toepasbaarheid van de methode als geheel of van onderdelen van de methode in het bijzonder. Die beperkingen zijn afhankelijk van de beschouwde havens en golfcondities. Ten behoeve van een juiste toepassing van de gedetailleerde methode zijn toepassingscriteria bepaald aan de hand waarvan de toetsers de toepasbaarheid van de gedetailleerde methode als geheel, of van onderdelen van de methode in het bijzonder kan beoordelen.

In bepaalde gevallen, bij een bepaalde haven en/of bepaalde golfcondities, kunnen wellicht één of meerdere van de genoemde fysische processen op voorhand als niet relevant voor de berekeningen worden gekenmerkt. Voorafgaand aan de berekening

van de golfbelasting kan derhalve een keuze gemaakt worden van de wel en niet in rekening te brengen fysische processen.

#### **Toepassingscriteria gedetailleerde methode**

- Gedetailleerde methode niet toepasbaar bij prominente invloed van reflectie. Dit is het geval bij de aanwezigheid van verticale wanden (kademuren) in het havenbekken waarvan de rand gelijk is of uitsteekt boven de beschouwde waterstand. Reflectie kan dan een grote invloed hebben op het golfbeeld in de haven en daarmee op de golfbelasting.
- De gedetailleerde methode is niet toepasbaar voor zeer complexe havengeometrien. De definitie van een complexe havengeometrie wordt onderstaand nader gespecificeerd.

#### **Complexe havengeometrie**

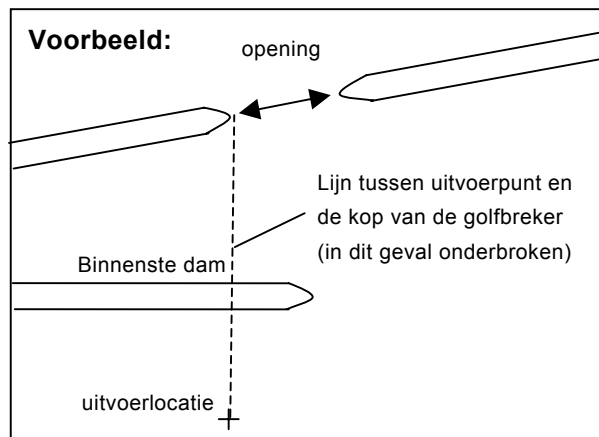
Bij havens met een complexe havengeometrie kan de hier beschreven methodiek niet worden toegepast. De definitie van een complexe havengeometrie wordt voornamelijk bepaald door de effecten van de havengeometrie op de processen diffractie en transmissie. Indien er sprake is van meervoudige diffractie of transmissie, wordt de havengeometrie als complex verondersteld.

Van meervoudige diffractie is sprake als er meerdere punten in een haven zijn te onderscheiden waarom heen golven diffracteren. Deze situaties komen voor bij havens met meerdere havendammen of bij havens die uit meerdere havenkommen bestaan. Verder kan er ook sprake zijn van meervoudige transmissie; dit doet zich voor als langs een golfstraaler meerdere constructies zich bevinden waarover en waardoor er golftransmissie plaatsvindt.

Het bepalen van het voorkomen van meervoudige diffractie en transmissie kan op de volgende wijzen worden bepaald:

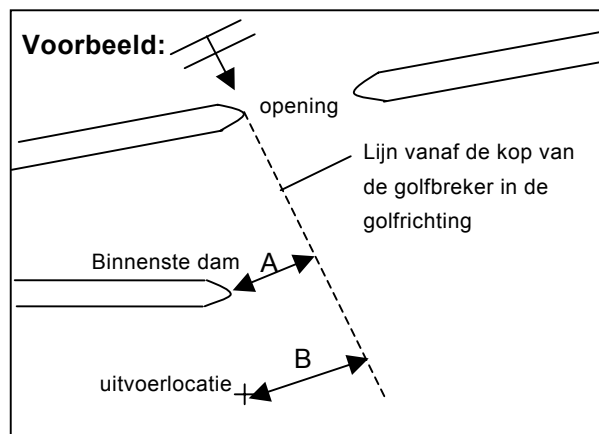
##### *1. Meervoudige diffractie/transmissie*

- Trek een denkbeeldige lijn vanaf de kop van de buitenste aanwezige havendam naar het uitvoerpunt;
- Doe dit voor alle gewenste uitvoerpunten en voor alle maatgevende golfrichtingen;
- Meervoudige diffractie of transmissie doet zich nu voor als de getrokken lijn één of meerdere constructies doorsnijdt.
- Er is nu sprake van een complexe havengeometrie als voornoemde processen zich voordoen bij veel uitvoerpunten.



## 2. Meervoudige diffractie

- Trek een lijn van de kop van de aanwezige eerste golfbreker in de gewenste golfrichting;
- Bepaal voor elk van de constructies tussen de uitvoerlocatie en de golfbreker de kortste afstand tussen de constructie en de getrokken lijn (A);
- Bepaal voor de uitvoerlocatie de kortste afstand tussen de uitvoerlocatie en de getrokken lijn (B);
- Stel vast of er gevallen zijn waarbij A kleiner is dan B;
- Indien van bovenstaande situatie sprake is, treedt er meervoudige diffractie op en wordt de haven als complex beschouwd.



In die gevallen dat er sprake is van meervoudige diffractie/transmissie, wordt de haven als complex gedefinieerd en derhalve dient de haven getoetst te worden met behulp van de geavanceerde methode.

De onderstaande tabel geeft de toepassingsgebieden weer van de gedetailleerde en geavanceerde methode.

.....  
Tabel 1  
Toepassingsgebieden methodieken

	Gedetailleerde methode	Geavanceerde methode
Transmissie	X	X
Diffractie	X	X
Lokale golfgroei	X	X
Interactie diffractie/transmissie	X	X
Ondiep water	X	X
Reflectie		X
Rivieren	X	X
Havens met stroming		X
Refractie		X
Dissipatie		X
Triad interactions		X
Quadruplet interactions		X
Enkelvoudige havendammen	X	X
Ondiep voorland	X	X
Meervoudige havendammen		X
Vertakkingen		X
Obstakels		X
Zeer beschutte locaties in de havens		X
Complexe havengeometrie		X

### 3.2 Geldigheidsbereik reductie-coëfficiënten

De gedetailleerde methode en het bijbehorende rekeninstrument gaan uit van superpositie van de reductie-coëfficiënten ten gevolge van transmissie en diffractie. De coëfficiënten worden per proces vastgesteld en vervolgens gecombineerd.

Voor elk van de onderliggende processen geldt een geldigheidsbereik voor de berekende reductie-coëfficiënten. Zo kunnen een aantal processen nooit energietoevoerend zijn.

Bij het toepassen van de gedetailleerde methode dient rekening te worden gehouden met de volgende geldigheidsgebieden van de reductiecoëfficiënten

.....  
Tabel 2  
Geldigheidsbereik reductie-coëfficiënten

Coëfficiënt	Minimum	Maximum
Diffractie	0	1,1
Transmissie	0	1,0
Diffractie + transmissie	0	1,1



Indien de berekenende coëfficiënten buiten het geldigheidsgebied liggen, dient de schematisatie van de haven te worden gecontroleerd. Als na controle van de schematisatie de coëfficiënten nog steeds buiten het geldigheidsgebied liggen dient een geavanceerde studie uitgevoerd te worden.

Als gevolg van de verschillende processen wordt de golfhoogte gereduceerd. Het kan echter niet voorkomen dat de resulterende golfhoogte op de locatie van interesse negatief wordt. Indien dit toch het geval is dient de schematisatie gecontroleerd te worden. Indien na controle de resulterende golfhoogte nog steeds negatief is, dient de geavanceerde methode toegepast te worden.

### 3.3 Schematisatie van de haven

Om de gedetailleerde methode te kunnen gebruiken voor een haven is een schematisatie van deze haven nodig. Bij schematisatie worden detailniveaus weggelaten en wordt als het ware naar een hoger abstractieniveau gestapt. Het is echter belangrijk dat niet teveel details worden weggelaten. Die gegevens die voor gebruik van de geschematiseerde haven nodig zijn, moeten aanwezig zijn. Het doel van de gedetailleerde methode is het bepalen van golfcondities op representatieve locaties langs de waterkering om de haven. Voor het bepalen van deze representatieve locaties dient goed gekeken te worden naar de waterkering.

Hieronder worden enkele handreikingen gegeven die van pas kunnen komen bij het maken van een schematisatie voor de gedetailleerde methode. Voor andere doeleinden kunnen andere uitgangspunten gelden voor de schematisatie, waardoor bepaalde delen die hier weggelaten worden juist wel belangrijk zijn.

#### ***Een schematisatie is zoveel mogelijk op schaal***

In de gedetailleerde methode wordt in verschillende gevallen gevraagd naar afstanden. Om het werk te vergemakkelijken is dan een zodanige schaal waarbij deze afstand met een lineaal te bepalen is aantrekkelijk. Tevens is het handig om de haven op een A4- of A3-formaat papier kwijt te kunnen.

#### **Voorbeeld:**

De Buitenhaven van Vlissingen heeft een afmeting van ongeveer 1700 \* 700 m<sup>2</sup>. Hierbij past de schematisatie van de haven gemakkelijk op een A4-formaat papier bij een schaal van 1:10000. Elke centimeter op papier komt dan overeen met 100 meter in de haven.

Aangezien bekledingen over het algemeen over redelijke afstanden gelijk van formaat en type zijn is met een schaal van 1:10000 over het algemeen nog voldoende detailniveau beschikbaar.

***Een schematisatie toont de relevante elementen van de haven.***

Voor gebruik van de gedetailleerde methode komen in eerste instantie de volgende elementen terug (voor andere doelen kunnen andere elementen belangrijk zijn):

- De ligging van de havendam(men),
- De ligging van de randen van de kades van het haventerrein (indien een haventerrein aanwezig is),
- De ligging van de waterkering rondom de haven.

Gebouwen en constructies in het havenbekken en op het haventerrein worden verwaarloosd. De achtergrond hiervan is dat deze gebouwen en constructies over het algemeen geen permanent onderdeel vormen waterkerende functie van de haven, en deze ontworpen zijn voor een veel lager veiligheidsniveau. De beheerder dient zelf in de gaten te houden of dit toegestaan is.

***Een schematisatie bestaat zoveel mogelijk uit rechte lijnen.***

Bij het maken van een schematisatie is het het eenvoudigst om zoveel mogelijk rechte lijnen te gebruiken. Hierbij worden kleine obstakels en slingers verwaarloosd. Voor de verschillende elementen kunnen verschillende kenmerken als uitgangspunt worden genomen bij het bepalen van wat wel en niet belangrijk is om in de schematisatie terug te vinden.

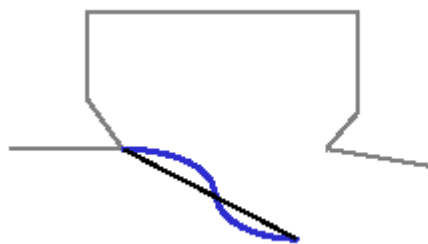
Havendammen

- Een havendam kan meestal met één rechte lijn worden geschematiseerd. In de gedetailleerde methode wordt door twee processen gebruik gemaakt van de kenmerken van de havendammen:
- Diffractie heeft het uiteinde van de havendam of het midden van de opening tussen twee havendammen als beginpunt. De locatie van de havendam(men) dient dan ook in de schematisatie opgenomen te worden.

- Transmissie vindt plaats over en door de gehele breedte van een havendam. Hierbij dienen de volgende kenmerken in de schematisatie te worden meegenomen:
  - De uiteinden van de havendammen voor de bepaling van de transmissiezone,
  - De opbouw en geometrie van de havendammen voor de transmissie-formulering.

**Voorbeeld:**

De havendam voor de buitenhaven heeft een licht S-vorm. De opbouw van de havendam is voor de gehele havendam gelijk. Deze dam kan geschematiseerd worden door een rechte lijn te trekken van het aanhechtpunt met de kust tot aan het uiteinde van de havendam.



Randen van het haventerrein

De randen van het haventerrein geven de verandering van waterdiepte op deze rand weer. Grote gedeelten zullen met een rechte lijn weergegeven kunnen worden. Alleen duidelijke bochten en knikken worden met aparte lijnen weergegeven. Steigers, meerpalen en andere open constructies worden verwaarloosd. De eventuele invloed hiervan wordt namelijk niet meegenomen in de gedetailleerde methode.

De waterkering rond de haven

Over het algemeen wordt in de schematisatie van de waterkering de kruinlijn aangehouden om de locatie van de waterkering te visualiseren. Verder kunnen de kenmerken van de waterkering als leidraad gebruikt worden om de waterkering in (rechte) vakken op te delen:

- Kunstwerken kunnen meestal als één vak worden weergegeven.
- De geometrie van de dam of dijk kan reden zijn om een verdeling te maken,
- De ondergrond kan aanleiding geven tot het maken van een splitsing in een vakken,
- De te verwachten hydraulische belasting kan worden meegenomen. Denk hierbij aan bijvoorbeeld een overgang van een nog net direct aangevallen stuk waterkering en een redelijk beschutte locatie daarnaast,
- Type en plaats van de bekleding,
- De aanwezigheid van bijzondere begroeiing en constructies.

**Opmerking:**

Het reikt hier te ver om een volledige methode te geven over het maken van een schematisatie of een opdeling in vakken van een waterkering. Ervaring in het toetsen en schematiseren en kennis van de te schematiseren en opdelen haven speelt een grote rol. Tevens wordt verwezen naar de Leidraad Toetsen op Veiligheid [1], Katern 4, waar de vakbenadering verder wordt uitgewerkt. Ook kan met specifieke vragen over een bepaalde haven contact opgenomen worden met de Helpdesk Toetsing.

### **3.4 Hydraulische randvoorwaarden buiten de haven**

#### **3.4.1 Informatiebron en vorm**

Hydraulische randvoorwaarden buiten de haven kunnen worden ontleend aan de volgende informatiebronnen:

- het Randvoorwaardenboek
- rekenmodellen Hydra (Hydra\_M, Hydra\_Q, Hydra\_K).
- overige door Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde informatie over hydraulische randvoorwaarden

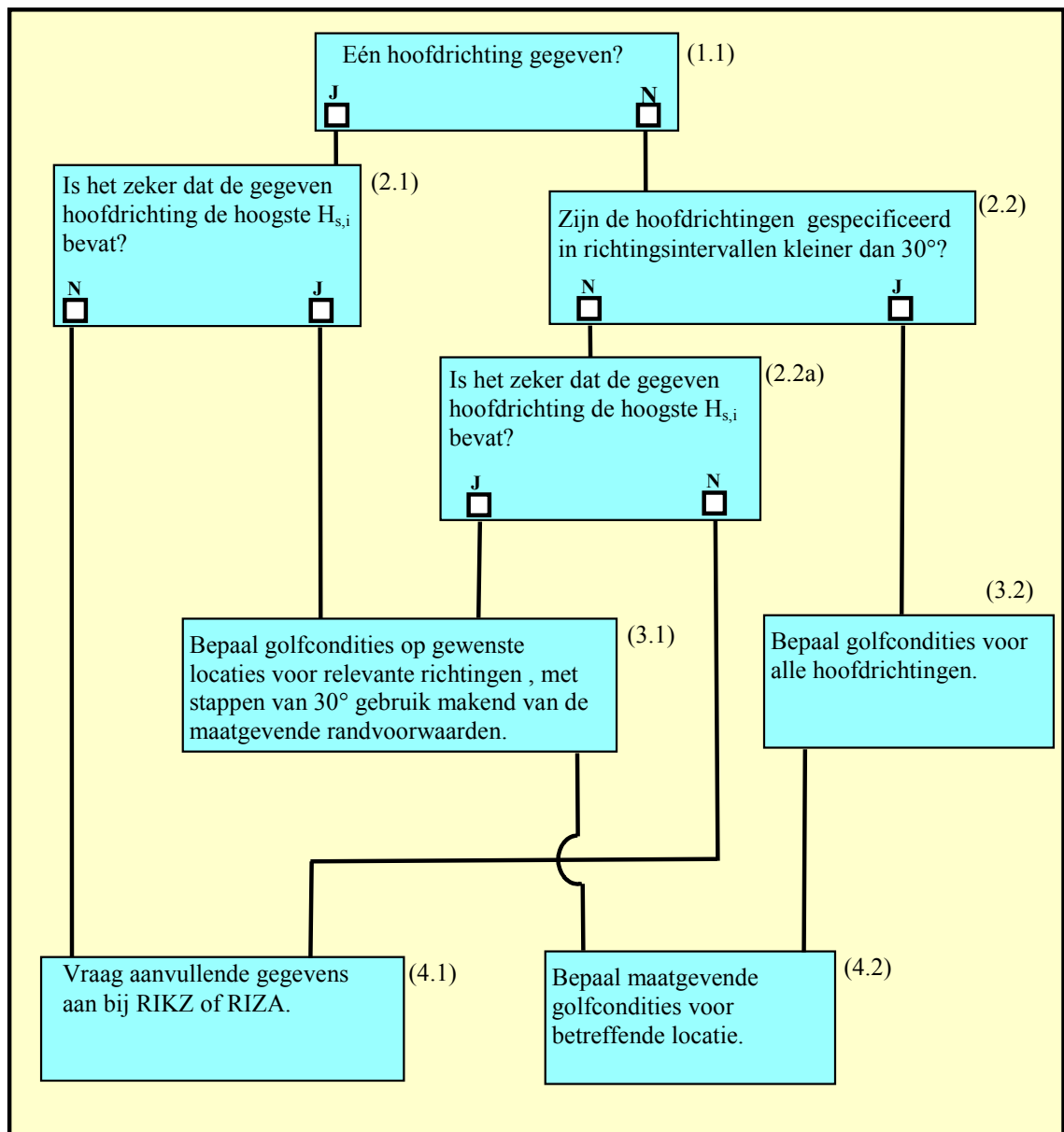
In de methodiek wordt uitgegaan van hydraulische randvoorwaarden in de vorm van combinaties van waterstand, golfhoogte en golfperiode per richting (of richtingenband).

Als maat voor de golfhoogte wordt de significante golfhoogte  $H_s$  gehanteerd. Indien een andere maat voor de golfhoogte gehanteerd wordt, dient deze te worden omgerekend in een significante golfhoogte. Als maat voor de golfperiode wordt de (gemiddelde) piekperiode  $T_p$  of  $T_{pm}$  gehanteerd. Indien een andere maat voor de golfperiode gehanteerd wordt, dient deze te worden omgerekend in een piekperiode. Raadpleeg het RIKZ of het RIZA bij vragen over de wijze van omrekenen.

#### **3.4.2 Golfrichting**

De hydraulische randvoorwaarden buiten de haven kunnen gegeven zijn voor één hoofdrichting (of richtingenband) of meerdere hoofdrichtingen (of richtingenbanden). Indien de hydraulische randvoorwaarden voor één hoofdrichting (richtingenband) gegeven zijn, dan kan hier als volgt mee worden omgegaan:

Figuur 3  
Keuze hydraulische randvoorwaarden



Uitleg bij het schema voor de keuze van hydraulische randvoorwaarden:

- 1.1 Stel vast of de hydraulische randvoorwaarden gegeven zijn voor één of meerdere hoofdrichtingen.
- 2.1 Is het zeker dat de gegeven hoofdrichting de inkomende golfcondities bevat met de hoogste golfhoogte, vergeleken met alle andere richtingen? (m.a.w. de randvoorwaarden uit andere richtingen zijn minder zwaar)
- 3.2 Indien meerdere hoofdrichtingen gespecificeerd zijn, dient vastgesteld te worden of deze randvoorwaarden gespecificeerd zijn voor richtingen/richtingsbanden met een interval van 30° of minder.
- 2.2a Is het zeker dat de gegeven hoofdrichting de inkomende golfcondities bevat met de hoogste golfhoogte, vergeleken met alle andere richtingen? (m.a.w. de randvoorwaarden uit andere richtingen zijn minder zwaar)
- 3.1 Bepaal de golfcondities op de gewenste locaties voor de relevante richtingen met een interval van 30°, gebruik makend van de maatgevende hydraulische randvoorwaarden.
- 3.2 Bepaal de golfcondities voor alle gegeven hoofdrichtingen
- 4.1 Vraag aanvullende gegevens aan over de hydraulische randvoorwaarden bij RIKZ en/of RIZA.
- 4.2 Bepaal de maatgevende golfcondities uit de berekende golfcondities.

### 3.5 Berekening bijdrage diffractie

#### Opmerking:

1. Indien geen havendammen aanwezig zijn, dan wordt diffractie niet in rekening gebracht:  $K_d$  is dan 0. Ga verder naar paragraaf 3.6 (berekening bijdrage transmissie).
2. Voor een beschrijving van het proces wordt verwezen naar Bijlage 1.

STAP 1: *Bepaal de golfrandvoorwaarden net buiten de havenmond.*

De gezochte variabelen zijn:

- De hoofdrichting van het golfveld. De hoofdrichting van het golfveld wordt bepaald ten opzichte van de normaal van de havendam. In het geval van twee havendammen wordt de hoofdrichting van het golfveld bepaald ten opzichte van de normaal van de opening tussen de twee uiteinden van de havendammen.
- De golfhoogte  $H_s$  van het golfveld net buiten de havenmond bij de beschouwde waterstand, in het vervolg aangeduid als  $H_{s,i}$
- De golfperiode  $T_p$  van het golfveld net buiten de havenmond bij de beschouwde waterstand, in het vervolg aangeduid als  $T_{p,i}$ .
- De golflengte op diep water  $L_{0,p} = (g/2\pi) * T_{p,i}^2$ .

#### Voorbeeld:

Randvoorwaarden voor toetsing van de kruinhoogte van waterkeringen in een haven zijn:

$$H_s = 1,55 \text{ m}$$

$$T_{p,i} = 4,8 \text{ s}$$

$$\text{Toetspeil 2000} = \text{NAP} + 6,15 \text{ m}$$

$$\text{Golfrichting} = 315^\circ$$

Deze randvoorwaarden gelden voor de mond van de haven.

De golflengte op diep water ( $L_{0,p}$ ) is  $(g/2\pi) * T_{p,i}^2 = (g/2\pi) * 4,8^2 = 36,0 \text{ m}$

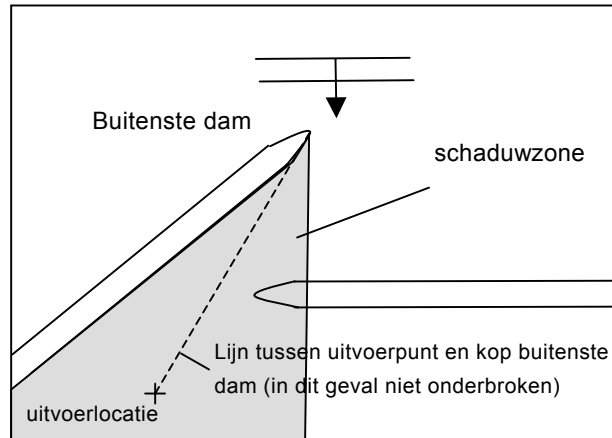
STAP 2: *Bepaal de (equivalente) openingsbreedte van de havenmond.*

Als sprake is van één havendam, dan is de equivalente openingsbreedte niet van toepassing => ga door naar STAP 3. Als sprake is van twee havendammen, bepaal dan de equivalente openingsbreedte tussen de havendammen als volgt  $B_{eq}$ :

1. In sommige gevallen kan het voorkomen dat één van de havendammen afschermend werkt voor de andere havendam (bij een enkel systeem van havendammen), zie figuur 4. In die gevallen dat het uitvoerpunt achter beide havendammen ligt, wordt de bijdrage van diffractie niet in rekening gebracht. Ter controle dient er een lijn getrokken te worden tussen de kop van de buitenste golfbreker en het uitvoerpunt. Bij een onderbroken lijnt is er sprake van voorgenoemde

situatie en dient de bijdrage van diffractie voor dit uitvoerpunt te worden gelijk aan nul gesteld te worden ( $K_d = 0$ ).

Figuur 4  
Afschermdende werking van havendammen



2. Bepaal de werkelijke breedte '**B**' van de opening tussen de havendammen. Dit is de lengte van de lijn die de uiteinden van de twee havendammen met elkaar verbindt.
3. Bepaal de hoek '**β**' tussen de invallende golfrichting en de normaallijn van de opening (zie figuur 5)

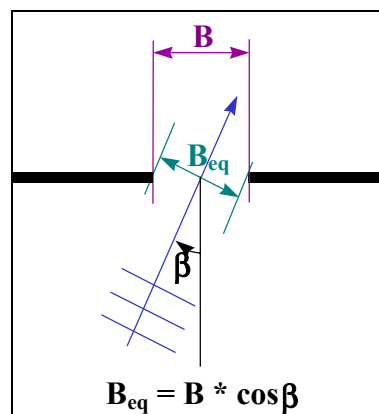
4. Bepaal de equivalente openingsbreedte '**B<sub>eq</sub>**' met de volgende formule:

$$B_{eq} = B * \cos \beta$$

waarin:

- $B_{eq}$  = De equivalente openingsbreedte [m],
- $B$  = Afstand tussen de uiteinden van de havendammen [m],
- $\beta$  = De hoek tussen de normaal van de lijn die de uiteinden van de havendammen verbindt en de golfrichting.

Figuur 5  
Equivalente openingsbreedte ( $B_{eq}$ ) bij golfrichting onder een hoek met de opening





Voorbeeld:

Gegeven:

- Haven met 2 havendammen met opening.
- Normaallijn opening heeft een oriëntatie van 0 graden t.o.v. N.
- Uit STAP 1: golfrichting is 315 graden

Bepaling equivalente openingsbreedte:

1. Werkelijke openingsbreedte  $B$  is 200 m (opgemeten uit bijvoorbeeld topografische kaart).
2. Hoek tussen de normaal van de opening en de golfinvalsrichting  $\beta$  bedraagt  $315 - 0$  graden = 315 graden
3. Equivalente openingsbreedte  $B_{eq}$  is dan:  $B_{eq} = B * \cos \beta = 141,4$  m

STAP 3: *Keuze type diffractiediagrammen*

**Afhankelijk van geometrie havendammen**

Diagrammen voor de situatie van een halfoneindig lange golfbreker (type 1) zijn van toepassing als:

- er sprake is van één havendam, of
- als  $B > 5 L_{0,p}$
- als  $B_{eq} > 5 L_{0,p}$

Diagrammen voor de situatie van een opening in een oneindig lange golfbreker (type 2) is van toepassing als:

- er sprake is van twee havendammen, en
- als  $B_{eq} < 5 L_{0,p}$

**Afhankelijk van het type golfveld buiten de haven**

Diagrammen met grote richtingsverspreiding ( $S_{max} = 10$ ) zijn van toepassing bij een golfveld dat gedomineerd wordt door lokaal opgewekte golven.

Diagrammen met kleine richtingsverspreiding ( $S_{max} = 75$ ) zijn van toepassing bij een golfveld dat gedomineerd wordt door deininggolven.

Aanbevolen wordt de de diagrammen met grote richtingsverspreiding aan te houden.

De diffractiediagrammen zijn opgenomen in bijlage 2.

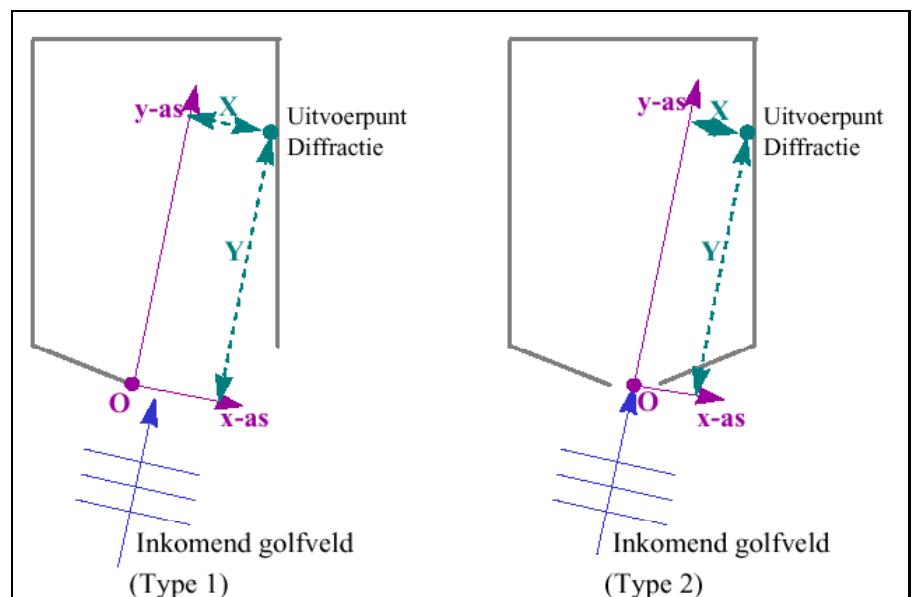
STAP 4: *Bepaal de locatie waar de diffractiecoëfficiënt bepaald moet worden.*

De locatie van de het uitvoerpunt wordt bepaald in de vorm van coördinaten in een x,y-assenstelsel, waarbij:

- De y-as gedefinieerd is als de lijn die parallel loopt aan de inkomende golfrichting.
- De x-as loodrecht op de y-as staat.
- De oorsprong (O) van het assenstelsel ligt:
  - op het uiteinde van de havendam als diagrammen type 1 van toepassing zijn
  - in het midden van de opening tussen de havendammen als diagrammen type 2 van toepassing zijn

Zie figuur 6 voor een weergave van de hierboven beschreven definitie.

Figuur 6  
Definitie assenstelsels in de diffractiediagrammen type 1 en type 2



1. Trek een lijn vanuit de oorsprong (O) in de richting van de inkomende golfrichting (dit is de y-as).
2. Trek een lijn vanuit de oorsprong (O) loodrecht op de richting van de inkomende golfrichting (dit is de x-as).
3. Bepaal de afstand Y van het uitvoerpunt tot de x-as en de afstand X tot de y-as (in meters).
4. Bepaal de waarden  $Y/L_{0,p}$  en  $X/L_{0,p}$ .

**Opmerking:**

Indien  $X/L_{0,p}$  of  $Y/L_{0,p}$  buiten het bereik van de tabellen vallen dient de maximale/minimale mogelijke waarde voor  $X/L_{0,p}$  en  $Y/L_{0,p}$  uit de tabel gekozen te worden.

## STAP 5: Berekening van de diffractiecoëfficiënt

## Diagram type 1:

De diagrammen van type 1 in bijlage B2.1 worden gegeven voor zowel grote als kleine richtingsverspreiding. Bepaal uit de betreffende tabel de waarden voor de diffractiecoëfficiënt  $K_d$ . Let hierbij op dat de juiste zijde van het uiteinde van de dam gekozen wordt. De negatieve waarden voor  $X/L_{0,p}$  bevinden zich in de schaduwzone van de haven achter de havendam.

## Diagram type 2:

De diagrammen van type 2 in bijlage B2.2 worden gegeven voor enkele verhoudingen van de equivalente openingsbreedte en de golflengte ( $B_{eq}/L_{0,p} = 1, 2, 4$  en  $8$ ). Voor andere waarden van  $B_{eq}/L_{0,p}$  mag lineair geïnterpoleerd worden tussen de twee omliggende diagrammen. De volgende vergelijking beschrijft de interpolatie:

$$K_d = K_{d,kl} + \frac{(BL - BL_{kl})}{(BL_{gr} - BL_{kl})} \cdot (K_{d,gr} - K_{d,kl})$$

waarbij

$K_d$	=	De gezochte diffractiecoëfficiënt
$K_{d,kl}$	=	De diffractiecoëfficiënt uit het diagram voor de kleinere B/L
$K_{d,gr}$	=	De diffractiecoëfficiënt uit het diagram voor de grotere B/L
BL	=	De waarde van B/L waarvoor de diffractiecoëfficiënt gezocht wordt
$BL_{kl}$	=	De B/L kleiner dan BL waarvoor een diagram bestaat
$BL_{gr}$	=	De B/L groter dan BL waarvoor een diagram bestaat

**Opmerking:**

1. Voor  $B_{eq}/L_{0,p} < 1$  moet het diagram met  $B_{eq}/L_{0,p} = 1$  aangehouden worden!
2. De diffractiecoëfficiënt heeft als geldigheidsbereik:  $0 < K_d \leq 1,1$

Voorbeeld:

Gegeven:

- Haven met opening tussen 2 havendammen.
- Uit STAP 1: golflengte  $L_{0,p} = 35,9$  m.
- Uit STAP 2:  $B_{eq} = 141,4$  m
- Uit STAP 3: Diagrammen type 2 van toepassing met grote richtingsverspreiding ( $S_{max} = 10$ )
- Coördinaten uitvoerpunt:  $X = 100$  m,  $Y = 400$  m => Uit STAP 4 volgt:  
 $X/L_{0,p} = 2,8$  en  $Y/L_{0,p} = 11,1$

Bepaling diffractiecoëfficiënt  $K_d$ :

- $B_{eq}/L_{0,p} = 3,9$  =>  $BL = 3,9$ ,  $BL_{kl} = 2$ ,  $BL_{gr} = 4$
- $K_d$  voor  $B_{eq}/L_{0,p} = 2$ : Voor  $X/L_{0,p}$  en  $Y/L_{0,p}$  in de buurt van resp. 2,8 en 11,1 worden  $K_d$ -waarden gevonden van 0,4 en 0,3 =>  $K_{d,kl} = 0,4$  aanhouden.
- $K_d$  voor  $B_{eq}/L_{0,p} = 4$ : Voor  $X/L_{0,p}$  en  $Y/L_{0,p}$  in de buurt van resp. 2,8 en 11,1 worden  $K_d$ -waarden gevonden van 0,5 =>  $K_{d,gr} = 0,5$  aanhouden.

Formule invullen:

$$K_d = 0,4 + [(3,9 - 2) / (4 - 2)] * (0,5 - 0,4) = 0,495 = 0,5 \text{ (afgerond)}$$

### 3.6 Berekening bijdrage transmissie

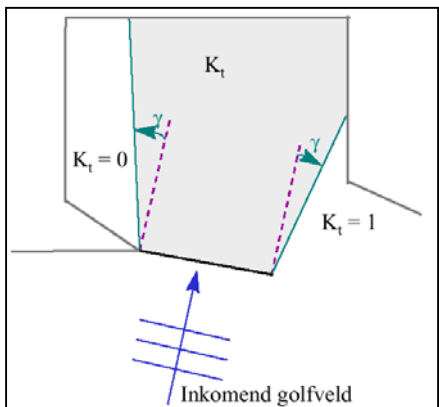
**Opmerking:**

1. Indien een uitvoerpunt niet in de transmissiezone ligt, zie Stap 1, is er geen bijdrage van transmissie in de golfhoogte ter plaatse van het uitvoerpunt, en kan transmissie verwaarloosd worden.
2. Voor een beschrijving van het proces wordt verwezen naar Bijlage 1

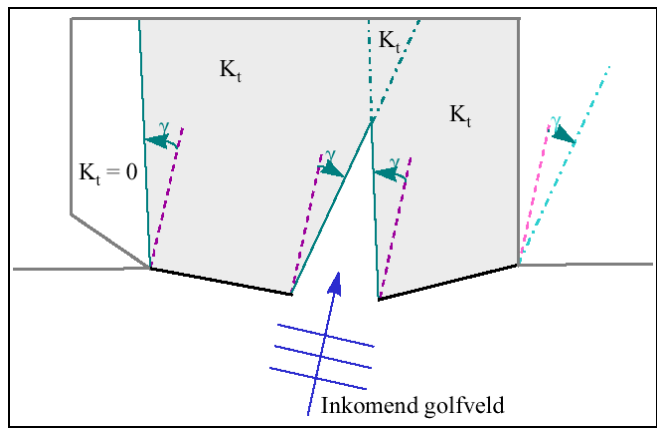
**STAP 1: Bepaal de locatie van het uitvoerpunt ten opzichte van de transmissiezone**

De transmissiezone wordt bepaald door vanuit zowel het uiteinde van de havendam als vanuit het verbindingspunt met het land lijnen te trekken. Teken deze lijnen eerst loodrecht op de lijn tussen de beginpunten. Vervolgens wordt de zone vergroot door deze lijnen onder een hoek  $\gamma = 15^\circ$  naar buiten te roteren. Het gehele gebied binnen de lijnen is de transmissiezone. Hieronder worden voorbeelden gegeven voor de bepaling van de transmissiezone voor de situatie met één havendam (figuur 7) en de situatie met twee havendammen (figuur 8).

Figuur 7  
Transmissiezone bij één havendam



Figuur 8  
Transmissiezone bij twee havendammen



## STAP 2: Keuze van de coëfficiënten in transmissieformule

Het type havendam(men) dat de haven afschermt bepaalt de coëfficiënten in de transmissieformule (zie tabel 3).

Tabel 3  
Coëfficiënten in de transmissieformule

Type havendam	$\alpha$	$\beta$
Caisson	2.2	0.40
Verticale wand	1.8	0.10
(Golfbrekerachtige) dam (helling 1:1.5)	2.6	0.15
Gladderichte dam met flauw talud (1:3 - 1:5)	2.4	0.4
Idem, maar met stortstenen kraagstuk	1.6	0.5
Heel breed caisson ( $B \gg L_{0,p}$ )	1.8	0.6
Anders	Vrij te bepalen	

## STAP 3 : Bepaling transmissiecoëfficiënt

1. Bepaal de hoogte van de kruin van de havendam(men)  $h_{dam}$  (in meters t.o.v. NAP). Als de hoogte van de kruin varieert, bepaal dan hoogte van de laagste kruin.
2. Bepaalde het vrijboord van de kruin ( $h_k$ ) voor de waterstand ( $h$ ) waarmee gerekend wordt:

$$h_k = h_{dam} - h$$

waarbij:

- $h_k$  = het vrijboord [m]  
 $h_{dam}$  = de hoogte van de kruin van de havendam(men) [m t.o.v. NAP]  
 $h$  = de waterstand [m t.o.v. NAP]

**Opmerking:**

Constructies op de dam welke niet ontworpen zijn voor de hier geldende ontwerpcondities, maar wel van invloed zijn op de hoogte van de kruin, mogen niet worden meegenomen bij de bepaling van de transmissie coëfficiënt. Immers, onder ontwerpomstandigheden zullen deze constructies zijn bezwaken en niet meer bijdragen aan de hoogte van de kruin van de dam. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan kerende damwanden.

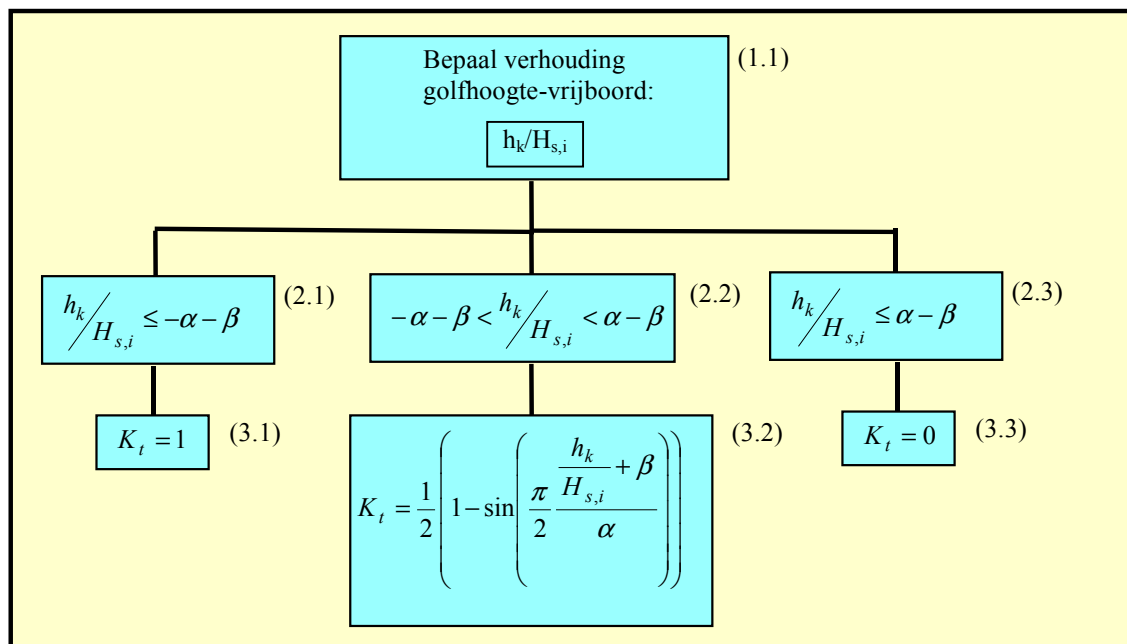
3. Bepaal de transmissiecoëfficiënt  $K_t$  uit de volgende formule, met behulp van het relatiediagram uit figuur 9.

$$\left. \begin{aligned} \frac{h_k}{H_{s,i}} \leq -\alpha - \beta & & K_t = 1 \\ -\alpha - \beta \leq \frac{h_k}{H_{s,i}} \leq \alpha - \beta & & K_t = \frac{1}{2} \left( 1 - \sin \left( \frac{\pi}{2} \frac{\frac{h_k}{H_{s,i}} + \beta}{\alpha} \right) \right) \\ \frac{h_k}{H_{s,i}} \geq \alpha - \beta & & K_t = 0 \end{aligned} \right\}$$

waarbij:

- $h_k$  = Het vrijboord [m]
- $H_{s,i}$  = De invallende golfhoogte [m]
- $\alpha$  = De alpha-coëfficiënt uit stap 2 [-]
- $\beta$  = De beta-coëfficiënt uit stap 2 [-]

Figuur 9  
Relatiediagram berekening transmissie  
coëfficiënt



**Opmerking:**

De transmissiecoëfficiënt heeft als geldigheidsbereik:  $0 < K_t \leq 1,0$

### 3.7 Bepaling effect interactie diffractie-transmissie

#### Opmerking:

1. De interactie diffractie-transmissie is alleen van belang indien er sprake is van zowel diffractie als transmissie. In alle andere gevallen hoeft deze interactie niet meegenomen te worden.
2. De diffractie-transmissiecoëfficiënt heeft als geldigheidsbereik:  
 $0 < K_{d,t} \leq 1,1$
3. Voor een beschrijving van het proces wordt verwezen naar Bijlage 1

#### STAP 1: Bepaling diffractie-transmissiecoëfficiënt $K_{d,t}$

Bereken de diffractie-transmissiecoëfficiënt  $K_{d,t}$  met de volgende formule:

$$K_{d,t} = \sqrt{(1 - K_t^2) \cdot K_d^2 + K_t^2}$$

waarbij:

$K_{d,t}$	= diffractie-transmissiecoëfficiënt	[-]
$K_t$	= transmissiecoëfficiënt	[-]
$K_d$	= diffractiecoëfficiënt	[-]

#### STAP 2: Bepaling bijdrage golfenergie als gevolg van diffractie en transmissie

De bijdrage aan de golfenergie in het uitvoerpunt als gevolg van diffractie en transmissie ( $E_{d,t}$ ) wordt gegeven door:

$$E_{d,t} = K_{d,t}^2 \cdot (0,25 \cdot H_{s,in})^2$$

waarin:

$E_{d,t}$	= golfenergie als gevolg van diffractie en transmissie	[m <sup>2</sup> ]
$K_{d,t}$	= diffractie-transmissiecoëfficiënt	[-]
$H_{s,in}$	= invallende golfhoogte	[m]

#### Opmerking:

1. Lokale golfgroei kan alleen in rekening worden gebracht in die situaties waarin de strijklengte groter is dan 100 m en de  $U_{10}$  groter is dan 5 m/s.
2. Voor een beschrijving van het proces wordt verwezen naar Bijlage 1



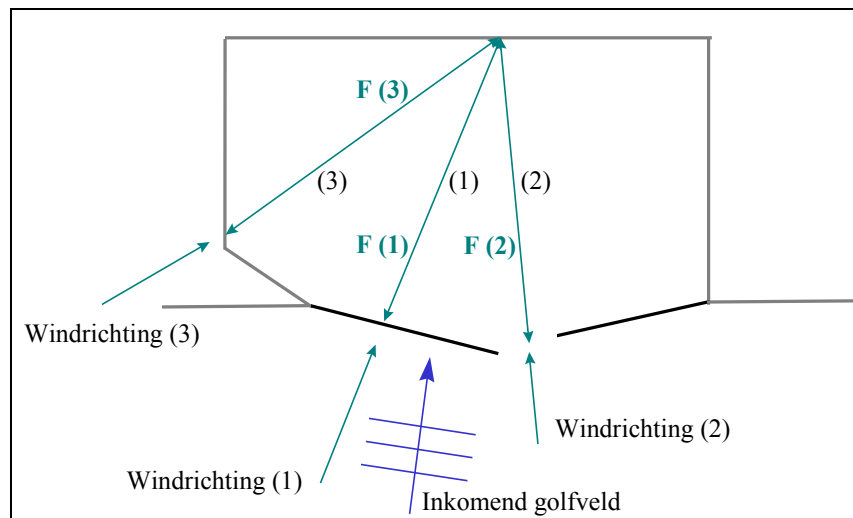
### 3.8 Bepaling bijdrage lokale golfgroei

#### STAP 1: Bepaling strijklengte $F$ en windsnelheid $U_{10}$

Zie figuur 10:

1. Trek een rechte lijn vanuit het uitvoerpunt in de richting tegengesteld aan de windrichting.
2. Het punt waar de lijn de rand van het havenbekken (3), een havendam (1) of de havenopening (2) snijdt, is het beginpunt van de werkelijke strijklengte.
3. Bepaal de lengte van de lijn in meters. Deze lengte is de strijklengte  $F$ .
4. Bepaal de windsnelheid  $U_{10}$  in de windrichting

.....  
 Figuur 10  
 Definitie strijklengte voor drie verschillende  
 windrichtingen en één uitvoerpunt



#### Opmerking:

Daar het hier om lokale golfgroei gaat, kan de strijklengte nooit groter worden dan de totale lengte van de haven. (Golfgroei buiten de haven is reeds opgenomen in de bepaling van de hydraulische condities buiten de haven)

#### STAP 2: Bepaling door wind opgewekte golfhoogte en golfperiode

De door wind lokaal opgewekte golfhoogte in het uitvoerpunt wordt berekend met de formule van Wilson. Deze is in tabelvorm weergegeven in tabel 4:

waarin:

- $F$  = Strijklengte [m]  
 $U_{10}$  = Windsnelheid, gemeten op 10 meter boven de grond [m/s]  
 $H_{s,lg}$  = Significante golfhoogte opgewekt door lokale golfgroei [m]

Voor tussenliggende waarden kan lineair geïnterpoleerd worden.

Tabel 4  
Golfhoogte  $H_s$  als functie van F en  $U_{10}$

		$U_{10}$ [m/s]									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
F [m]	100	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,38
	200	0,05	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,38	0,43	0,48	0,54
	300	0,06	0,13	0,19	0,26	0,33	0,39	0,46	0,53	0,59	0,66
	400	0,07	0,15	0,22	0,30	0,38	0,45	0,53	0,61	0,68	0,76
	500	0,08	0,16	0,25	0,34	0,42	0,51	0,59	0,68	0,76	0,85
	600	0,09	0,18	0,27	0,37	0,46	0,55	0,65	0,74	0,84	0,93
	700	0,09	0,19	0,29	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
	800	0,10	0,21	0,31	0,42	0,53	0,64	0,75	0,86	0,96	1,07
	900	0,10	0,22	0,33	0,45	0,56	0,68	0,79	0,91	1,02	1,14
	1000	0,11	0,23	0,35	0,47	0,59	0,71	0,83	0,96	1,08	1,20
	1100	0,11	0,24	0,37	0,49	0,62	0,75	0,87	1,00	1,13	1,26
	1200	0,12	0,25	0,38	0,51	0,65	0,78	0,91	1,04	1,18	1,31
	1300	0,12	0,26	0,40	0,53	0,67	0,81	0,95	1,09	1,22	1,36
	1400	0,13	0,27	0,41	0,55	0,70	0,84	0,98	1,13	1,27	1,41
	1500	0,13	0,28	0,42	0,57	0,72	0,87	1,02	1,17	1,31	1,46
	1600	0,13	0,28	0,44	0,59	0,74	0,90	1,05	1,20	1,36	1,51
	1700	0,14	0,29	0,45	0,61	0,77	0,92	1,08	1,24	1,40	1,56
	1800	0,14	0,30	0,46	0,63	0,79	0,95	1,11	1,27	1,44	1,60
	1900	0,14	0,31	0,47	0,64	0,81	0,98	1,14	1,31	1,48	1,64
	2000	0,15	0,32	0,49	0,66	0,83	1,00	1,17	1,34	1,51	1,69

STAP 3: *Bepaling door wind opgewekte golfenergie*

Reken de in STAP 2 berekende golfhoogte om naar een golfenergie met de volgende formule:

$$E_{lg} = (0.25 \cdot H_{s,lg})^2$$

$E_{lg}$  = door lokale wind opgewekte golfenergie [m<sup>2</sup>]  
 $H_{s,lg}$  = door lokale wind opgewekte significante golfhoogte [m]

### 3.9 Bepaling golfbelasting in het uitvoerpunt vanuit alle bijdragen

#### STAP 1: Bepaling van de totale golfenergie

De totale golfenergie  $E_{\text{totaal}}$  wordt gevonden door middel van het superponeren van de twee componenten ( $E_{d,t}$  en  $E_{lg}$ ). Dit gebeurt met onderstaande formule:

$$E_{\text{totaal}} = E_{d,t} + E_{lg}$$

#### STAP 2: Bepaling significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting

De significante golfhoogte wordt berekend met de volgende formule:

$$H_s = 4 * \sqrt{E_{\text{totaal}}}$$

De bijbehorende piekperiode  $T_p$  is gelijk aan de piekperiode buiten de haven. De bijbehorende golfrichting wordt loodrecht op de waterkering verondersteld, tenzij een betere benadering van de golfrichting mogelijk is.

#### **Opmerking:**

De golfhoogte heeft als geldigheidsbereik:  $H_s \geq 0$

#### STAP 3: Check op breken op ondiep voorland

Wanneer een ondiep voorland aanwezig is, dient nog een check te worden uitgevoerd of de berekende golven breken op dat voorland. De maximale golfhoogte ( $H_{s, \text{max}}$ ) die op het hoge voorland voor kan komen wordt bepaald met de vergelijking:

$$H_{s, \text{max}} = 0.7 * d_{\text{voorland}}$$

waarbij:

$d_{\text{voorland}}$  De waterdiepte op het hoge voorland [m]

Wanneer de berekende golfhoogte  $H_s$  groter is de maximale golfhoogte  $H_{s, \text{max}}$  zullen de golven breken tot een hoogte van  $H_{s, \text{max}}$ .

## 4 Bepaling golfrandvoorwaarden met geavanceerde methode

---

Indien met de gedetailleerde methode (STAP 5 in het schema voor toetsing van waterkeringen in havens) geen toetsresultaat “goed” verkregen is, of de gedetailleerde methode niet toegepast kan worden, kan worden besloten met geavanceerde modellen op een meer nauwkeurige wijze de golfbelasting in havens te bepalen. Hierbij gelden de overwegingen die in paragraaf 2.1 van dit rapport zijn beschreven:

1. Is het resultaat van de toetsing op veiligheid van bepaalde primaire waterkeringen in de havens overwegend “twijfelachtig”/“nader onderzoek” of “onvoldoende”?
2. Kan de methode voor toetsing (eenvoudig, gedetailleerd of geavanceerde toets conform de LTV) nog worden verfijnd?

In het geval het resultaat van de toetsing inderdaad overwegend “twijfelachtig”/“nader onderzoek” of “onvoldoende” luidt (punt 1), dan is toepassing van geavanceerde modellen in beginsel lonend. Wél moet dan bekeken worden of een meer verfijnde methode voor toetsing nog “winst” kan opleveren (punt 2). Als dat het geval lijkt, wordt aanbevolen eerst de meer verfijnde methode van toetsing uit te voeren.

Daarnaast moet met gezond verstand bekeken worden of geavanceerde modellen toegepast moeten worden als het gaat om betrekkelijk eenvoudige havengeometrieën (bijvoorbeeld nagenoeg vierkante of rechthoekige havenbekkens). In dergelijke gevallen is het zeer wel mogelijk dat geavanceerde modellen nauwelijks een meerwaarde hebben boven het gebruik van eenvoudige rekenregels/vuistregels.

Indien bovenbeschreven overwegingen niet leiden tot een keuze voor het wel of niet inzetten van geavanceerde modellen, dan is het raadzaam RIKZ, RIZA of DWW te raadplegen.

## 5 Case Buitenhaven Vlissingen

---

### 5.1 Inleiding

Als testcase van de gedetailleerde methode is gekozen om de golfcondities op enkele punten in de Buitenhaven Vlissingen te berekenen. Hiervan zijn door Alkyon [3] berekeningen gemaakt met SWAN [1]. In figuur 7 staat de Buitenhaven Vlissingen afgebeeld.

Gekozen is om zes uitvoerpunten door te rekenen. Één hiervan zal zowel handmatig als met het rekeninstrument doorgerekend worden, de andere vijf alleen met het rekeninstrument. Van de eerste berekening zal tevens nauwkeurig de gedetailleerde methode gevolgd worden, waarbij op- en aanmerkingen beschreven worden. Tevens zal door het al dan niet meenemen van de verschillende processen een gevoeligheidsanalyse gedaan worden. Op deze manier kan inzicht verkregen worden in de werkbaarheid van de gedetailleerde methode en het rekeninstrument. Van de andere vijf uitvoerpunten worden alleen de resultaten vermeld van de berekeningen.

Vervolgens wordt een vergelijking gemaakt met de gegevens uit het Hydraulisch Randvoorwaardenboek [2] en de resultaten van Alkyon [3]. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de nauwkeurigheid en de mate van eventueel conservatisme.

In het Hydraulisch Randvoorwaardenboek wordt de Buitenhaven Vlissingen in tien vakken opgedeeld. In figuur 12 staan deze weergegeven. In figuur 13 staan de uitvoerpunten zoals deze zijn gedefinieerd door Alkyon.

### 5.2 Schematisatie

- De Buitenhaven Vlissingen heeft een formaat van ongeveer 1700 \* 700 m<sup>2</sup>. Voor schematisatie is gekozen voor een schaal van 1:10000, zodat de haven op één A4-formaat papier past.
- Uitgaande van de haven, zoals in figuur 11 getoond, worden eerst alle niet relevante elementen verwijderd. Dit zijn alle bebouwingen op het haventerrein, de aanlegsteigers en alle gegevens buiten de waterkeringen.
- De waterkeringen kunnen vrij eenvoudig met rechte lijnen worden overgetrokken.
- Ook de rand van het haventerrein bestaat duidelijk uit vrijwel rechte lijnen.
- De hoogte van het haventerrein wordt conservatief geschat en vlak geschematiseerd. Het haventerrein ligt dan op NAP + 4,50 m (Bron: [1], figuur 3.10)

- De havendam vertoont in werkelijkheid een slinger, maar omdat de dam over de gehele lengte gelijk is opgebouwd is deze toch te schematiseren met behulp van één rechte lijn van het aanhechtingspunt tot het uiteinde.
- Genoteerd wordt dat de haven beschermd wordt door slechts één havendam. Dit is later van belang bij het diffractieproces.
- In de bodem van de haven wordt de vaargeul verwaarloosd, waardoor de havenbodem als vlak wordt geschematiseerd. Voor het grootste gedeelte ligt de havenbodem tussen de -10 en -20 m + NAP. (Bron: [1], figuur 3.10)

In dit geval is de schematisatie van de haven gelijk aan de schematisatie zoals deze in het Hydraulisch Randvoorwaardenboek staat weergegeven (zie figuur 12). In deze schematisatie kan vervolgens een dijkvak verdeling gemaakt worden. In dit geval wordt de verdeling van het Randvoorwaardenboek 1996 [2] gevolgd, aangezien niet voldoende gegevens over de Buitenhaven Vlissingen bekend zijn om een andere zinnigere verdeling te maken.

Voor de vergelijking van de resultaten staan in tabel 5 de uitvoerpunten van Alkyon die in deze case gebruikt worden gekoppeld aan de vakken volgens het Randvoorwaardenboek 1996 [2].

Voor de uitvoerpunten van Alkyon is de rand van het haventerrein aangehouden met uitzondering van de punten V03 en V34.

Tabel 5  
Definitie locaties uitvoerpunten

Eigen uitvoerpunt	RVB96 uitvoerpunt	Alkyon uitvoerpunt
DHV01	1	V41
DHV02	2	V03 <sup>*1</sup>
DHV03	4	V46
DHV04	6	V49
DHV05	9	V52
DHV06	10	V34 <sup>*1</sup>

<sup>\*1</sup>: Punt ligt aan teen van waterkering, op het haven terrein

In dit geval wordt de lokatie DHV02 uitgebreid doorgenomen. Hierbij wordt aan de hand van het stappenschema de methode handmatig doorgerekend. Tevens wordt de berekening uitgevoerd met behulp van het rekeninstrument. Van de andere lokaties wordt de resultaten berekend met het rekeninstrument en worden alleen de resultaten weergegeven.

**Opmerking**

In de case Buitenhaven Vlissingen zijn STAP 1 t/m 4 van het schema voor toetsen van waterkeringen in havens (figuur 1, hoofdstuk 2) overgeslagen en wordt alleen STAP 5 uitgevoerd.

### 5.3 Locatie DHV02

#### 5.3.1 Toetsen aan criteria gedetailleerde methode.

*Algemeen:*

- De haven heeft geen exotische vormen of grote obstakels die een beperkende rol van belang kunnen spelen bij de toepassing van de gedetailleerde methode.

*DiffRACTIE:*

- Alle locaties langs de waterkering hebben een directe zichtlijn vanaf het uiteinde van de havendam (aangrijpingspunt diffractie bij één havendam), behalve een klein stukje net ten noorden van de uitstulping westelijk van de havendam. Aangezien het hier slechts een klein stukje betreft wordt dit verwaarloosd.
- De bodem kan als vlak worden beschouwd.

De haven voldoet aan de criteria voor diffractie:

*Transmissie:*

- De havendam wordt als een rechte lijn beschouwd.

De haven voldoet aan de criteria voor transmissie.

Waarschijnlijk zullen bij de verschillende uitvoerpunten meerdere windrichtingen bekeken moeten worden om de grootste bijdrage aan de energie te vinden.

*Beperking door ondiep voorland:*

- Het haventerrein is als vlak geschematiseerd, dus heeft het een helling van minder dan 1:10.
- De lengte van het haventerrein loodrecht op de waterkering bedraagt ongeveer 250 m aan de noordzijde en ongeveer 125 m aan de oost- en westzijde van de haven. Wanneer de golflengte korter is dan deze 125 m, is sprake van een ondiep voorland. Dit komt overeen met een Piekperiode van ongeveer 9 s.

*Reflectie:*

- Door de vorm van de waterkeringen (dijken) wordt weinig invloed verwacht van reflectie. Dit is dan ook geen beperking voor het gebruik van de gedetailleerde methode.

### 5.3.2 Bepaling met gedetailleerde methode

#### Golfcondities buiten de haven

Voor de bepaling van de golfcondities is gekeken naar drie bronnen: De randvoorwaarden buiten de Buitenhaven Vlissingen, zoals berekend door Alkyon [4], de randvoorwaarden in de Westerschelde die door Alkyon berekend zijn met SWAN [3] en de randvoorwaarden uit het Randvoorwaardenboek 1996 (RVB96) [2]. In tabel 6 staan de gevonden randvoorwaarden weergegeven:

Tabel 6  
Golfcondities buiten de haven

Conditie aanduiding	Locatie	Diepte	Waterstand	Hs	Tp	Dir
[4] figuur 5.1, 5.2 & 5.3	Buitengaats van havendam		6.0 m+NAP	2.4 m	7 s	240 °
[3] Case W227H	X: 31000 Y: 384000	26.5 m		3.541 m	8.194 s	267 °
[2] tabel 4.29g Vak nr 005	km:37.8-38.2		5.30 m+NAP	2.21 m	9 s	0 °

Hierbij moet worden opgemerkt dat de golfcondities van Alkyon [3] een eind uit de kust liggen en de golfcondities van het Randvoorwaardenboek [2] vlak bij de dijkteen. Hier wordt gekozen voor de golfcondities van [4], omdat de gedetailleerde methode met de resultaten uit dit rapport vergeleken gaan worden.

In de praktijk kan het nodig zijn voor de verschillende uitvoerpunten binnen de haven verschillende golfcondities buiten de haven te bepalen.

#### Berekening bijdrage diffractie

##### Stap 1:

In deze case is sprake van een haven met één havendam.

Hoofdrichting van het golfveld t.o.v. normaal havendam:

$$240^\circ - 240^\circ = 0^\circ$$

$$\text{Golfhoogte } H_s = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Piekperiode } T_p = 7 \text{ s}$$

$$L_{0,p} = (g/2\pi) * T_p^2 = 76,50 \text{ m}$$

##### Stap 2:

Niet van toepassing op één havendam.

##### Stap 3:

In deze case is sprake van een haven met één havendam. Gebruikt worden de diagrammen van Type 1. Geen gegevens bekend over richtingsverspreiding van de invallende golven. Hier worden de diagrammen met grote richtingsverspreiding aangehouden:  $S_{\max} = 10$ .



**Stap 4:**

X: -100 m (evenwijdig aan havendam, richting havendam, dus negatief)

Y: 700 m (loodrecht op havendam)

$$X/L_{0,p} = -100/76,50 = -1,31$$

$$Y/L_{0,p} = 700/76,50 = 9,15$$

**Stap 5:**

Volgens de diagrammen in bijlage B2.1:

met  $X/L_{0,p} = -1$ :  $K_d = 0,7$

met  $X/L_{0,p} = -2$ :  $K_d = 0,7$

→ met  $X/L_{0,p} = 0,7$

### Berekening bijdrage Transmissie

**Stap 1:**

Transmissiezone: DHV02 ligt binnen het transmissiegebied.

Invallende golfhoogte  $H_s$ : 2.4 m

Hoogte dam: 5.80 m+NAP

Waterstand: 6 m+NAP

Vrijboord  $h_k$ : -0.20 m

**Stap 2:**

Type havendam: Type = Gladde dichte dam met flauw talud,  $\alpha = 2.4$ ,  $\beta = 0.4$  (bron: [1])

**Stap 3:**

$$-\alpha - \beta = -2.8$$

$$h_k/H_s = -8.3 \cdot 10^{-2}$$

$$\alpha - \beta = 2$$

→ invullen →  $K_t = 0.397$

### Berekening invloed van interactie

**Stap 1:**

$$K_d = 0.20$$

$$K_t = 0.397$$

$$K_{d,t} = \sqrt{\{(1 - K_t^2) \cdot K_d^2 + K_t^2\}} = 0.76$$

**Stap 2:**

$$E_{d,t} = K_{d,t}^2 \cdot (0.25 \cdot H_s)^2 = 0.21 \text{ m}^2$$

### Berekening bijdrage Lokale golfgroei

**Stap 1:**

De hoogste windsnelheid treedt op bij een hoek van 270 ° (± 33 m/s (bron [3])). Deze laatste zal waarschijnlijk een grotere bijdrage leveren. In de praktijk zal voor meerdere windrichtingen doorgerekend moeten worden.

Strijklengte F: 450 m

$U_{10} = 33 \text{ m/s}$

**Stap 2:**

Volgens tabel 4 in het stappenplan:

(met  $U_{10} = 30 \text{ m/s}$  en  $F = 450 \text{ m}$ ):  $H_{s,lg} = 0,48$

(met  $U_{10} = 35 \text{ m/s}$  en  $F = 450 \text{ m}$ ):  $H_{s,lg} = 0,56$

Via lineaire interpolatie:  $H_{s,lg} = 0,48 + \{(33 - 30) / (35 - 30)\} * (0,56 - 0,48) = 0,53$

**Stap 3:**

$$E_{lg} = (0.25 * H_{s,lg})^2 = 0.018 \text{ m}^2$$

### Bepaling golfcondities op uitvoerpunt DHV02

**Stap 1:**

$$E_{\text{totaal}} = E_{d,t} + E_{lg} = 0.21 + 0.018 = 0.228 \text{ m}^2$$

$$H_s = 4 * \sqrt{E_{\text{tot}}} = 1.9 \text{ m}$$

$$T_p = 7.0 \text{ s}$$

**Stap 2:**

Ondiep voorland aanwezig

Waterstand: 6 m+NAP

Niveau Voorland: 4.50 m+NAP

Waterdiepte op voorland: 1.50 m

$$H_{s,max} = 0.7 * (1.5) = 1.05 \text{ m}$$

$$H_s = \min(H_{s,max}, H_s) = 1.05 \text{ m}$$

### 5.4 Overige locaties

.....  
Tabel 7  
Resultaten berekeningen met  
rekeninstrument

DHV01	DHV02
X = 50 m	X = 50 m
Y = 370 m	Y = 370 m
$K_d = 0.70$	$K_d = 0.70$
$K_t = 0.397$	$K_t = 0.397$
$K_{d,t} = 0.76$	$K_{d,t} = 0.76$
$\alpha_{wind} = 270^\circ$	$\alpha_{wind} = 270^\circ$
$E_{l,g} = 0.014 \text{ m}^2$	$E_{l,g} = 0.017 \text{ m}^2$
$H_s = 1.9 \text{ m}$	$H_{s, max} = 1.05$
$T_p = 7.0 \text{ s}$	$H_s = 1.05 \text{ m}$
	$T_p = 7.0 \text{ s}$

DHV03	DHV04
$X = -350 \text{ m}$ $Y = 900 \text{ m}$ $K_d = 0.60$ $K_t = 0.397$ $K_{d,t} = 0.68$  $\alpha_{wind} = 270^\circ$ $E_{l,g} = 0.018 \text{ m}^2$  $H_s = 1.7 \text{ m}$ $T_{p_i} = 7.0 \text{ s}$	$X = -590 \text{ m}$ $Y = 1100 \text{ m}$ $K_d = 0.50$ $K_t = 0.397$ $K_{d,t} = 0.61$  $\alpha_{wind} = 240^\circ$ $E_{l,g} = 0.009 \text{ m}^2$  $H_s = 1.5 \text{ m}$ $T_{p_i} = 7.0 \text{ s}$
DHV05	DHV06
$X = -550 \text{ m}$ $Y = 810 \text{ m}$ $K_d = 0.48$ $K_t = 0.397$ $K_{d,t} = 0.59$  $\alpha_{wind} = \text{n.v.t.}$ $E_{l,g} = \text{n.v.t.}$ $H_{s, \text{max}} = 1.05$  $H_{s;\text{max}} = 1.05 \text{ m}$ $T_{p_i} = 7.0 \text{ s}$	$X = -440 \text{ m}$ $Y = 490 \text{ m}$ $K_d = 0.41$ $K_t = 0.397$ $K_{d,t} = 0.55$  $\alpha_{wind} = \text{n.v.t.}$ $E_{l,g} = \text{n.v.t.}$  $H_s = 1.3 \text{ m}$ $T_{p_i} = 7.0 \text{ s}$

## 5.5 Vergelijking resultaten

In onderstaande tabellen staan de resultaten van de berekeningen weergegeven.

Tabel 8  
Vergelijking resultaten: golfhoogte

H <sub>s</sub> op uitvoerpunt [m]	Golfhoogte Buiten	Gedetailleerde Methode	Alkyon	RVB 96
DHV01 / V41 / Vak 1	2,40	1,9	1,13	1,35 <sup>*1, *2</sup>
DHV02 / V03 / Vak 2	2,40	1,1	0,67	0,85 <sup>*1, *2</sup>
DHV03 / V46 / Vak 4	2,40	1,7	0,71	1,00 <sup>*1, *2</sup>
DHV04 / V49 / Vak 6	2,40	1,5	0,72	0,60 <sup>*2, *3</sup>
DHV05 / V52 / Vak 9	2,40	1,1	0,41	0,60 <sup>*2, *4</sup>
DHV06 / V34 / Vak 10	2,40	1,3	0,52	0,60 <sup>*2, *4</sup>

\*1: Golfhoogte berekend via superponering van energiën

\*2: Dit is exclusief 0.20 m toeslag voor Seiches

\*3: Geen waarde voor lokaal opgewekte golven

\*4: Geen waarde voor indringing

De vergelijking van de resultaten van de verschillende methodieken laat duidelijk zien dat er een verfijning in de randvoorwaarden optreedt. De gedetailleerde methode resulteert in golfrandvoorwaarden welke in alle gevallen lager zijn dan de golfrandvoorwaarden buiten de haven. Daarnaast zijn de resultaten van de gedetailleerde methode altijd conservatiever dan de resultaten van de geavanceerde methode.

Tabel 9  
Vergelijking resultaten: golfperiode

T <sub>p,eq</sub> op uitvoerpunt [s]	Piekperiode Buiten	Gedetailleerde Methode	Alkyon	RVB 96
DHV01 / V41 / Vak 1	7,0	7,0	8.46	8.53 <sup>*1</sup>
DHV02 / V03 / Vak 2	7,0	7,0	7.31	5.10 <sup>*1</sup>
DHV03 / V46 / Vak 4	7,0	7,0	4.69	5.40 <sup>*1</sup>
DHV04 / V49 / Vak 6	7,0	7,0	6.51	6.00 <sup>*2</sup>
DHV05 / V52 / Vak 9	7,0	7,0	7.64	2.80 <sup>*3</sup>
DHV06 / V34 / Vak 10	7,0	7,0	5.31	- <sup>*4</sup>

\*1: Berekend via equivalente-periode-methode (vierde-machts-formule).

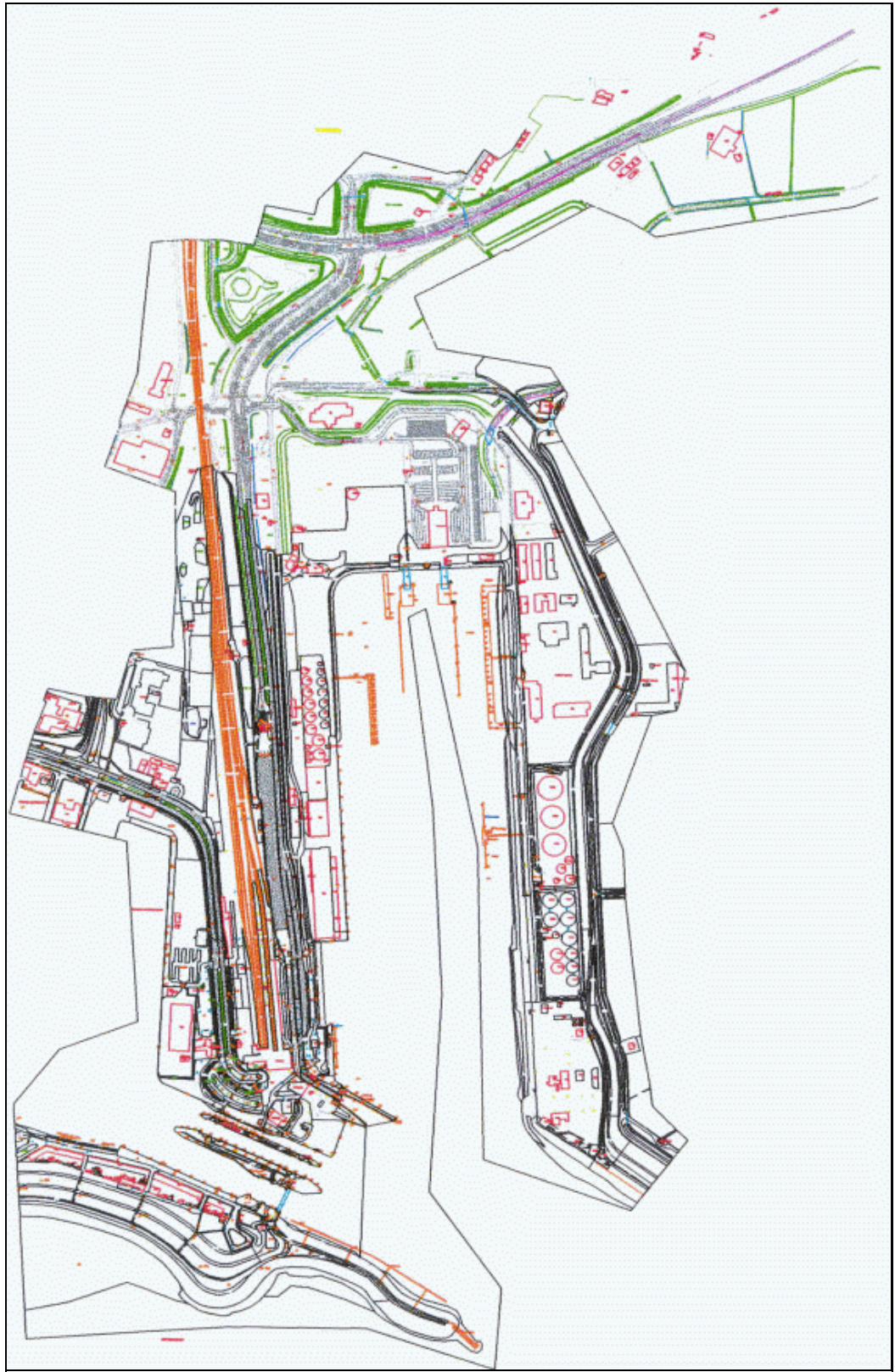
\*2: Alleen waarde ten gevolge van indringing gegeven

\*3: Alleen waarde ten gevolge van lokale golfgroei gegeven

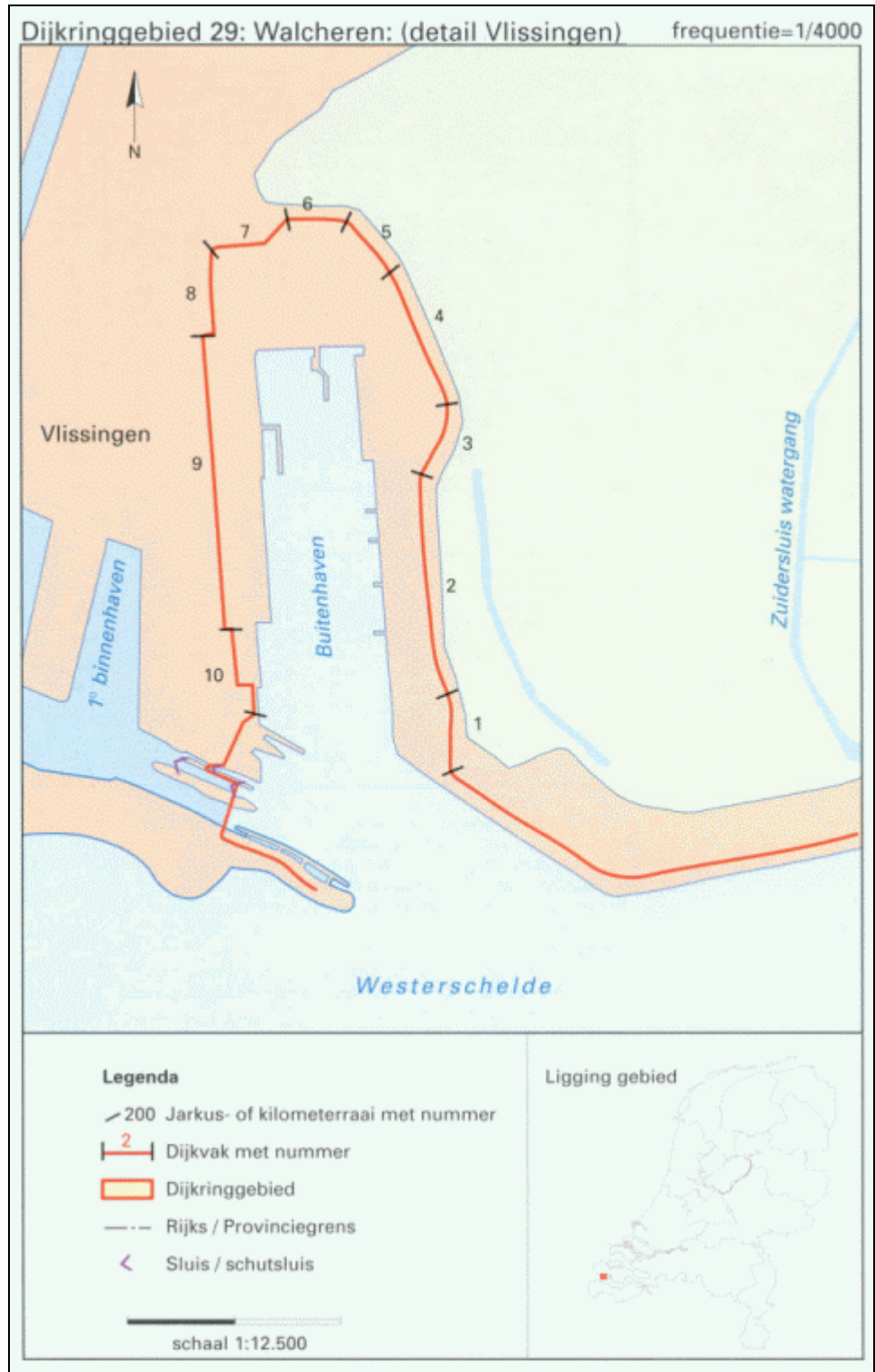
\*4: Geen waarde gegeven

De vergelijking van de berekende equivalente piekperiodes laat zien dat de piekperiode resulterend uit de geavanceerde methode in sommige gevallen hoger is dan de piekperiode resulterend uit de gedetailleerde methode. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door het hanteren van verschillende randvoorwaarden buiten de haven.

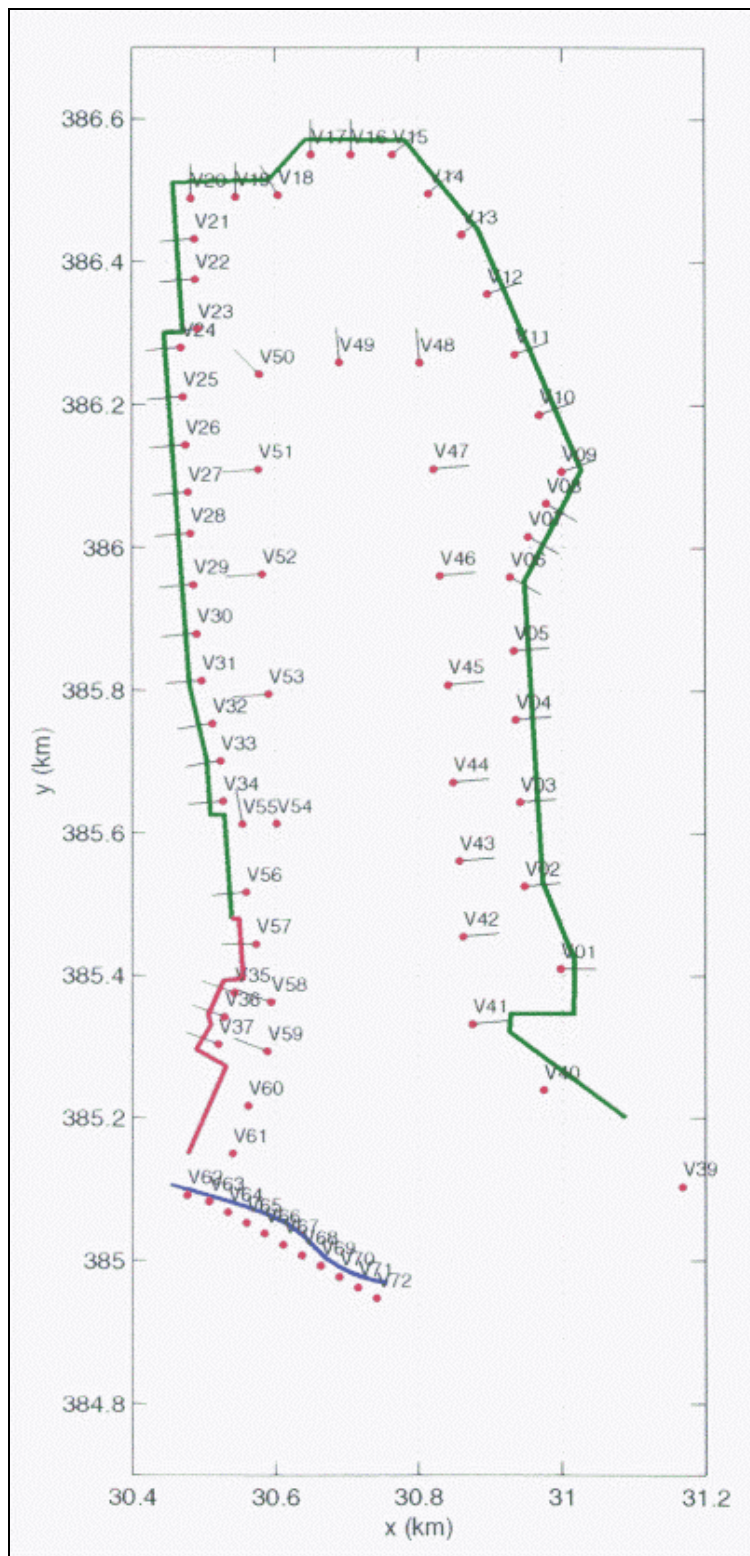
.....  
Figuur 11  
Gis-compilatie van Buitenhaven Vlissingen



Figuur 12  
Vakindeling Buitenhaven Vlissingen



Figuur 13  
Uitvoerpunten zoals gedefinieerd door Alkyon



## 6 Symbolen

---

$\alpha$	coëfficiënt in golfgroeiformule van Wilson	[-]
$a$	wind hoofdwindrichting	[gr. tov N]
$\beta$	coëfficiënt in golfgroeiformule van Wilson	[-]
$\beta$	hoek tussen de invallende golfrichting en de normaallijn van de opening	[graden]
$\gamma$	verspreidingshoek transmissie	[graden]
$B$	werkelijke breedte van de opening tussen twee havendammen	[m]
$B_{eq}$	equivalente breedte van de opening tussen twee havendammen	[m]
$d$	lokale waterdiepte	[m]
$E_{d,t}$	golfergie in een punt als gevolg van diffractie en transmissie alleen	[m <sup>2</sup> ]
$E_{lg}$	golfergie opgewekt door lokaal windveld	[m <sup>2</sup> ]
$E_{totaal}$	totale golfergie in een punt	[m <sup>2</sup> ]
$F$	strijklengte	[m]
$H_s$	significante golfhoogte	[m]
$H_{s,i}$	invallende significante golfhoogte (juist buiten de haven)	[m]
$H_{s,d}$	significante golfhoogte als gevolg van diffractie alleen	[m]
$H_{s,t}$	significante golfhoogte als gevolg van transmissie alleen	[m]
$h$	waterstand	[m tov NAP]
$h_{dam}$	hoogte van de kruin van de havendam(men)	[m tov NAP]
$h_k$	vrijboord van de havendam(men)	[m]
$h_m$	waterdiepte op ondiep voorland bij een bepaalde waterstand	[m]
$L$	lokale golflengte	[m]
$L_{0,p}$	golflengte op diep water, behorend bij de piekperiode $T_p$	[m]
$T_p$	piekperiode	[s]
$T_{p,i}$	invallende piekperiode (juist buiten de haven)	[s]
$K_d$	diffractiecoëfficiënt, gedefinieerd als $H_{s,d} / H_{s,i}$	[-]
$K_t$	transmissiecoëfficiënt, gedefinieerd als $H_{s,t} / H_{s,i}$	[-]
$K_{d,t}$	diffractie-transmissiecoëfficiënt	[-]
$O$	oorsprong van het x,y-assenstelsel van een diffractiediagram	[m]
$U_{10}$	windsnelheid op 10 m boven maaiveld	[m/s]
$X$	de afstand van het uitvoerpunt tot de y-as van een diffractiediagram	[m]
$Y$	de afstand van het uitvoerpunt tot de x-as van een diffractiediagram	[m]



## 7 Literatuur

---

- [1] TAW, *Leidraad Toetsen op Veiligheid*, 1999
- [2] DWW, *Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen*, Delft, 1996
- [3] Alkyon, *SWAN golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen*, A384, 1999
- [4] Alkyon, *Hydraulische randvoorwaarden Buitenhaven Vlissingen*, A677, januari 2001
- [5] US Army Corps of Engineers, *Shore Protection Manual*, Volume I and II, 1984
- [6] Alkyon, *Golfrandvoorwaarden voor in door dammen afgeschermd gebied*, Band B, A314, 1998
- [7] Goda, Y., Takeda, H., Moriya, Y., *Laboratory investigation of wave transmission over breakwaters*, Rep. Port & Harbour Res Inst, January 1967
- [8] Holthuijsen, L.H., et. al., *SWAN User manual Cycle 2 version 40.01*, TU Delft, 1999
- [9] Alkyon, *Golfrandvoorwaarden voor in door dammen afgeschermd gebied*, Band A, A314, 1998
- [10] TAW, *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken*, deel 2 - benedenrivierengebied, 1989
- [11] Ris, R.C., et al., *Deep water wave growth at short fetches for high wind speeds*, 2001
- [12] Holthuijsen, L.H., *Methoden voor golfvoorspelling*, TAW 1980

Programmatuur:

- {1} SWAN, versie 30.62

## BIJLAGE 1

## FYSISCHE PROCESSEN IN HAVENS

---

### B1.1 Inleiding

De (wind)golfbelasting in havens wordt overwegend bepaald door de volgende fysische processen:

- Diffractie
- Transmissie
- Lokale golfgroei door wind
- Golfhoogtebeperking door ondiep voorland
- Interactie tussen golfgroei en hoog frequent deel van het aanwezige golfspectrum
- Triad en quadruplet interacties
- Refractie
- Reflectie
- Dissipatie

Voor de eerste vijf genoemde processen komen in de hiernavolgende hoofdstukken B1.2 t/m B1.6 van deze bijlage per fysisch proces de volgende onderwerpen aan de orde:

- een algemene beschrijving van het fysische proces,
- de gekozen gedetailleerde methode (en toepassingscriteria) voor de beschrijving van het fysische proces ten behoeve van de bepaling van golfbelasting in havens.

In hoofdstuk B1.7 wordt aangegeven hoe de resulterende golfbelasting in een uitvoerpunt uit de verschillende bijdragen berekend wordt.

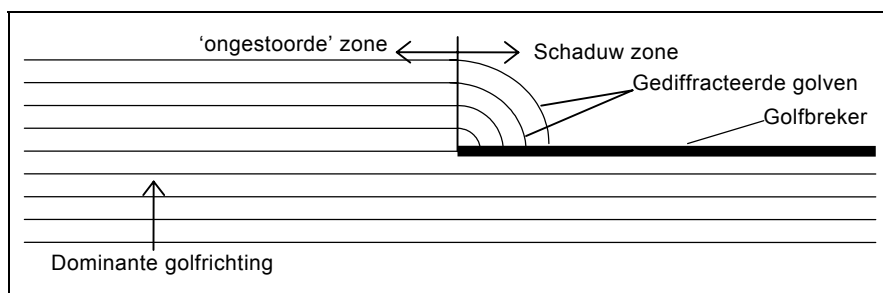
De overige fysische processen zijn niet in de gedetailleerde methode voor de bepaling van golfbelasting in havens meegenomen. Van deze fysische processen is in hoofdstuk B1.8 van deze bijlage per proces een korte algemene beschrijving opgenomen en zijn de redenen aangevoerd voor het niet in rekening brengen van het betreffende proces.

## B1.2 Diffractie

### B1.2.1 Algemene beschrijving fysische proces

Diffractie zorgt voor een verspreiding van binnenkomende golfenergie in laterale richting naar gebieden met een lagere golfenergie. Een voorbeeld hiervan is wanneer lopende golven een opstakel, zoals een golfbreker (havendam), treffen. Achter de golfbreker ontstaat een schaduwzone. Door het verschil in energiedichtheid tussen de ongestoorde golven die langs de golfbreker lopen en het golfveld in de schaduwzone achter de golfbreker, zal overdracht plaatsvinden van energie. Dit wordt gevisualiseerd in Figuur B1. Door diffractie van golfenergie is de golfhoogte in de ongestoorde zone in het algemeen lager dan wanneer geen diffractie zou optreden en voor de schaduwzone geldt dit andersom.

Figuur B1  
Diffractie van golfenergie richting de schaduwzone



De binnendringende golfenergie is in meer of mindere mate verspreid over het richtingendomein (richtingsspreiding van golfenergie). In het geval overwegend sprake is van deininggolven, elders opgewekte golven, zal de richtingspreiding relatief gering zijn, in het geval van lokale windgolven zal de richtingspreiding relatief groot zijn. Golfenergie van deininggolven zal zich dientengevolge bij voortplanting in een nauwere richtingenband blijven concentreren dan het geval is bij golfenergie van windgolven.

### B1.2.2 Eenvoudige methode voor de beschrijving van het fysische proces

#### Afwegingen

Diffractieberekeningen kunnen ofwel uitgevoerd worden middels geavanceerde modellen als DIFFRAC en PHAROS ofwel met behulp van de diagrammen in de Shore Protection Manual [5]. Voor toepassing in een gedetailleerde methode zijn de modellen DIFFRAC en PHAROS ongeschikt. De keuze voor het in rekening brengen van diffractie met behulp van de diagrammen in de Shore Protection Manual [5] is daarmee de voor de hand liggend.

*Methode Shore Protection Manual*

Voor een eenvoudige beschrijving van diffractie is gekozen voor de beschrijving met standaard diffractiediagrammen zoals opgenomen in de Shore Protection Manual [5]. Deze diagrammen geven voor eenvoudige situaties standaardoplossingen van de analytische berekening van diffractie per frequentie van een aangepast Bretschneider spectrum. Aangezien de oplossingen niet erg gevoelig zijn voor de vorm van het energiespectrum, wordt aangenomen dat de oplossingen ook van toepassing zijn op een JONSWAP-spectrum. De oplossingen worden gepresenteerd in de vorm van een diffractiecoëfficiënt  $k_t$ , gedefinieerd als het quotiënt van de gediffracteerde golfhoogte ( $H_d$ ) en de inkomende golfhoogte ( $H_i$ ) en zijn bepaald voor zowel situaties met één half-oneindige golfbreker als voor twee half-oneindige golfbrekers met een opening (voor verhoudingen van openingsbreedte/golflengte ( $B/L$ ) 1, 2, 4 en 8). Wanneer de opening breder wordt dan ongeveer 5 golflengtes ( $B/L > 5$ ) zullen golfbrekeruiteinden elkaar niet meer beïnvloeden en kan de oplossing op een punt bepaald worden uit de superpositie van de oplossingen voor twee half-oneindige golfbrekers.

De oplossingen zijn wel gevoelig voor de mate van richtingsverspreiding van het golfveld. De maat voor de richtingsverspreiding wordt in de Shore Protection Manual [5] aangeduid met de parameter  $S_{max}$ . Een grote richtingsverspreiding, kenmerkend voor een door lokale wind gegenereerd golfveld, wordt gekarakteriseerd door een relatief lage waarde voor  $S_{max}$ . Deningsgolven hebben een kleine richtingsverspreiding en derhalve een relatief grote waarde voor  $S_{max}$ . De diagrammen in de Shore Protection Manual [5] zijn gegeven voor de situatie van  $S_{max} = 10$  (lokaal opgewekte golven domineren) en  $S_{max} = 75$  (deiningsgolven domineren).

*Praktische toepassing in de gedetailleerde methode*

In het Achtergronddocument zijn de diagrammen uit de Shore Protection Manual [5] in numerieke tabelvorm geschematiseerd opgenomen (zie bijlage 2). Hierbij is voor elke cel in de tabel de waarde gegeven die het beste de lokale oplossing benadert (zie figuur B2). Tussen de iso-lijnen van de diffractiediagrammen is niet geïnterpoleerd, maar is de hoogste waarde aangehouden van de twee omhullende iso-lijnen. Hierdoor ontstaat een getrapt patroon. Door deze vereenvoudiging van de oplossing zal de  $K_t$ -waarde ter plaatse in het algemeen enigszins overschat worden (nooit onderschat!) ten opzichte van de  $K_t$ -waarde die zou volgen uit nauwkeurige, lineaire interpolatie. De overschatting van de  $K_t$ -waarde bedraagt maximaal 10%.

.....  
Tabel B1  
Gedeelte van geschematiseerde diffractie  
diagram voor  $S_{max} = 10$  en  $B/L = 10$

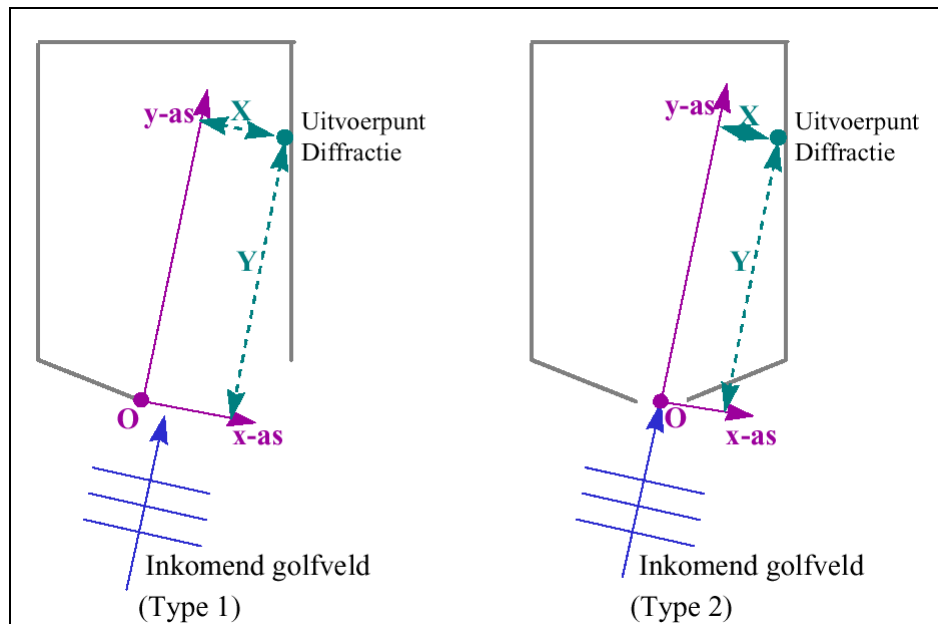
	0.5	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5
	0.4	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5
Y/L	0.3	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
	0.4	1.0	0.9	0.8	0.6	0.4
	0.2	1.0	1.0	1.0	0.5	0.4
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
		X/L				

De beheerder geeft de locatie van het uitvoerpunt op in de vorm van coördinaten in een x,y-assenstelsel:

- in het midden van de opening in een situatie met twee havendammen of
- op het uiteinde van de havendam in een situatie met één havendam.

De y-as is gedefinieerd als de as die parallel loopt aan de inkomende golfrichting en de x-as staat loodrecht op de y-as. Zie figuur B2 voor een weergave van de hierboven beschreven definitie.

Figuur B2  
Definitie assenstelsel in de diffractiediagrammen



De golflengte  $L$  volgt uit de inkomende golfperiode en wordt berekend aan de hand van de relatie tussen golfperiode en golflengte geldend voor diep water:  $L = L_{o,p} = (g/2\pi) T_p^2$ . Voor ondiep water condities of in het overgangsgebied tussen diep en ondiep water condities gelden in feite andere betrekkingen, resulterend in een kleinere golflengte. Het gebruik van de grotere, diep water golflengte is echter maatgevend.

Met de berekende golflengte  $L$  is uit de geschematiseerde diffractiediagrammen de diffractiecoëfficiënt  $K_d$  af te lezen.

Met behulp van de vergelijking

$$E_{s,d} = K_d^2 \cdot E_{s,i}$$

waarbij met

$$E_{s,i} = (0.25 \cdot H_{s,i})^2$$

wordt de bijbehorende gediffracteerde golfenergie berekend.

De diffractiediagrammen zijn bepaald voor vaste waarden van B/L (1, 2, 4 en 8). In praktijk zal de breedte van de opening tussen twee van deze waarden liggen. Volgens de Shore Protection Manual [5] kan lineair geïnterpoleerd worden om de diffractiecoëfficiënt te bepalen voor tussenliggende openingsbreedtes. In het geval B/L < 1 wordt de diagram met B/L = 1 aangehouden (hetgeen een conservatieve benadering is).

### B1.3 Transmissie

#### B1.3.1 Algemene beschrijving fysische proces

Golftransmissie door en over dammen is het verschijnsel waarbij een deel van de golfenergie door en over de dammen het afgeschermd gebied binnendringt. Het verschijnsel golftransmissie is in het verleden in het algemeen alleen in rekening gebracht op de golfhoogte, waarbij de verhouding tussen de getransmitteerde golfhoogte ( $H_s$ ) en de inkomende golfhoogte ( $H_i$ ) de zogenoemde transmissiecoëfficiënt ( $K_t$ ) is. Uit onderzoek [6] blijkt echter dat golftransmissie ook een effect heeft op de vorm van het spectrum, waarbij energie opschuift van het lage frequentie deel van het spectrum naar het hoge frequentie deel. Daarbij blijft de piekperiode ( $T_p$ ) van het spectrum nagenoeg gelijk, maar wordt de gemiddelde periode ( $T_m$ ) kleiner. Het opschuiven van golfenergie naar het hoge frequentie-spectrum heeft effect op lokale golfgroei door wind.

#### B1.3.2 Eenvoudige methode voor de beschrijving van het fysische proces

##### *Afwegingen*

Uit literatuur zijn verscheidene transmissieformuleringen bekend. De meest bekende is wel de formule van Goda [7] die de golftransmissie voor verticale constructies beschrijft. Hierbij treedt alleen transmissie op óver de constructie heen en geen transmissie dóór de constructie heen. De vergelijking is tot stand gekomen na onderzoek met regelmatige golven. De formulering van de vergelijkingen is als volgt:

$$\left| \begin{array}{ll} \frac{h_k}{H_i} \leq -\alpha - \beta & K_t = 1 \\ -\alpha - \beta \leq \frac{h_k}{H_i} \leq \alpha - \beta & K_t = \frac{1}{2} \left( 1 - \sin \left( \frac{\pi}{2} \frac{\frac{h_k}{H_i} + \beta}{\alpha} \right) \right) \\ \frac{h_k}{H_i} \geq \alpha - \beta & K_t = 0 \end{array} \right.$$

Hierbij gaf Goda de enkele waarden voor  $\alpha$  en  $\beta$  bij verschillende caisson types. Voorts zijn middels modelonderzoek voor andere damconstructies coëfficiënten  $\alpha$  en  $\beta$  afgeleid. In onderstaande tabel zijn deze coëfficiënten gegeven ([6] en [8]):

Tabel B2  
Coëfficiënten in transmissieformulering

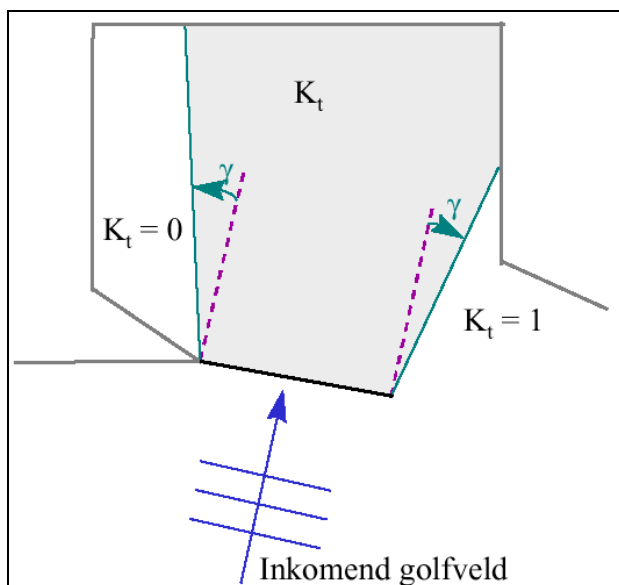
Caissontype	$\alpha$	$\beta$
Caisson	2.2	0.40
Verticale wand	1.8	0.10
(Golfbrekerachtige) dam (helling 1:1.5)	2.6	0.15
Gladde dichte dam met flauw talud (1:3 - 1:5)	2.4	0.4
Idem, maar met stortstenen kraagstuk	1.6	0.5
Heel breed caisson ( $B \gg L_0$ )	1.8	0.6

De transmissieformulering van Goda [7] wordt heden ten dage veelvuldig toegepast, en is onder andere in SWAN {1} ingebouwd. Overige in de literatuur vermelde transmissieformuleringen zijn veel minder algemeen toegepast of zijn minder eenvoudig. De veelvuldige praktische toepassing en de relatieve eenvoud van de transmissieformulering van Goda [7] zijn dan ook de redenen voor het opnemen van deze formulering in deze gedetailleerde methode.

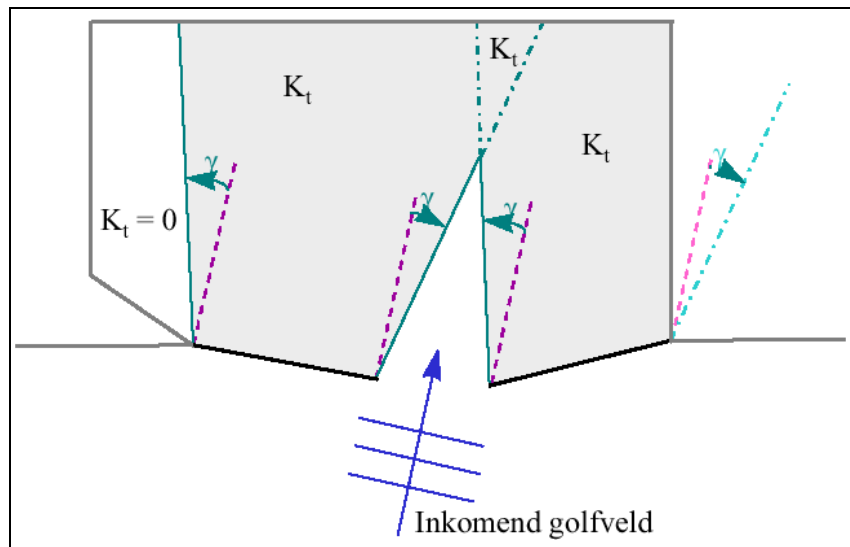
*Praktische toepassing in de gedetailleerde methode*

Met de transmissieformulering van Goda [7] wordt op basis van de golfrandvoorwaarden buiten de haven en de gegevens over de havendammen een transmissiecoëfficiënt  $K_t$  berekend. Deze transmissiecoëfficiënt is geldig in de zogenaamde **transmissiezone**, die hier gedefinieerd is als de zone in de haven waarin getransmitteerde golfenergie aanwezig is. Deze zone wordt bepaald door de verspreiding van de getransmitteerde golfenergie in de haven als gevolg van de richtingsspreiding van deze golfenergie. Als maat voor de hoek waaronder de verspreiding van golfenergie plaatsvindt, wordt 15 graden ten opzichte van de hoofdrichting aangehouden (waarbij dus wordt verondersteld dat de golfenergie zich concentreert in een richtingenband van 30 graden). In onderstaande figuren wordt geïllustreerd hoe de transmissiezone “geconstrueerd” wordt:

Figuur B3  
Transmissiezone voor situatie met één havendam



.....  
 Figuur B4  
 Transmissiezone voor situatie met twee  
 havendammen



In de gehele transmissiezone wordt een uniforme getransmitteerde golfenergie verondersteld (overal binnen de transmissiezone geldt dezelfde transmissiecoëfficiënt  $K_t$ ). Ook bij eventueel overlappende transmissiezones wordt dezelfde transmissiecoëfficiënt  $K_t$  aangehouden. Het uniform houden van de transmissiecoëfficiënt  $K_t$  heeft aan de randen van de transmissiezone een scherpe overgang tot gevolg. In de praktijk zal deze overgang diffuser zijn en tot 0 reduceren in een overgangszone.

In de gedetailleerde methode wordt het effect van transmissie op de **gemiddelde golfperiode** (verschuiving van een deel van de energie in het spectrum van lage frequenties naar hoge frequenties) niet in rekening gebracht. De **piekperiode** van het getransmitteerde spectrum is gelijk aan die van het inkomende golfspectrum.



## B1.4 Interactie tussen Diffractie en Transmissie

### B1.4.1 Algemene beschrijving fysische proces

Achter een golfbreker is het golfveld opgebouwd uit bijdragen van transmissie en diffractie. Aangezien diffractie het verschijnsel is waarbij golfenergie zich lateraal verspreid vanuit een zone met een relatief grote energiedichtheid naar een zone met relatief lage energiedichtheid, is de mate van diffractie afhankelijk van de mate van transmissie. Immers bij relatief grote transmissie over en door havendammen zijn de gradiënten in golfenergie in de haven relatief klein.

### B1.4.2 Eenvoudige methode voor de beschrijving van het fysische proces

De bovenbeschreven interactie tussen diffractie en transmissie is kan worden beschreven met behulp van de volgende formule [9]:

$$E_{tot} = E_i \cdot \left\{ (1 - K_t^2) * K_d^2 + K_t^2 \right\}$$

waarin:

$E_{tot}$	= totale golfenergie als gevolg van diffractie en transmissie	$[m^2]$
$E_i$	= de inkomende golfenergie	$[m^2]$
$K_t$	= de transmissiecoëfficiënt	$[-]$
$K_d$	= de diffractiecoëfficiënt	$[-]$

Bij deze formule geldt het principe van superpositie van energie uit verschillende bronnen.

De formule heeft de eigenschap dat in een punt waarbij  $K_d = 1$  of  $K_t = 1$  de totale golfenergie in dat punt gelijk is aan de inkomende golfenergie.

De bovenbeschreven formule is geïmplementeerd in de gedetailleerde methode.

## B1.5 Lokale golfgroei

### B1.5.1 Algemene beschrijving fysische proces

In een havenbekken zullen, naast golven die op de een of andere manier van buiten het bekken komen, ook golven opgewekt worden door lokale golfgroei. Hierbij wordt energie van wind overgedragen aan het golfveld. Bepalende parameters zijn windsnelheid, bodemruwheid, waterdiepte en strijklengte. In de loop der jaren zijn vele modellen ontwikkeld die golfgroei voorspellen. Voor eenvoudige situaties worden over het algemeen empirisch afgeleide groeicurves gebruikt. Verschillende personen hebben groeicurves bepaald voor verschillende omstandigheden. Een bekende set vergelijkingen en bijbehorende groeicurves zijn bepaald door Bretschneider en beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken [10]. Met de methode Bretschneider kunnen de significante golfhoogte en piekperiode voor ondiep-water condities vrij goede schattingen gedaan worden. Wilson heeft in 1965 [11] een golfgroeiformulering ontwikkeld die van toepassing is op diep water condities en bij relatief korte strijklengtes en hoge windsnelheden.

### B1.4.2 Eenvoudige methode voor de beschrijving van het fysische proces

#### *Afweging*

In zowel Ris et. al. [11] als Holthuijsen [12] wordt de methode van Wilson, in de verbeterde versie van 1965, aanbevolen om golfgroei op diep water te beschrijven. Op basis van die aanbevelingen is de keuze voor implementatie van de Wilson-golfgroeiformulering in de gedetailleerde methode gemaakt.

#### *Praktische toepassing in de gedetailleerde methode*

De vergelijkingen voor golfhoogte en periode kunnen als volgt worden genoteerd:

$$\begin{aligned} \frac{g \cdot F_{eq}}{U_{10}^2} > 10^{-2} & \quad \frac{H_s \cdot g}{U_{10}^2} = 0.3 \cdot \left[ 1 - \left( 1 + 0.004 \cdot \left( \frac{g \cdot F_{eq}}{U_{10}^2} \right)^{0.5} \right)^{-2} \right] \\ & \quad \frac{T_s \cdot g}{U_{10}} = 1.37 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left[ 1 - \left( 1 + 0.008 \cdot \left( \frac{g \cdot F_{eq}}{U_{10}^2} \right)^{0.33} \right)^{-5} \right] \\ \frac{g \cdot F_{eq}}{U_{10}^2} \rightarrow 0 & \quad \frac{H_s \cdot g}{U_{10}^2} = 2.4 \times 10^{-3} \cdot \left( \frac{g \cdot F_{eq}}{U_{10}^2} \right)^{0.5} \\ & \quad \frac{T_s \cdot g}{U_{10}} = 5.48 \times 10^{-2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left( \frac{g \cdot F_{eq}}{U_{10}^2} \right)^{0.33} \end{aligned}$$

Vergelijking 1: Formulering voor golfgroei volgens Wilson 1965 [11]

Hierin is:

$F_{eq}$	= Equivalente strijklengte	[m]
$U_{10}$	= Windsnelheid, gemeten op 10 meter boven de grond	[m/s]
$H_s$	= Significante golfhoogte opgewekt door lokale golfgroei	[m]
$T_s$	= Significante golfperiode opgewekt door lokale golfgroei	[s]
$g$	= zwaartekrachtversnelling	[m/s <sup>2</sup> ]

**Opmerking:**

Omwille van een eenvoudige implementatie van de golfgroei-formulering in de gedetailleerde methode is gekozen voor het in tabelvorm presenteren van de door lokale golfgroei opgewekte significante golfhoogte als functie van de strijklengte en de windsnelheid.

De op basis van de strijklengte en windsnelheid bepaalde significante golfhoogte in een punt wordt omgezet in de golfenergie als gevolg van lokale golfgroei in dat punt.

De invloed van lokale golfgroei op de (gemiddelde) piekperiode wordt niet in rekening gebracht. Aangezien verrekking van deze periode tot een lagere (gemiddelde) piekperiode zou leiden, is het verwaarlozen van deze invloed conservatief.

**B1.5 Interactie lokale golfgroei en hoog frequent deel spectrum**

**B1.5.1 Algemene beschrijving fysische proces**

Lokale golfgroei is het verschijnsel waarbij door actie van wind de golfenergie toeneemt. Deze golfenergie wordt met name toegevoegd wordt aan het hoogfrequente deel van het golfspectrum. Reeds aanwezige hoogfrequente golfenergie in het golfspectrum kan dan in feite worden behandeld als golfenergie die in het eerste gedeelte van de strijklengte door het lokale windveld is opgewekt. Alkyon [9] beschrijft deze methode.

**B1.5.2 Eenvoudige methode voor de beschrijving van het fysische proces**

*Afwegingen*

Het proces van interactie tussen lokale golfgroei door wind en reeds aanwezige hoogfrequente golfenergie is in principe te benaderen met de methode van de equivalente strijklengte:

De reeds aanwezige hoogfrequente golfenergie wordt omgerekend in een fictieve strijklengte  $F_{fictief}$  waarbij  $F_{fictief}$  de benodigde strijklengte is voor de opwekking van de hoeveelheid golfenergie die gelijk is aan de hoeveelheid hoogfrequente golfenergie. De lokale golfgroei in een bepaald punt wordt dan berekend over de equivalente strijklengte, zijnde de som van de fictieve strijklengte en de werkelijke strijklengte. Dit resulteert dan in het uitvoerpunt in een  $H_{s,lg}$  met een bijbehorende  $T_{p,lg}$ .

Hoewel in principe mogelijk, is de methode van de equivalente strijklengte voor toepassing in de *gedetailleerde methode* om de volgende redenen minder geschikt:

- De *gedetailleerde methode* vraagt om algemeen geldende uitspraken over de hoeveelheid hoogfrequente golfenergie in het spectrum. Hoewel uit fysisch modelonderzoek [6] van transmissie over golfbrekers is geconcludeerd dat de verhouding laagfrequente/hoogfrequente golfenergie na transmissie circa 60/40 bedraagt, is niet uitgesloten dat die verhouding bij andere, niet onderzochte situaties (andere types golfspectra, andere types golfbrekers) anders is. Daarnaast is geen algemene uitspraak te doen over de hoeveelheid hoogfrequente golfenergie in de havenmond dat met lokale golfgroei door wind interacteert.
- Met de methode van de equivalente strijklengte komt de eenvoud van de *gedetailleerde methode* in het geding.
- Het in rekening brengen van interactie tussen lokale golfgroei door wind en hoogfrequente golfenergie leidt tot minder conservatieve resultaten.

Om bovenstaande redenen is ervoor gekozen de interactie tussen lokale golfgroei door wind en hoogfrequente energie niet in rekening te brengen. De lokale golfgroei wordt dus alleen berekend over de werkelijke strijklengte (beginenergie  $E_0 = 0$ ).

#### *Praktische toepassing*

Interactie tussen lokale golfgroei door wind en hoogfrequente golfenergie wordt niet in rekening gebracht (zie *Afwegingen*).

### **B1.6 Golfhoogtebeperking door ondiep voorland**

#### **B1.6.1 Algemene beschrijving fysische proces**

De golfhoogtebeperking op ondiep voorland wordt veroorzaakt door breking van golven op diepte. Bij overschrijding van een bepaalde golfhoogte / diepteverhouding. In de literatuur zijn voor deze verhouding enkele waarden bekend. Voor eenlinggolven is theoretisch bepaald dat de brekerhoogte  $H = 0,78 * d$ . Golven zullen dus breken als  $H \geq 0,78 d$  [10] Voor onregelmatige golven op een vlak voorland kan worden aangenomen dat ze gaan breken als  $H_s \geq 0,56 d$ . [10]

Overigens is de effectiviteit van golfhoogtereductie door breking twijfelachtig in sommige gevallen met een ondiep traject van een zeer geringe lengte, zoals een smal voorland vlak voor een dijktaald [10].

In de Leidraad Toetsen op Veiligheid [1] wordt gesteld dat de reductie in golfhoogte mag worden meegenomen als de lengte van het voorland tenminste gelijk is aan  $1 * L_{0,p}$ . Daarbij wordt een maximale golfhoogte / diepteverhouding aangehouden van 0,7.

In deze gedetailleerde methode is ervoor gekozen de Leidraad Toetsen op Veiligheid (LTV) aan te houden.

### **B1.7 Golfbelasting in het uitvoerpunt**

De golfenergie in het uitvoerpunt wordt bepaald door superpositie van de afzonderlijke bijdragen van energie als gevolg van diffractie, transmissie en lokale golfgroei door wind. De resulterende golfenergie wordt omgerekend naar een significante golfhoogte. Als deze significante golfhoogte groter is dan de dieptebeperkte golfhoogte door ondiep voorland, dan geldt deze dieptebeperkte golfhoogte.

De piekperiode in het uitvoerpunt is gelijk aan de piekperiode buiten de haven. De golfrichting in het uitvoerpunt wordt loodrecht op de waterkering verondersteld tenzij een betere benadering mogelijk is.

### **B1.8 Overige fysische processen**

#### **B1.8.1 Triad en quadruplet interacties**

In veel golftheorieën wordt gebruik gemaakt van het principe van superpositie van onafhankelijke harmonische golven. In werkelijkheid zijn de golfcomponenten wél enigszins afhankelijk en vindt energieuitwisseling plaats tussen de verschillende componenten. Enkele belangrijke zijn:

- interactie tussen mate van transmissie en mate van diffractie
- triad interacties
- quadruplet interacties
- interactie tussen golfgroei door wind en reeds in het spectrum van golven aanwezige hoog frequente energie

De uitwisseling van energie door triad en quadruplet interacties is zeer zwak, waardoor deze interacties lokaal verwaarloosd mogen worden en het principe van superpositie gehandhaafd blijft. Over lange afstanden is de uitwisseling wel merkbaar en dient dan ook wel meegenomen te worden in golfverwachtingsmodellen. Voor een verdere beschrijving van triad en quadruplet interacties wordt verwezen naar bijvoorbeeld Holthuijsen [12].

#### **B1.8.2 Refractie**

Refractie is het verschijnsel waarbij de golfrichting verandert als golven zich voortplanten in water van variabele diepte. De fasesnelheid van golven is over het algemeen langzamer in ondiep water dan in diep water. Dit betekent dat als golven ondiep water benaderen hun richting zodanig verandert dat ze meer loodrecht op de dieptecontouren gaan lopen. Het deel van de golfkam het dichtst bij het land loopt langzamer omdat het zich in ondieper water bevindt. Het deel van de kam in dieper water kan hierdoor inlopen op de kam in ondieper water. Dit verandert de richting van de kam en dus ook van de voortplantingsrichting.

In deze gedetailleerde methode wordt uitgegaan van diepwater condities, zodat refractie kan worden verwaarloosd. Indien in werkelijkheid sprake is van ondiep water, dan is de gedetailleerde methode derhalve niet toepasbaar. Deze beperking van de gedetailleerde methode is in de vorm van een toepassingscriterium gegoten.

### **B1.8.3 Reflectie**

Golven kunnen deels of geheel gereflecteerd worden door kades en dammen in de haven. Bij reflectie wordt de op een constructie invallende golfenergie (deels) teruggekaatst. In het geval er in een haven kades met verticale wanden voorkomen, kan het verschijnsel reflectie een belangrijke bijdrage zijn in de golfpatronen/golfenergie in de haven. Bij op een talud inkomende golven zal de hoeveelheid gereflecteerde energie veel kleiner zijn en derhalve van minder belang zijn.

In deze gedetailleerde methode is ervoor gekozen om de invloed van reflectie niet mee te nemen, vanwege het behoud van eenvoud van de methode. Wél is hierdoor de toepasbaarheid van de gedetailleerde methode enigszins beperkt. Bij prominente aanwezigheid van verticale wanden in de haven zal namelijk reflectie het golfbeeld in de haven in belangrijke mate beïnvloeden. Verondersteld wordt dat bij een hoogte van de bovenrand van de verticale wanden op of boven het niveau van de beschouwde waterstand reflectie een zodanig belangrijke bijdrage levert aan het golfbeeld in de haven, dat de gedetailleerde methode dan niet toegepast mag worden.

### **B1.8.5 Dissipatie**

Dissipatie is de reductie in energie in een golfveld door bodemwrijving of breken. Dissipatie door bodemwrijving wordt veroorzaakt door turbulentie dicht bij de bodem en is afhankelijk van de horizontale snelheid onder de golven bij de bodem. In het algemeen heeft bodemwrijving meer invloed op lange golven (golven met langere periode en dus ook grotere lengte) dan op korte golven. Dit komt doordat de lengteschaal waarop de golfbewegingen afnemen met de waterdiepte afhankelijk is van de golflengte.

Dissipatie door breken die samenhangt met golfsteilheid (whitecapping) is al genoemd. Golfbreken wordt ook veroorzaakt als de golfhoogte-/diepteverhouding te hoog wordt. Dit verschijnsel wordt "breken op diepte" genoemd.

In de gedetailleerde methode wordt de dissipatie van golfenergie door bodemwrijving of op diepte (met uitzondering van breking van golven op ondiep voorland) niet meegenomen onder de aanname dat er sprake is van diep water condities. Whitecapping wordt verondersteld niet van belang te zijn. Het niet meenemen van dissipatie van golfenergie in de bepaling van de golfcondities in de haven is een conservatieve benadering.

**BIJLAGE 2 DIFFRACTIEDIAGRAMMEN**

**B2.1 Diffractiediagrammen TYPE 1**

Grote richtingsverspreiding (Smax = 10)																					
20	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	20
19	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	19
18	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	18
17	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	17
16	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	16
15	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	15
14	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	14
13	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	13
12	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	12
11	0.95	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	11
10	1	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	10
9	1	1	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	9
8	1	1	1	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	8
7	1	1	1	1	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	7
6	1	1	1	1	1	0.95	0.95	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	6
5	1	1	1	1	1	1	0.95	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	5
4	1	1	1	1	1	1	1	0.95	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	4
3	1	1	1	1	1	1	1	1	0.95	0.8	0.7	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	3
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	

Kleine richtingsverspreiding (Smax = 75)																					
20	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	20
19	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	19
18	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	18
17	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	17
16	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	16
15	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	15
14	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	14
13	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	13
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	12
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	11
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	10
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	9
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	8
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	7
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	6
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	5
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	4
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	3
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	

**B2.2 Diffractiediagrammen TYPE 2**  
**Grote richtingspreiding (Smax = 10)**

<b>B/L = 1.0</b>	<b>Smax = 10</b>
------------------	------------------

**Klein**

	<b>4</b>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>3.8</b>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>3.6</b>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>3.4</b>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>3.2</b>	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>3</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>2.8</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>2.6</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>2.4</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Y/L	<b>2.2</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>2</b>	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>1.8</b>	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>1.6</b>	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>1.4</b>	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	<b>1.2</b>	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	<b>1</b>	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	<b>0.8</b>	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	<b>0.6</b>	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	<b>0.4</b>	1.0	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	<b>0.2</b>	1.0	1.0	1.0	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	<b>0</b>	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
		X/L														

**Groot**

	<b>20</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>19</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>18</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>17</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>16</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>15</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>14</b>	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>13</b>	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>12</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Y/L	<b>11</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>10</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1
	<b>9</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
	<b>8</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
	<b>7</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
	<b>6</b>	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>5</b>	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>4</b>	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>3</b>	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>2</b>	0.6	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>1</b>	0.6	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>0</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		X/L														



**B/L = 2.0** **Smax = 10**

**Klein**

	<b>8</b>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>7.6</b>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>7.2</b>	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>6.8</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>6.4</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>6</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>5.6</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>5.2</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	<b>4.8</b>	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Y/L	<b>4.4</b>	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
	<b>4</b>	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
	<b>3.6</b>	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	<b>3.2</b>	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	<b>2.8</b>	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	<b>2.4</b>	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	<b>2</b>	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15
	<b>1.6</b>	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
	<b>1.2</b>	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15
	<b>0.8</b>	1.0	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>0.4</b>	1.0	1.0	0.8	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>0</b>	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4	4.4	4.8	5.2	5.6	6	
									X/L								

**Groot**

	<b>40</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>38</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>36</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>34</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>32</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>30</b>	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>28</b>	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>26</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1
	<b>24</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1
Y/L	<b>22</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
	<b>20</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
	<b>18</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>16</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>14</b>	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>12</b>	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>10</b>	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>8</b>	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>6</b>	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>4</b>	0.6	0.4	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>2</b>	0.6	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<b>0</b>	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
									X/L								



**B/L = 8.0** **Smax = 10**

**Klein**

	32	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
	30.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
	28.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
	27.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
	25.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	24	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	22.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	20.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	19.2	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
Y/L	17.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	16	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	14.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	12.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	11.2	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	9.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	6.4	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	4.8	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
	3.2	1	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	1.6	1	1	0.8	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	0	1.6	3.2	4.8	6.4	8	9.6	11.2	12.8	14.4	16	17.6	19.2	20.8	22.4	24
		X/L														

**Groot**

	160	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	152	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	144	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	136	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	128	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	120	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	112	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1
	104	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1
	96	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
Y/L	88	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
	80	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
	72	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	64	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	56	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	48	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05
	40	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
	32	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
	24	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	16	0.5	0.4	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	8	0.5	0.3	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
		X/L														

**Kleine richtings spreiding (Smax = 75)**

**B/L = 1.0** **Smax = 75**

**Klein**

	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	3.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	3.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3.2	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
	2.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
	2.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
	2.4	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Y/L	2.2	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	2	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	1.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
	1.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	1.4	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15
	1.2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15
	1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
	0.8	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
	0.6	1.0	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
	0.4	1.1	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
	0.2	1.1	1.1	0.9	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
								X/L								

**Groot**

	20	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	19	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	18	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	17	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1
	16	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1
	15	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
	14	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
	13	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
	12	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
Y/L	11	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
	10	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	9	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	8	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	7	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	3	0.6	0.4	0.3	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	2	0.7	0.3	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	1	0.7	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
								X/L								



**B/L = 4.0**

**Smax = 75**

**Klein**

16	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
15.2	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
14.4	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
13.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
12.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
12	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
11.2	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10.4	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
9.6	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Y/L 8.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
8	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
7.2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
6.4	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
5.6	1	0.9	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
4.8	1	0.9	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
4	1	1	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
3.2	1	1	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2.4	1.1	1	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1.6	1.1	1.1	0.9	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.8	1.1	1.1	0.9	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0	0.8	1.6	2.4	3.2	4	4.8	5.6	6.4	7.2	8	8.8	9.6	10.4	11.2	12

X/L

**Groot**

80	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
76	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
72	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
68	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
64	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
60	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
56	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
52	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
48	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Y/L 44	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05
40	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
36	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
32	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
28	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
24	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
20	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
16	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
12	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
8	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60

X/L

**B/L = 8.0**

**Smax = 75**

**Klein**

32	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15
30.4	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15
28.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15
27.2	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
25.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15
24	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15
22.4	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1
20.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1
19.2	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
Y/L 17.6	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
16	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
14.4	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
12.8	0.9	0.9	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
11.2	1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05
9.6	1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
8	1	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
6.4	1	1	0.7	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
4.8	1.1	1	0.7	0.3	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
3.2	1.1	1	0.7	0.3	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
1.6	1.1	1.1	0.7	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.5
0	1.6	3.2	4.8	6.4	8	9.6	11.2	12.8	14.4	16	17.6	19.2	20.8	22.4	24
								X/L							

**Groot**

160	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
152	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
144	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
136	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
128	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
120	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
112	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05
104	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
96	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
Y/L 88	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05
80	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
72	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
64	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
56	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
48	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
40	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
32	0.7	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
24	0.7	0.3	0.2	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
16	0.7	0.2	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
8	0.7	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
								X/L							

## BIJLAGE 3 HANDLEIDING REKENINSTRUMENT

---

B3.1	Inleiding	3
B3.2	Opstarten en afsluiten	4
B3.2.1	Opstarten	4
B3.2.2	Onderbreken en herstarten	4
B3.2.3	Afsluiten	4
B3.3	Hoofdscherm	5
B3.3.1	Paneel Processen	5
B3.3.2	Paneel Invoer	5
B3.3.3	Paneel Berekende waarden	6
B3.3.4	Paneel Golfcondities op uitvoerpunt	6
B3.3.5	Paneel Bestandsbeheer	6
B3.4	De invoerschermen	7
B3.4.1	Invoerscherm Algemeen	7
B3.4.2	Invoerscherm Diffractie	7
B3.4.3	Invoerscherm Transmissie	7
B3.4.4	Invoerscherm Lokale golfgroei	7
B3.4.5	Invoerscherm Hoog voorland	8
B3.5	Literatuur	9
B3.6	Colofon	10



### **B3.1 Inleiding**

Voor het bepalen van de golfbelasting in havens met behulp van de gedetailleerde methode is een **prototype** rekeninstrument in Excel 2000 ontwikkeld. In deze handleiding wordt summier een uitleg gegeven van het gebruik van dit Rekeninstrument. Het Rekeninstrument is ontwikkeld, om naast de, in het rapport Golfbelasting in Havens en afgeschermd gebied, beschreven gedetailleerde methode te gebruiken.

In het Rekeninstrument kunnen de gegevens die bij de berekeningen benodigd zijn worden ingevoerd. Aan de hand van de gewenste fysische processen worden vervolgens de golfcondities op het uitvoerpunt in de haven bepaald.

### **B3.2 Opstarten en afsluiten**

#### **B3.2.1 Opstarten**

Het Rekeninstrument wordt opgestart door het Excel-bestand 'Rekeninstrument – Golfbelasting in havens' te laden. Hierbij is het mogelijk dat door Excel een waarschuwing gegeven wordt dat het bestand macro code bevat. Deze moet geactiveerd worden om het programma goed te laten werken. Bij het opstarten van het rekeninstrument dient ofwel een bestaand project geopend te worden, ofwel een nieuw project opgeslagen te worden. Hierover verschijnt een melding tijdens het opstarten. Bij het openen van een nieuw project wordt direct om de naam van een nieuwe case gevraagd, bij het openen van een bestaand project wordt gevraagd welke case geopend moet worden. Direct na het opstarten wordt het opstartscherm getoond.

#### **B3.2.2 Onderbreken en herstarten**

Het is mogelijk het Rekeninstrument tussentijds te stoppen, zonder het Rekeninstrumentbestand af te sluiten. Klik hiervoor op de knop Onderbreken. Door op de knop (Her)starten te klikken wordt het Rekeninstrument weer opgestart. Met deze mogelijkheid is het mogelijk tussentijds andere activiteiten uit te voeren met Excel.

**LET OP:** Er wordt geen check uitgevoerd of bestanden wel zijn opgeslagen, dus let hierop bij het eventueel afsluiten van het Rekeninstrumentbestand in Excel, met niet geactiveerd Rekeninstrument.

#### **B3.2.3 Afsluiten**

Door in het hoofdscherm op de knop Afsluiten te klikken wordt het Rekeninstrument afgesloten. Wanneer de laatste gegevens niet opgeslagen zijn zal de vraag gesteld worden of deze moeten worden opgeslagen. Het bestand wordt afgesloten, maar Excel niet. Dit is gedaan uit de overweging, dat mogelijk nog andere bestanden geopend zijn in Excel.

### **B3.3 Hoofdscherm**

Het hoofdscherm van het Rekeninstrument omvat vijf panelen met verschillende onderdelen van het programma. Deze panelen zijn met de klok mee:

1. Processen,
2. Invoer,
3. Berekende waarden,
4. Golfcondities op het uitvoerpunt en
5. Bestandsbeheer.

Per paragraaf zullen deze panelen beschreven worden.

#### **B3.3.1 Paneel Processen**

Op het paneel Processen bevinden zich vijf vinkvakjes (checkboxes) waarmee de verschillende processen, die meegenomen kunnen worden, geactiveerd of gedeactiveerd kunnen worden. Indien het proces 'Interactie tussen diffractie en transmissie' meegenomen moet worden, dienen uiteraard de processen 'Diffractie' en 'Transmissie' ook aangevinkt zijn. Hier wordt door het programma op gecontroleerd. Een waarschuwing hierover wordt getoond voordat het aangepast wordt. Indien u deze waarschuwing niet meer wilt zien (of juist wel), kunt u dit aangeven in het optiesscherm (zie ook paragraaf 3.5).

**LET OP:** Het is mogelijk dat de haven geen havendammen heeft. In dat geval dient het proces Diffractie uitgeschakeld te zijn ( $K_d = 0$ ). In het invoerscherm Transmissie kan voor het type van de havendam gekozen worden voor 'Geen havendam'. De transmissiecoëfficiënt wordt daarmee op 1 gezet ( $K_t = 1$ ).

#### **B3.3.2 Paneel Invoer**

Op het paneel invoer bevinden zich vijf knoppen, waarmee een invoerscherm opgeroepen kan worden. De eerste knop 'Algemeen' is altijd beschikbaar. Hier kunnen de golfcondities buiten de haven worden opgegeven (zie ook hoofdstuk 4). De andere knoppen worden geactiveerd naar gelang de processen in het paneel Processen aangevinkt zijn. Voor de invoer die in de schermen, die met deze knoppen worden opgeroepen, kan worden gedaan wordt verwezen naar hoofdstuk 4. Bij het proces 'Interactie tussen diffractie en transmissie' is geen verdere invoer benodigd. Hiervoor is dan ook geen knop aanwezig.

#### **B3.3.3 Paneel Berekende waarden**

In het paneel berekende waarden worden de (tussen-)resultaten van de verschillende berekeningen weergegeven. Hiermee is enigszins inzicht te krijgen in de opbouw van het eindresultaat.

#### **B3.3.4 Paneel Golfcondities op uitvoerpunt**

Door op de knop 'Bereken golfcondities op uitvoerpunt' te klikken worden de resultaten, zoals weergegeven in het paneel Berekende waarden gecombineerd tot de enkele golfcondities die in het uitvoerpunt heersen. De resultaten worden eronder weergegeven.

### **B3.3.5 Paneel Bestandsbeheer**

Op het paneel Bestandsbeheer bevinden zich de knoppen die in 'stand alone' (dwz. buiten b.v. Excel) in een menubalk zouden bevinden. De projectgegevens worden opgeslagen in het werkblad met de naam 'shtActieveCase'.

**LET OP:** Hernoemen of verplaatsen leidt tot het vastlopen van het programma. De resultaten van de berekeningen worden in het Rekeninstrument telkens overschreven. Daarom worden deze resultaten opgeslagen in een apart projectbestand. Een project behelst bijvoorbeeld een haven of een gedeelte daarvan. In dit projectbestand (ook een Excel-bestand) wordt voor elke gedefinieerde case een werkblad aangemaakt met de naam van de case. De knop 'Open project' opent een bestandsdialoog. In dit dialoog kan een gegevensbestand worden geselecteerd of, door een niet bestaande naam in te voeren, een nieuw gegevensbestand worden aangemaakt. Vervolgens wordt gevraagd een bestaande case te kiezen, dan wel een nieuwe aan te maken. Met de knop 'Nieuwe case' wordt een nieuwe case begonnen met een door de gebruiker op te geven naam. Met de knop 'Open case' kan een andere case in het huidige project worden geselecteerd. Met de knop 'Opties' wordt het opties-scherm getoond.

Met de knop 'Opslaan' worden de case-gegevens naar het werkblad met de naam 'shtActieveCase' gekopieerd. Dit werkblad kan vervolgens naar een projectbestand worden gekopieerd om voor de toekomst te bewaren.

### **B3.4 DE INVOERSCHERMEN**

Invoer wordt op een vijftal schermen gedaan. Elk scherm is opgedeeld in enkele panelen. In het paneel Invoer wordt de invoer gedaan, in het paneel Afhankelijke waarden worden eventuele waarden berekend die benodigd zijn voor de berekeningen, maar door het Rekeninstrument zelf berekend kunnen worden. Indien van toepassing, worden in het paneel Berekeningsresultaat de resultaten van de berekening weergegeven. In de onderstaande paragrafen worden deze schermen besproken.

#### **B3.4.1 Invoerscherm Algemeen**

In het invoerscherm algemeen kunnen de golfcondities buiten de haven worden opgegeven. Momenteel bestaat dit uit een Waterstand ( $H_s$ ), een Piekperiode ( $T_p$ ), een invalrichting van de golven ten opzichte van Noord ( $\beta$ ) en de waterstand ten opzichte van N.A.P. ( $h$ ). Zodra een Piekperiode is ingegeven, wordt de golflengte op diep water ( $L_{0,p}$ ) berekend.

#### **B3.4.2 Invoerscherm Diffractie**

Eerst dient het aantal aanwezige havendammen gekozen te worden. Hiermee wordt het type diagram uit het Achtergronddocument [1] gekozen. Afhankelijk van de benodigde variabelen bij de berekening van de diffractiecoëfficiënt worden deze getoond. Voor de definitie van het assenstelsel, de te kiezen waarde voor de richtingsspreiding, en eventueel de (equivalente) openingsbreedte wordt verwezen naar het Achtergronddocument.

#### **B3.4.3 Invoerscherm Transmissie**

In het invoerscherm Transmissie dient gekozen te worden voor een type havendam. Indien de haven dam niet overeenkomt met de lijst dammen in het keuzemenu, kan voor 'Anders ...' gekozen worden. In dat geval kan een waarden voor  $\alpha$  en  $\beta$  ingevoerd worden. Er is geen informatie bekend over hoe de  $\alpha$  en  $\beta$  bepaald dienen te worden. Bij de omschrijving van het type havendam kan een kenmerkende naam worden ingevoerd.

#### **B3.4.4 Invoerscherm Lokale golfgroei**

In het invoerscherm Lokale golfgroei dienen de waarden voor de strijklengte en de windsnelheid opgegeven te worden. Vervolgens wordt de golfhoogte aan het einde van de strijklengte berekend en weergegeven.

**NOOT:** In het Achtergronddocument wordt gewerkt met een tabel (tabel 2: Golfhoogte  $H_s$ ). In het Rekeninstrument worden de formuleringen van Wilson volledig doorgerekend. De vanuit uit de tabel geïnterpoleerde waarden en de waarden berekend door het Rekeninstrument kunnen op enkele decimalen achter de komma verschil kunnen geven. Dit valt echter binnen de nauwkeurigheid van het model.

### **B3.4.5 Invoerscherm Hoog voorland**

In het invoerscherm Hoog voorland wordt gevraagd naar de hoogte van het voorland ten opzichte van N.A.P. (hm), en de lengte van het voorland. Er wordt een check uitgevoerd of sprake is van een hoog voorland met golfhoogte beperkende eigenschappen.

### **B3.5 LITERATUUR**

[1] DHV, '*Golfbelasting in havens*', Achtergronddocument, Doc.nr. NG-SE20011551, DHV, Amersfoort, September 2001