

Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebieden

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

RWS.2014.001

Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebieden

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

Colofon

Uitgegeven door: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Update van: Rapport versie 3

Informatie: Helpdesk Water
Rijkswaterstaat WVL
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Telefoon: 0800-NLWATER (0800-6592837)
Website: www.helpdeskwater.nl

Uitgevoerd door: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Van Vledder Consulting (Projectcode VVC16)
Svašek Hydraulics (Projectcode 1749/U14094)
Eerdere betrokkenen:
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde/DWW
Rijksinstituut voor Zoeterwaterhuishouding en
Afvalwaterbehandeling/RIZA
DHV Milieu en Infrastructuur (Projectcode: T1471)
Witteveen+Bos (Projectcode: RW1099-4)

Datum: 31 augustus 2014



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	5
1 Inleiding	7
1.1 Algemeen kader	7
1.2 Beoogde toepassing	8
1.3 Wijzigingen ten opzichte van vorige versies	8
1.4 Leeswijzer	10
2 Schema voor toetsing van waterkeringen in havens	12
2.1 Toetsingsschema	12
2.2 Toelichting per stap	16
3 Bepaling golfrandvoorwaarden met de eenvoudige methode	19
3.1 STAP 1 Controle toepasbaarheid van eenvoudige methode	19
3.2 STAP 2 Vaststellen van relevante individuele processen	23
3.3 STAP 3 Schematisatie van de haven	25
3.4 STAP 4 Hydraulische randvoorwaarden buiten de haven	28
3.5 STAP 5 Berekening bijdrage diffractie	29
3.6 STAP 6 Berekening bijdrage transmissie	38
3.7 STAP 7 Berekening interactie diffractie-transmissie	42
3.8 STAP 8 Berekening bijdrage lokale golfgroei	43
3.9 STAP 9 Vaststellen van de golfbelasting vanuit alle bijdragen	47
3.10 STAP 10 Controle op het breken van golven op voorland	47
4 Bepaling golfrandvoorwaarden met geavanceerde methode	48
5 Case Buitenhaven Vlissingen	50
5.1 Inleiding	50
5.2 Bepaling golfrandvoorwaarden Buitenhaven Vlissingen	51
5.3 Vergelijking resultaten	58
6 Case Jacht- en Handelshaven Breskens	62
6.1 Inleiding	62
6.2 Bepaling golfrandvoorwaarden Jacht- en Handelshaven Breskens	63
Symbolen	69
Literatuur	71
BIJLAGE 1 FYSISCH PROCESSEN IN HAVENS.....	73
BIJLAGE 2 DIFFRACTIETABELLEN	91
BIJLAGE 3 HANDLEIDING REKENINSTRUMENT	100
BIJLAGE 4 VOORBEELDEN GEAVANCEERDE METHODE	106

1 Inleiding

1.1 Algemeen kader

De hydraulische randvoorwaarden voor de Nederlandse primaire waterkeringen worden elke zes jaar vastgesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat. Voor de waterkeringen in havenbekkens zijn deze randvoorwaarden buitengaats nabij de ingang van de 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. Hierbij is een vertaling nodig die rekening houdt met de afschermdende elementen in en rondom het havenbekken. Deze elementen bestaan in het algemeen uit dammen, golfbrekers en hoge voorlanden. Een overzicht van zeehavenbekkens langs de Nederlandse kust is gegeven in [1].

Het voorliggend document biedt de beheerders van waterkeringen in havens en afgeschermd gebied een leidraad voor een eenvoudige vertaling van golfcondities buiten de haven naar golfbelasting binnen de haven. Het rapport beschrijft een eenvoudige methode die door DHV en Witteveen+Bos is ontwikkeld op basis van een eerste aanzet door Alkyon [2]. Deze ontwikkeling heeft plaatsgevonden in opdracht van het voormalige Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) en in samenwerking met de eveneens voormalige instituten Rijksinstituut voor Zoetwaterhuishouding en Afvalwaterbehandeling (RIZA) en de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW). Verder is het Projectbureau Zeeweringen bij de ontwikkeling van de methode betrokken geweest in de hoedanigheid van klankbord en als vertegenwoordiger van beoogde eindgebruikers. De huidige versie van dit document (augustus 2014) is tot stand gekomen onder verantwoording van de Rijkswaterstaat, afdeling Water, Verkeer en Veiligheid te Lelystad.

De eenvoudige methode biedt de mogelijkheid om met relatief eenvoudige rekenregels de bovengrens van de golfbelasting binnen een haven te bepalen. Hierbij worden de meeste belangrijkste fysische processen in havens in rekening gebracht. Vanwege de eenvoud zal altijd wel voldaan moeten worden aan een aantal toepassingscriteria; hierop dient als eerste te worden getoetst. De eenvoudige methode is primair bedoeld om snel een toetsing te kunnen uitvoeren en is dan ook niet bedoeld om te ontwerpen omdat de methode per definitie conservatieve waarden geeft.

Verder worden ook richtlijnen en criteria gegeven voor de toepassing van geavanceerde modellen voor het geval dat de eenvoudige methode ontoereikend is of niet mag worden toegepast.

De methode leidt bewust tot golfbelastingen die veelal zwaarder zijn dan indien de condities met geavanceerde modellen¹ zijn berekend. De methode

¹ Onder geavanceerde modellen worden rekenmodellen verstaan die op een rekenrooster de golfdoordringing en/of golfgroei uitrekenen. Voorbeelden van deze modellen zijn PHAROS (primair voor golfdoordringing) en SWAN (golfdoordringing en lokale golfgroei).

voldoet daarmee aan het beginsel van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) om van een grove naar een fijne benadering toe te werken waarbij de eenvoudige benadering de meest conservatieve resultaten geeft en de geavanceerde benadering de minst conservatieve. De eenvoudige methode maakt deel uit van het VTV proces.

1.2 Beoogde toepassing

De eenvoudige methode voor golfrandvoorwaardenbepaling is geschikt voor gebruik bij de toetsing van waterkeringen in havens en afgeschermd gebieden. In beginsel is de methode ook voor ontwerpdoeleinden toepasbaar, maar wordt het gebruik ervan voor ontwerp niet aanbevolen omdat deze methode kan leiden tot een onnodig conservatief ontwerp van een waterkering. Bij de opzet van de methode is uitgegaan van de situering van havens in of langs zeeën, meren of estuaria en voor havens langs rivieren. Tot begin 2014 werd aanbevolen om bij het toepassen van deze methode gebruik te maken van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006. Aanbevolen wordt om, indien beschikbaar, gebruik te maken van richtingsafhankelijke golfcondities. Omdat het Randvoorwaarden boek geen richtingsafhankelijke condities bevat wordt aanbevolen om deze gegevens uit door Hydra-K of Hydra-Zoet gegenereerde databases te halen. 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 water met een constante diepte worden fysische processen als refractie en shoaling niet in rekening gebracht. Onder de aanname van diepwater condities worden 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 een aanzienlijk aantal processen verwaarloosd worden, worden eisen gesteld aan de toepassing van de rekenmethode. Deze toetsing dient altijd als eerste plaats te vinden. Daarnaast wordt van de gebruiker voldoende kennis geëist om op basis van fysisch inzicht een afweging te kunnen maken of hij de methode kan en mag toepassen. Indien de eenvoudige methode niet kan worden toegepast, dient over gegaan te worden op geavanceerdere methodes. Bijlage 4 biedt voorbeelden van twee toepassingen van de geavanceerde methode.

1.3 Wijzigingen ten opzichte van vorige versies

Het voorliggend document is een herziene versie van het rapport uit 2004. De eerste versie verscheen op 28 september 2002 en de tweede versie verscheen op 15 februari 2004.

De tweede versie is ten opzichte van de versie uit 2002 op de volgende belangrijkste punten gewijzigd:

- figuur 2 is verplaatst naar hoofdstuk 3.
- er wordt uitgebreid ingegaan op de eisen om de eenvoudige methode te mogen en kunnen toepassen.
- op verschillende plaatsen in het rapport is de toelichting op zaken verhelderd.
- rekeninstrument is aangepast.
- De case Breskens is toegevoegd als voorbeeld met twee havendammen.

De derde versie verscheen in augustus 2014 en is ten opzichte van de tweede versie uit 2004 op de volgende punten aangepast:

- De “gedetailleerde methode” wordt aangeduid met “eenvoudige methode” om het onderscheid in nauwkeurigheid met geavanceerde methoden te benadrukken. Gebruik van het bijwoord “eenvoudig” past bovendien beter bij het gebruik van de aannamen in het al of niet meenemen van bepaalde fysische processen.
- De namen van betrokken instituten zijn geactualiseerd.
- De eisen om de methode te gebruiken in geval van reflecties in het havenbekken zijn verruimd. Hierbij speelt het feit dat de diffractietabellen afgeleid zijn voor volledig reflecterende golfbrekers een belangrijke rol.
- De aanname van diep water is vervangen door de aanname van water met een constante representatieve diepte. De diep water aanname wordt alleen gebruikt om effecten van bodemwrijving en golfbreking te verwaarlozen om de methode conservatief te laten blijven.
- Een rekenmethode is toegevoegd om de representatieve ondiep water golflengte uit te rekenen of af te lezen uit een grafiek.
- Gebruik van de piekperiode T_p vervangen door gebruik van spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$, omdat deze beter aansluit bij de huidige rekenmethoden.
- Stap 4 is vervangen door de aanbeveling om in het geval dat golfrandvoorwaarden voor meerdere richtingen gegeven zijn, de golfcondities voor alle richtingen en alle gekozen uitvoerpunten uit te rekenen.
- Figuur 1 is vereenvoudigd. De mogelijke uitkomst goed, is verwijderd.
- Figuur 6 is verwijderd.
- Opmerkingen toegevoegd dat dammen en kades alleen mogen meedoen indien zij in de legger zijn opgenomen.
- Het meenemen van effecten van lokale golfgroei is aangescherpt door ook de mogelijkheden te beschouwen dat een andere richting dan de windrichting maatgevend kan zijn.
- Het criterium om geen windgroei mee te nemen voor strijklengten kleiner dan 100 m is vervallen. Aanbevolen wordt om altijd het effect van windgroei mee nemen.
- Figuur 13 toegevoegd om principe van effectieve strijklengte toe te lichten.
- Beschrijvingen van fysische processen zijn aangescherpt.
- Op verschillende plaatsen zijn formuleringen aangescherpt.
- Gevonden spel en taalfouten zijn verbeterd (wat echter niet uitsluit dat er zich nog fouten in bevinden).
- De lijst met relevante literatuur is uitgebreid.
- De Goda tabellen in bijlage 2 zijn nu weergegeven in 2 decimalen om de nauwkeurigheid te vergroten en zijn nu op een analytische wijze bepaald [25]. De tabellen zijn bovendien uitgebreid met waarden voor de gevallen dat $X/L=0$ en/of $Y/L=0$.
- Een opmerking toegevoegd dat de diffractietabellen zijn afgeleid van de door Goda [9] gegeven diagrammen en dat daarbij de x- en y-as zijn herschaald. Ook wordt waar nodig gesproken over diffractie-tabellen
- Hoofdstuk 5 met een voorbeeld toepassing voor de haven van Vlissingen is grondig herzien. Situaties schets en schematisatie toegevoegd. Alle berekeningen Alle berekeningen zijn aangepast.

- Hoofdstuk 6 met een voorbeeld toepassing voor de haven van Breskens is grondig herzien. Sitatieschets en schematisatie zijn toegevoegd. Alle berekeningen zijn aangepast.
- Bijlage 4 is toegevoegd met twee voorbeelden van de geavanceerde methode voor de haven van IJmuiden en het Europoortgebied.

Deze derde versie is mede gebaseerd op ervaringen met de eenvoudige methode. Hierbij wordt primair verwezen naar Van de Rest [3, 4] en Reijmerink [5]. Op basis van deze ervaringen is een goed beeld ontstaan van de beperkingen van deze methode en van mogelijkheden om de methode aan te scherpen waardoor deze in sommige gevallen minder conservatief uitvalt. De herziene Goda tabellen zijn tot stand gekomen in samenwerking met Svašek Hydraulics. Tevens heeft Svašek Hydraulics de kwaliteitscontrole van dit document uitgevoerd.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een schematische werkwijze gepresenteerd waarin de gebruiker stapsgewijs wordt geleid naar een vaststelling van golfrandvoorwaarden in havenbekkens. Hierbij geldt het leidende principe van een grove benadering naar een steeds verfijndere benadering.

In hoofdstuk 3 wordt de zogenoemde eenvoudige methode beschreven. Als eerste wordt de essentie van deze methode beschreven om een goed begrip te krijgen van het toepassingsgebied. Daarna wordt verder ingegaan op de toepassingscriteria waarmee de gebruiker inzicht krijgt in de toepasbaarheid van de eenvoudige methode. Vervolgens worden de vuistregels en formules voor de berekening van golfbelasting in havens behandeld. Tot slot komen de verschillende fysische processen aan de orde die een rol in de golftransformatie spelen.

Hoofdstuk 4 geeft de criteria voor de toepassing van de zogenoemde geavanceerde modellen. Deze geavanceerde methodes zijn aan de orde als de eenvoudige methode in het toetsingsproces niet tot het goedkeuren van de kering leidt. Ook dienen geavanceerde methoden toegepast te worden als het beschouwde geval zich niet leent voor de eenvoudige methode omdat het havenbekken, , te complex is.

Hoofdstuk 5 en 6 beschrijven twee cases; de berekening van golfbelasting in respectievelijk de buitenhaven van Vlissingen en de haven van Breskens. Beide cases behandelen het gebruik van de eenvoudige methode. De resultaten worden vergeleken met die van geavanceerde modellen die in eerdere studies voor beide havens zijn gebruikt.

Verder worden in het voorliggende rapport achtereenvolgens een lijst met gebruikte symbolen en de literatuurlijst gegeven. In het rapport zijn tenslotte ook bijlagen opgenomen met theoretische achtergronden, zogenoemde diffractietabellen, een handleiding voor het gebruik van het rekeninstrument waarmee golfbelasting in havens kan worden bepaald volgens de eenvoudige methode, en twee voorbeelden van de geavanceerde methode.

In deze handleiding wordt vaak de term golfenergie gebruikt, terwijl in werkelijkheid sprake is van golfvariantie. Deze twee begrippen worden in de praktijk vaak door elkaar gebruikt in de toepassing van golfmodel resultaten.

De dimensie van variantie is m^2 , de bijbehorende golfenergie van een golfveld kan uit de variantie bepaald worden door variantie te vermenigvuldigen met de factor $\rho_w g$, waarin ρ_w de dichtheid van water met dimensie kg/m^3 en g de zwaartekrachtsversnelling met dimensie m/s^2 .

2 Schema voor toetsing van waterkeringen in havens

.....

De eenvoudige methode voor bepaling van golfbelasting in havens past in het toetstraject van waterkeringen volgens het VTV concept, waarin van een grove naar een fijne benadering wordt toegewerkt. Voor wat betreft de hydraulische randvoorwaarden wordt in de meest grove benadering de golfbelasting gelijk gesteld aan de buitengaats golfcondities, in de meest verfijnde benadering worden geavanceerde rekenmodellen (numerieke modellen) ingezet. De hier beschreven eenvoudige methode is een benadering die past tussen de grove en de verfijnde benadering. De methode voorziet in een schema waarin stapsgewijs tot een vaststelling van hydraulische randvoorwaarden voor toetsing van waterkeringen in havens kan worden gekomen.

2.1 Toetsingsschema

In figuur 1 is het schema weergegeven voor het vaststellen van golfbelastingen in combinatie met toetsing van de betreffende waterkeringen. Het schema kan maximaal in 6 stappen worden doorlopen:

- STAP 1: Toetsen waterkering met randvoorwaarden buiten de haven.
- STAP 2: Controle op aanwezigheid van ondiep voorland voor de waterkering in de haven (kaden etc.).
- STAP 3: Toetsen waterkering met maximale significante golfhoogte en spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ op een voorland.
- STAP 4: Toetsen of eenvoudige methode mag worden toegepast, waarbij de status van de havendammen onder toetsomstandigheden van belang is.
- STAP 5: Toetsing waterkering met golfbelasting bepaald met de eenvoudige methode.
- STAP 6: Toetsing waterkering met golfbelasting bepaald met geavanceerde modellen. (Het in detail beschrijven van de geavanceerde methode behoort niet tot deze handleiding. Wel worden in bijlage 4 twee voorbeelden gegeven van de toepassing van geavanceerder modellen.

Met het doorlopen van de stappen worden de hydraulische randvoorwaarden steeds nauwkeuriger bepaald; hierbij neemt echter ook de inspanning die hiervoor benodigd is toe, omdat steeds meer golfdempende effecten worden meegenomen. In stappen 1, 3 en 5 wordt de toetsing van de waterkering uitgevoerd en dient aan de hand van de resultaten overwogen te worden of een nauwkeuriger bepaling van de randvoorwaarden (volgende stap) nog nodig, zinvol en/of haalbaar is. In de afweging dient ook een inschatting te worden gemaakt of een gunstiger toetsresultaat kan worden verkregen door een geavanceerde toetsing van de waterkering uit te voeren.

Voor wat betreft de bepaling van de golfbelasting geldt dat in de methode het uitgangspunt wordt gehanteerd dat scores “onvoldoende” en “nader onderzoek” geen finale resultaten van een toetsing zijn zolang het mogelijk is de golfbelasting met een verfijndere methode te bepalen.

In het volgende diagram wordt het toetsingsproces nader beschreven. De invoer van het toetsingsproces bestaat uit buitengaatse golfrandvoorwaarden met bijbehorende waterstanden, windsnelheid, golfrichting en windrichting en de geometrische kenmerken van het havenbekken en de primaire waterkering. De golf- wind- en waterstandsrandvoorwaarden worden ook wel Hydraulische Randvoorwaarden genoemd (HR). De golfrandvoorwaarden kunnen hierbij voor één of meerdere windrichtingen worden gegeven. Zij bestaan uit een significante golfhoogte H_s , de spectrale periode $T_{m-1,0}$, de gemiddelde golfrichting DIR en vaak ook de golfrichtingsspreiding DSPR. Tevens moet de bijbehorende waterstand worden opgegeven. De buitengaatse golfcondities zijn meestal gebaseerd op resultaten van het spectrale golfmodel SWAN, dat informatie geeft over de significante golfhoogte H_{m0} , de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$, de gemiddelde golfrichting DIR en de richtingspreiding DSPR. De laatste twee richtingsmaten worden in graden uitgedrukt. In deze handleiding wordt de spectraal bepaalde significante golfhoogte H_{m0} aangeduid met het symbool H_s .

In de eenvoudige methode wordt bij de behandeling van diffractie effecten onderscheid gemaakt tussen een wind gedreven golfveld met een grote mate van richtingspreiding en deining met een kleine mate van richtingspreiding. Dit betekent dat de precieze waarde van de golfrichtingsspreiding geen rol speelt in de eenvoudige methode. In het algemeen geldt dat golfcondities die voor een toetsing worden gebruikt sterk windgedreven zijn en daardoor een hoge mate van richtingspreiding hebben.

De bron van de toe te passen Hydraulische Randvoorwaarden verschillen per gebied. Voor de Zeeuwse Wateren en de Hollandse Kust staan deze beschreven in de HR2006. Hoewel er voor de Westerschelde en Waddenzee nieuwe HR zijn afgeleid, zijn deze vooralsnog niet beschikbaar voor toepassing in toetsing- en ontwerpstudies. Andere bronnen van HR zijn de resultaten van de Hydra-B, K, Q en Zout modellen. De HR zijn vaak gegeven voor één windrichting, maar het komt ook voor dat deze voor verschillende windrichtingen gegeven wordt, omdat niet op voorhand bekend is welke windrichting maatgevend is voor de primaire waterkering in een havenbekken. Om die reden wordt daarom aanbevolen meerdere richtingen te beschouwen.

De eenvoudige methode geeft een vertaalslag van de buitengaatse golfrandvoorwaarden naar golfcondities bij de teen van de dijk. Uitgangspunt is dat de golfbelasting bij de teen van de dijk wordt uitgedrukt in een significante golfhoogte H_s , een spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ en een hoek van golfval. Deze laatste parameter wordt in de eenvoudige methode niet bepaald, maar er wordt aangenomen dat de hoek van inval loodrecht op de dijk is. Vervolgens wordt een belastingsmodule toegepast, zoals PC-Overslag, om een benodigde kruinhoogte te bepalen. De combinatie van golfcondities en waterstand bepaald dan of de waterkering wordt goedgekeurd dan wel afgekeurd (in dit geval op basis van benodigde kruinhoogte). Het spreekt voor zich dat er ook andere bezwijkmechanismen zijn (zoals stabiliteit steenbekleding, afschuiving, etc.), maar de basis golfparameters zullen in dit

geval het zelfde blijven, nl. de significante golfhoogte, H_s , de spectrale periodemaat, $T_{m-1,0}$, en de waterstand.

Een belangrijke parameter in de eenvoudige methode is de representatieve ondiep water golflengte L_R . In de vorige versie van de eenvoudige (voorheen gedetailleerde) methode werd hiervoor de diepwater golflengte $L_{0,p}$ behorend bij de piekperiode T_p voor gebruikt. In deze versie wordt de representatieve golflengte echter gebaseerd op een representatieve waterdiepte d en de spectrale periode $T_{m-1,0}$. Voor de representatieve waterdiepte wordt de grootste waterdiepte in en bij de ingang van het havenbekken genomen. Deze kan worden vastgesteld op basis van informatie over de bodemligging. De representatieve ondiep water golflengte L_R kan op basis van lineaire golftheorie uit de representatieve waterdiepte d en de spectrale periode $T_{m-1,0}$ worden afgeleid. Bijlage B2.1 geeft de rekenmethode om deze golflengte uit te rekenen of af te lezen uit een grafiek.

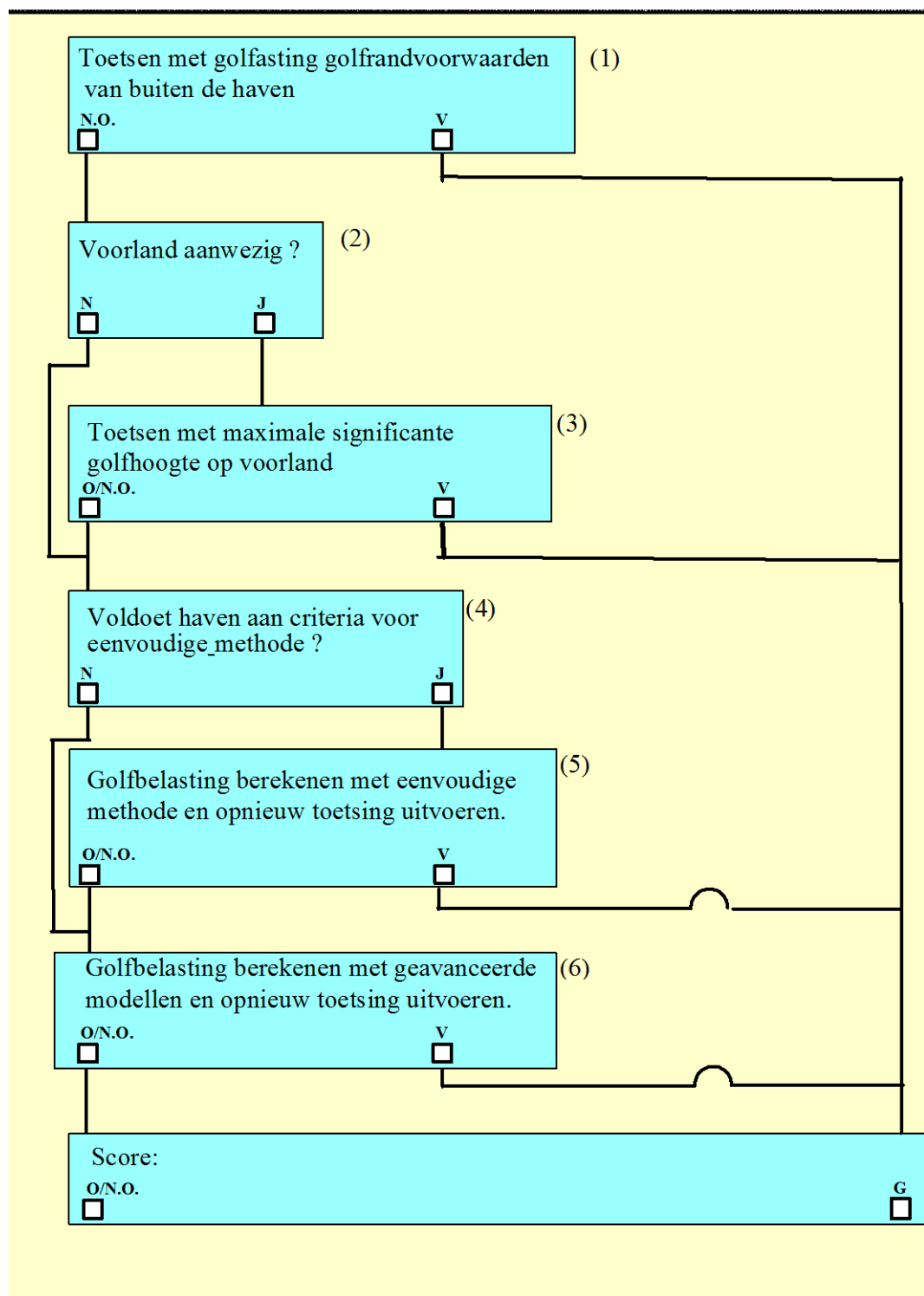
De representatieve ondiep water golflengte op basis van T_{m-10} is kleiner dan de diep water golflengte op basis van T_p . Enerzijds omdat T_{m-10} in het algemeen 10% kleiner is dan de piekperiode T_p en omdat voor golven met eenzelfde periode de golflengte kleiner wordt naarmate de diepte afneemt. Gebruik van de golflengte L_R in plaats van de diepwater golflengte $L_{0,p}$ resulteert in iets lagere waarden van de diffractiecoëfficiënten en derhalve in iets lagere golfcondities. Omdat $L_R < L_{0,p}$ leidt dit in de diffractietabellen van Bijlage 2 tot een verschuiving naar rechtsboven omdat zowel X/L als Y/L in gelijke mate groter worden.

In sommige toepassingen wordt nog gebruik gemaakt van de piekperiode T_p of de gemiddelde piekperiode T_{pm} . De T_{pm} is maat voor de gemiddelde piekperiode op basis van piekperiode maten voor dubbelgepiekte spectra. Informatie over de berekening van T_{pm} is te vinden in [6] en [7].

Indien geen informatie over T_{m-10} beschikbaar is, moeten voor toepassing in deze aangepaste eenvoudige methode de periodematen T_p of T_{pm} worden omgerekend naar de spectrale periodemaat T_{m-10} . Hiervoor kunnen de volgende aannamen worden toegepast:

$$T_{m-10} = T_p / 1,1$$

$$T_{m-10} = T_{pm} / T_{pm}$$



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

2.2 Toelichting per stap

STAP 1: Toetsen met randvoorwaarden buiten de haven

Voer de toetsing uit met de golfcondities zoals deze gelden buiten de haven. Deze hydraulische randvoorwaarden moeten worden ontleend aan de vigerende Hydraulische Randvoorwaarden per deelsysteem. Wanneer de toetsing van een vak voor één of meerdere mechanismen 'onvoldoende' of 'nader onderzoek' scoort, kan naar STAP 2 worden gegaan.

STAP 2: Controle aanwezigheid stabiel ondiep voorland voor de waterkering

Onderzoek of er een stabiel ondiep voorland (bijvoorbeeld een kadeconstructie of haventerrein) ligt voor en direct aansluitend op de beschouwde waterkering, met een talud van minder dan 1:10 en een breedte (bezien loodrecht op de dijk) van minimaal $1 * L_R$. Met stabiel wordt bedoeld dat het voorland ook bij de toets- of ontwerpcondities blijft liggen. In de praktijk betekent dat het voorland in de legger is opgenomen. Bij aanwezigheid van een voorland dat breder is dan $1 * L_R$ kan naar STAP 3 worden gegaan waarin een diepte beperkte maximale golfhoogte wordt bepaald. Wanneer het voorland een breedte kleiner is dan $1 * L_R$ heeft, is er sprake van een voorland met gering dempend effect en mag STAP 3 niet worden uitgevoerd; er dient te worden doorgegaan met STAP 4.

Voorbeeld:

Gegeven:

golfrandvoorwaarden buiten: Waterstand (h) = NAP + 6 m, $H_s = 2,1$ m, $T_p = 5,0$ s, kade met lengte 50 m, horizontaal terrein gelegen op NAP + 5 m. Representatieve waterdiepte 20 m. Golfrichting wordt loodrecht op het voorland verondersteld.

Berekening:

$$T_{m-10} = T_p / 1,1 = 5 / 1,1 = 4,55 \text{ s}$$

$$L_{0,p} = (g/2\pi) * T_{p,i}^2 = 39,0,3 \text{ m.}$$

$L_R = 32,3$ m op basis van de formules en de figuur in Bijlage B2.1 voor $T_{m-1,0} = 4,55$ s en $d = 20$ m.

Lengte kade is groter dan L_R en taludhelling is kleiner dan 1/10 => er is sprake van een ondiep voorland

Resultaat:

Doorgaan met STAP 3

STAP 3: Toetsen met maximale golfhoogte en spectrale golfperiode T_{m-10} op het voorland

Voer de toetsing opnieuw uit maar nu met de (maximale) golfcondities op het voorland om rekening te houden met een mogelijke beperking van de invallende golfhoogte:

- De maximale golfhoogte op het voorland $\max(H_s)$ is gelijk aan $0,7 * d$. Indien de golfhoogte H_s buiten de haven lager is dan $0,7 * d$, kan de golfhoogte H_s worden aangehouden.
- De golfperiode op het voorland is gelijk aan spectrale periode $T_{m-1,0}$ buiten de haven.
- De golfrichting wordt loodrecht op de waterkering verondersteld. Hoewel het bijdraaien een verlaging van de golfhoogte geeft, de refractie coëfficiënt is kleiner dan 1, wordt deze reductie vanuit het oogpunt van conservatisme niet toegepast. t.

Wanneer uit de toetsing de score 'onvoldoende' of 'nader onderzoek' wordt verkregen, kan de eenvoudige methode, STAP 4, worden overwogen.

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 en stabiel voorland.

Berekening:

Waterdiepte $d_m = 6 - 5 \text{ m} = 1 \text{ m}$

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

Resultaten:

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

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

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

$T_{m-10} = 4,55 \text{ s}$

$L_R = 32.3 \text{ m}$

golfrichting loodrecht op waterkering.

STAP 4: Toetsing haven aan criteria eenvoudige methode.

Om de eenvoudige methode te mogen toepassen moet de beschouwde haven aan enkele criteria voldoen. Deze criteria worden in het volgende hoofdstuk uitvoerig beschreven. In het algemeen geldt dat de eenvoudige methode mag worden toegepast mits:

- in de haven geen golfreflectie(s) van betekenis wordt verwacht;
- de haven geen complexe geometrie heeft.

Wanneer aan deze criteria wordt voldaan, kan naar STAP 5 worden gegaan. Als gebruik van de eenvoudige methode niet is toegestaan, geldt STAP 6 als volgende stap.

In de eenvoudige methode worden eventuele effecten van havendammen en hoge voorlanden meegenomen. Deze elementen kunnen echter alleen een rol spelen als zij in de legger zijn

opgenomen. Met andere woorden, zij blijven ook onder toetsomstandigheden hun functie vervullen.

STAP 5: Toetsing met golfcondities uit de eenvoudige methode

De golfbelasting wordt met de eenvoudige methode vastgesteld. Deze methode is uitgebreid beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport.

Vervolgens wordt de toetsing opnieuw uitgevoerd. 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

Bepaal de golfrandvoorwaarden met geavanceerde modellen. De criteria voor toepassing van deze modellen zijn opgenomen in hoofdstuk 4 van dit rapport.

3 Bepaling golfrandvoorwaarden met de eenvoudige methode

De eenvoudige methode bestaat in essentie uit het bepalen van de mate van golfdoordringing in een havenbekken dat is afgeschermd door één of twee golfbrekers en de bijdrage van lokale golfgroei door wind. In het eenvoudigste geval dat het havenbekken is afgeschermd door één of twee dammen, kan de mate van golfdoordringing vaak eenvoudig worden bepaald door het toepassen van zogenaamde diffractietabellen en de bijdrage van golfenergie die over de dam transmittiert. De tabellen maken onderscheid tussen havens die door één of door twee dammen worden afgeschermd. Het deel van de haven dat invloed ondervindt van golftransmissie, wordt transmissiezone genoemd. Ook kan de bijdrage van wind eenvoudig worden afgeschat op basis van parametrische golfgroei-relaties. Tevens kunnen ondiepe voorlanden leiden tot een beperking van de maximale significante golfhoogte.

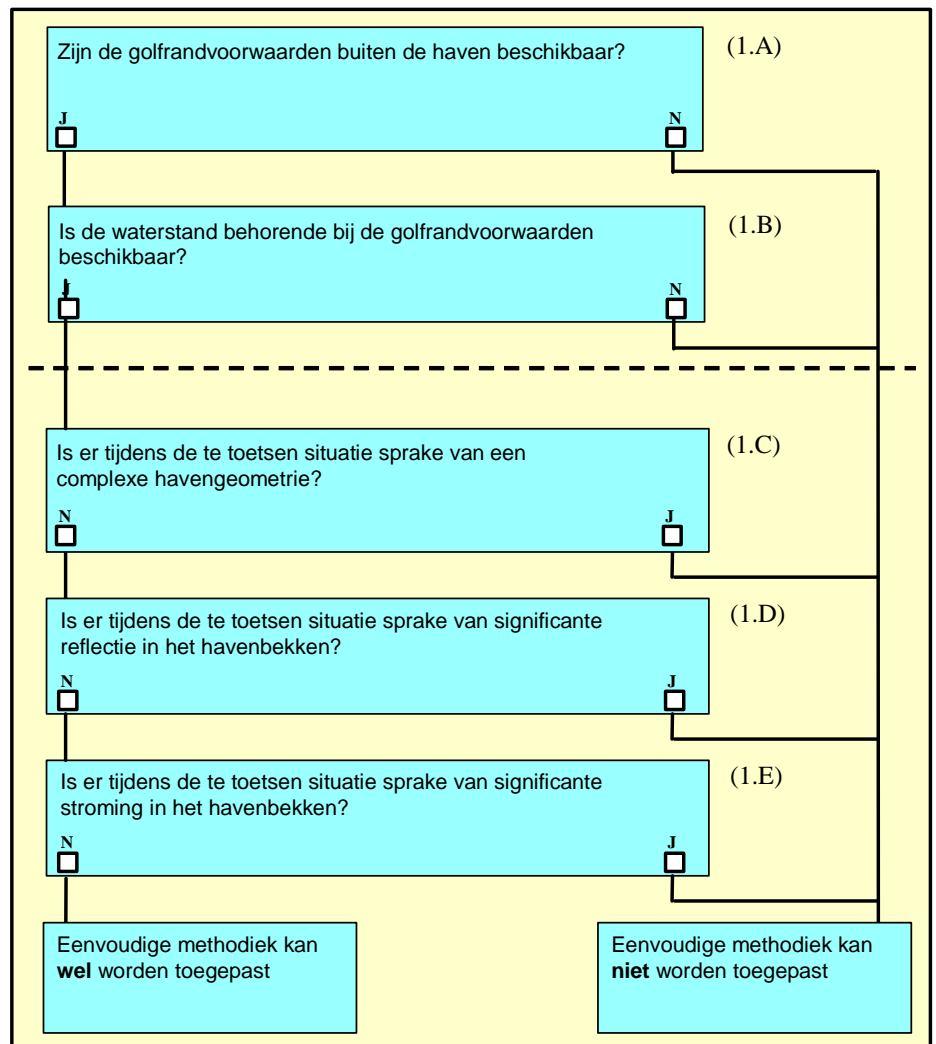
Indien de haven afgeschermd is door meerdere golfbrekers met verschillende hoogtes en/of materialen, of dat zich in het havenbekken meerdere dammen achter elkaar liggen, of dat de haven uit meerdere bekkens bestaat, dan moet goed worden bekeken op welke wijze de eenvoudige methode nog met vertrouwen kan worden toegepast.

Om te beoordelen of de eenvoudige methode mag worden toegepast, moeten een aantal stappen worden doorlopen. Deze stappen worden in dit hoofdstuk behandeld.

3.1 STAP 1 Controle toepasbaarheid van eenvoudige methode

In de eenvoudige methode is de berekeningswijze van een aantal van bovengenoemde fysische processen sterk vereenvoudigd. Andere fysische processen, zoals refractie en golf-golf wisselwerkingen, zijn in het geheel niet in de methode meegenomen. Deze vereenvoudigingen en verwaarlozingen van processen stellen beperkingen aan de toepassing van de methode als geheel of van onderdelen ervan. Dit is afhankelijk van enkele karakteristieken van de beschouwde haven. Daarom zijn criteria geformuleerd waarmee de toepasbaarheid kan worden beoordeeld. In figuur 2 wordt een keuzestroomschema gepresenteerd aan de hand waarvan de beoordeling kan plaatsvinden. In deze figuur staan controlevierkantjes die betrekking hebben op een keuze voor nee (N) en ja (J).

Figuur 2
Schema voor controle toepasbaarheid
eenvoudige methode



Het vaststellen van de toepasbaarheid geschiedt aan de hand van de volgende stappen:

- STAP 1A: Zijn de golfrandvoorwaarden buiten de haven beschikbaar?**
 De golfrandvoorwaarden buiten de haven dienen gespecificeerd te zijn met een significante golfhoogte H_s , een spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ en een golfrichting DIR per (hoofd)richting. Deze golfrandvoorwaarden dienen te worden ontleend aan de lokaal beschikbare Hydraulische Randvoorwaarden (zie paragraaf 2.1 voor de beschikbare bronnen).
- STAP 1B: Is de waterstand behorende bij de golfrandvoorwaarden beschikbaar?**
 De waterstand als randvoorwaarde van de berekeningen, dient te corresponderen met de gespecificeerde golfrandvoorwaarden uit stap 1A. Deze waterstand dient te worden ontleend aan de vigerende Hydraulische Randvoorwaarden voor de betreffende haven.

STAP 1C:

Treedt er tijdens de te toetsen situatie meervoudige transmissie/diffractie op in het havenbekken?

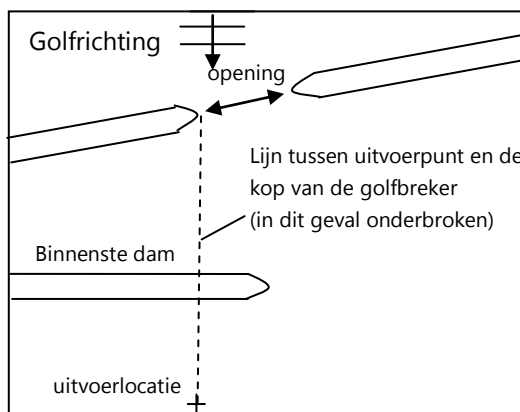
Bij havens met een complexe havengeometrie kan de hier beschreven methodiek niet worden toegepast. De complexiteit van de havengeometrie wordt voornamelijk bepaald door de invloed ervan op de processen diffractie, reflectie en transmissie over havendammen. Indien er sprake is van zogenoemde meervoudige 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. Van meervoudige transmissie is sprake als zich langs een golfstraal (een lijn tussen de buitenste kop van een golfbreker bij de haveningang en de locatie waarvoor de golfconditie moet worden geschat) meerdere constructies bevinden waarover er golftransmissie plaatsvindt.

Bepaal nu of er sprake is van meervoudige diffractie en transmissie op de navolgende wijze:

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.

Voorbeeld:



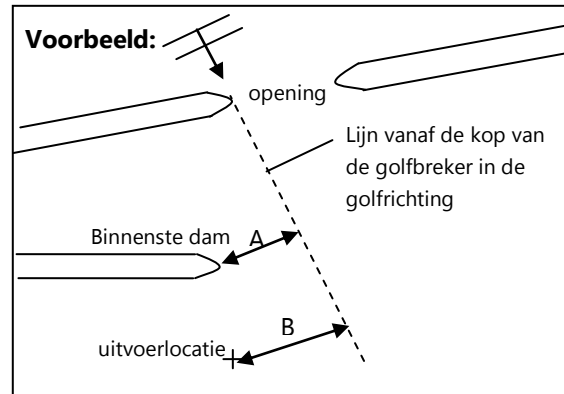
Meervoudige diffractie

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);

Figuur 3
Voorbeeld van meervoudige
diffractie/transmissie

Figuur 4
Voorbeeld van meervoudige diffractie

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 één bovenstaande situaties 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 havengeometrie als complex beschouwd en is de eenvoudige methode niet toegestaan.

STAP 1D: Treedt er tijdens de te toetsen situatie significante reflectie op in het havenbekken?

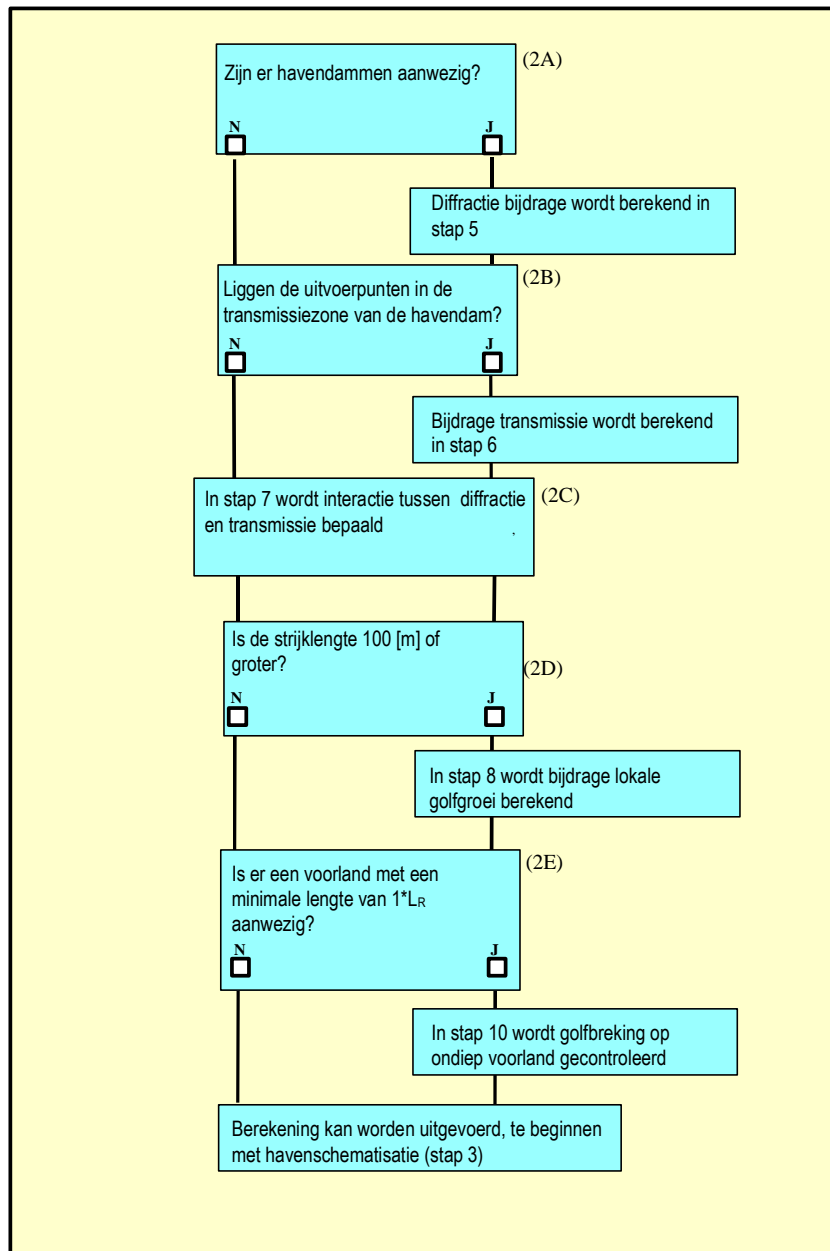
Het gebruik van de eenvoudige methode is niet toegestaan wanneer significante golfreflecties worden verwacht. Hiervan is sprake bij aanwezigheid van verticale wanden (kademuren) in het havenbekken waarvan de kruin ligt op of uitsteekt boven de beschouwde waterstand. Reflectie kan dan een grote invloed hebben op het golfbeeld in de haven en daarmee op de golfbelasting. Reijmerink [5] heeft aangetoond dat reflectiecoëfficiënten tot 50% toegestaan zijn voor het mogen toepassen van de eenvoudige methode.

STAP 1E: Treedt er tijdens de te toetsen situatie significante stroming op in de haven?

De eenvoudige methode kan niet worden toegepast in situaties waarbij er een significante stroming in het havenbekken aanwezig is tijdens toetsomstandigheden. Dergelijke stromingen komen bijvoorbeeld voor in havenbekkens waar een uitwateringskanaal in uitmondt. Indien significant de reden hiervoor is dat ingeval van stromingen er stroomrefractie en golfblokkering kan optreden waardoor niet meer voldaan wordt aan de basisaannamen van de eenvoudige methode. In dergelijke gevallen dienen de golfbrandvoorwaarden door middel van een geavanceerde methode te worden bepaald. Het dan toe te passen modelinstrumentarium dient dan ook gebruik te maken van modelcomponenten die de stromingen uitrekenen voor de gegeven condities.

3.2 STAP 2 Vaststellen van relevante individuele processen

In bepaalde gevallen, bij een bepaalde havengeometrie en/of een bepaalde golf- en windcondities, kunnen wellicht één of meerdere fysische processen op voorhand als niet relevant voor de berekeningen worden gekenmerkt. Een voorbeeld van een belangrijke keuze is het meenemen van lokale windgroei. Voorafgaand aan de berekening van de golfbelasting kan derhalve een keuze gemaakt worden over het wel of niet in rekening brengen van de verschillende fysische processen. Onderstaande figuur bevat een stroomschema ten behoeve van het vaststellen van de relevante processen. In het stroomschema is tevens weergegeven in welke paragrafen aanvullende informatie met betrekking tot de relevantie van de processen is te vinden.



Figuur 5
Schema voor vaststellen relevante individuele processen

Opgemerkt wordt dat indien vraag 2A met Nee beantwoord wordt, de vragen 2B, 2C en 2D overgeslagen kunnen worden.

Stap 2A

Is de invloed van diffractie van belang?

Diffractie zorgt voor een verspreiding van golfenergie achter een golfbreker (havendam) of in een afgeschermd gebied. Achter de golfbreker ontstaat een schaduwzone; door het verschil in golfhoogte tussen golven die ongestoord de golfbreker passeren en het golfveld in de schaduwzone achter de golfbreker, zal overdracht plaatsvinden van golfenergie. Een toelichting op het proces diffractie wordt gegeven in B1.2. De berekening van diffractie vindt in stap 5 plaats.

Stap 2B

Is de invloed van transmissie van belang?

In havens die afgeschermd zijn met één of meerdere havendammen, kan transmissie van golfenergie over of door de dam een rol spelen. Hierbij spelen de kenmerken van de dam en de waterstand een rol. In het algemeen geldt dat hoe hoger de waterstand des te meer golfenergie getransmitteerd kan worden. Een gedetailleerde toelichting op het proces transmissie wordt gegeven in B1.3. De berekening van transmissie wordt in stap 6 uitgevoerd.

Stap 2C

Interactie diffractie-transmissie meenemen?

De rekenmethode gaat altijd uit van een interactie tussen diffractie en transmissie. Hierin wordt rekening gehouden met het feit dat getransmitteerde golven de golfhoogte gradiënten in het golfveld verminderen, waardoor diffractie effecten minder sterk worden. In deze stap hoeft de gebruiker geen afweging te maken. Ook zelfs indien diffractie of transmissie niet relevant is, wordt dit feit in de rekenmethode op een correcte wijze verwerkt. Een gedetailleerde toelichting op de interactie diffractie-transmissie wordt gegeven in B1.4. De berekening van de interactie vindt in stap 7 plaats.

Stap 2D

Lokale golfgroei van belang?

Lokale golfgroei in het havenbekken is van belang als er op basis van de windsnelheid en windrichting, en de grootste strijklengte verwacht kan worden dat de opgewekte golven significant bijdragen aan de golfbelasting op de waterkering. Gezien de relatief hoge windsnelheden onder stormcondities in combinatie met relatief lage golven in de haven (vanuit andere bijdragen) is lokale windgroei vrijwel altijd van belang en wordt aangeraden dit altijd mee te nemen. Alleen ter plaatse van uitvoerpunten welke direct afgeschermd liggen voor de wind kan lokale windgroei geen significante rol spelen. De strijklengte is de afstand (tussen een uitvoerpunt en een object zoals een havendam of de haveningang) waarover wind vat kan krijgen op het wateroppervlak en lokale golven kan genereren. Een gedetailleerde toelichting op het proces lokale golfgroei wordt gegeven in B1.5. De berekening wordt in stap 8 uitgevoerd.

Stap 2E

Is er een voorland aanwezig?

Controleer de aanwezigheid van voorland. In het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [8] wordt gesteld dat de reductie in

golfhoogte door golfbreken mag worden meegenomen als de lengte van het voorland tenminste gelijk is aan $1 * L_R$. Daarbij wordt een maximale significante golfhoogte / diepteverhouding aangehouden van 0,7. In deze eenvoudige methode is ervoor gekozen het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) aan te houden. Een gedetailleerde toelichting met betrekking tot een hoog voorland wordt gegeven in B1.6. Als er sprake is van een voorland, wordt in stap 10 het breken van golven gecheckt.

3.3 STAP 3 Schematisatie van de haven

Om de eenvoudige methode te kunnen gebruiken is een schematisatie van de beschouwde haven nodig. In een dergelijke schematisatie kunnen enerzijds irrelevante details weggelaten worden, anderzijds is het belangrijk om geen details weg te laten die wel van belang zijn voor de processen en daarmee voor de bepaling van de golfbelasting op de primaire waterkering. Verder dienen de uitvoerpunten zorgvuldig gekozen te worden door de haven geometrie, de te verwachten golfcondities en het tracé van de waterkering zorgvuldig in beschouwing te nemen. De uitvoerpunten dienen enerzijds representatief te zijn voor het dijkvak en anderzijds overeen te komen met de locatie in het dijkvak waar de golfbelasting het meest maatgevend (zwaarst) is.

Hieronder worden enkele handreikingen gegeven die van pas kunnen zijn bij het maken van een havenschematisatie.

Een schematisatie moet voldoende groot zijn

In de eenvoudige methode wordt in verschillende gevallen gevraagd naar afstanden. Een veelgebruikte manier is om de haven geometrie vanuit een digitaal PDF document op papier op A4 of A3 formaat af te drukken waarbij informatie over de schaalfactor bekend is. Afstanden kunnen dan eenvoudig worden afgelezen. Een andere manier is om gebruik te maken van digitale informatie op basis van Google Earth en de relevante havencontouren daarin op te nemen. Omdat Google Earth geografische coördinaten levert, moeten deze worden omgezet naar metrische Rijksdriehoekcoördinaten. In de hoofdstukken 5 en 6 wordt deze methode toegepast voor de havens van Vlissingen en Breskens.

Voorbeeld van de papieren werkwijze:

De Buitenhaven van Vlissingen heeft een afmeting van ongeveer $1700 * 700 \text{ m}^2$. 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.

Een schematisatie toont de relevante elementen van de haven

Voor gebruik van de eenvoudige methode komen in eerste instantie de volgende elementen terug:

- 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 primaire waterkering rondom de haven.

- De havenopening bij de beschouwen waterstand (deze is namelijk niet altijd direct uit bovenaanzicht te halen en kan veel variëren per waterstand. Daarnaast wordt de monding later voor dagelijkse omstandigheden soms wat smaller gemaakt, maar deze stenen maken vaak geen onderdeel uit van de officiële waterkering en moeten dan voor toetscondities als afwezig worden beschouwd)

Gebouwen en constructies in het havenbekken en op het haventerrein worden beschouwd als niet aanwezig. De reden hiervoor is dat deze gebouwen en constructies in het algemeen geen onderdeel vormen waterkering, tenzij ze in de legger zijn opgenomen. Het is dus niet van belang of een gebouw of constructie eventueel kan bijdragen aan de golfreductie, maar wel of deze officieel deel uitmaken van de waterkering. Zoals beschreven in [1] dient voorafgaand aan een toetsing duidelijk te zijn welke onderdelen van een havenbekken een rol kunnen spelen bij de transformatie van golfcondities van buiten naar de primaire waterkering. Dit betreft o.a. dammen, golfbrekers en hoge voorlanden. Ook moet helder zijn tot welke belastingniveau bepaalde dammen elementen nog kunnen bijdragen aan een golfdempende werking. Deze vragen spelen een grote rol in de voorgenomen probabilistische toetsing in het kader van WTI2017.

Een schematisatie bestaat zoveel mogelijk uit rechte lijnen

Bij het maken van een schematisatie is het eenvoudigst om zoveel mogelijk rechte lijnen te gebruiken. Hierbij worden kleine obstakels en krommingen in lijnen verwaarloosd.

Havendammen

- Een havendam kan meestal met één rechte lijn worden geschematiseerd. Dit is van belang voor de eenvoudige berekening van de effecten van diffractie en transmissie:
- Diffractie vindt plaats vanaf het uiteinde van een havendam of vanaf het midden van de opening tussen twee havendammen. De locatie van de havendam(men) dient dan ook in de schematisatie opgenomen te worden.
- Transmissie over en door een havendam vindt plaats over de gehele breedte van de constructie. Hierbij dient volgende informatie te worden bepaald:
 - de posities van de uiteinden van de havendammen voor de bepaling van de transmissiezone,
 - de kenmerken van de geschematiseerde havendam ten behoeve van de transmissie-formulering. Indien deze kenmerken langs de dam variëren, dient de meest conservatieve waarde te worden aangehouden (dat zijn waarden die de meeste transmissie opleveren, bijv. de laagste hoogte van het beschouwde damsegment).

Voorbeeld:

De havendam voor de buitenhaven van Vlissingen 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. In hoofdstuk 5 is deze methode toegepast.



Randen van het haventerrein

De randen van het haventerrein geven de fysieke begrenzing van het wateroppervlak weer. Zij moeten geschematiseerd worden door middel van rechte lijnstukken die de vorm van het havenbekken goed volgen. Hierbij moet gestreefd worden om details kleiner dan de te verwachten golflengte weg te laten. Kades die bij de te gebruiken waterstand onder water staan, moeten als een begrenzing van het havenbekken worden beschouwd, omdat het daar achter gelegen haventerrein als een hoog voorland moet worden beschouwd. Steigers, meerpalen en andere open constructies worden niet meegenomen in de schematisatie, enerzijds omdat zij geen onderdeel uitmaken van de waterkering, en anderzijds omdat hun eventueel dempende werking bewust niet wordt meegenomen in de eenvoudige methode.

De waterkering rond de haven

Over het algemeen wordt in de schematisatie van de waterkering de zogenoemde kruinlijn aangehouden om de locatie van de waterkering te visualiseren. De kruinlijn geeft de rand van de kruin van de waterkering aan de zijde van het havenbekken aan. Een betere keuze is de teen van de waterkering zijn, omdat veel belastingformules aannemen dat golfrandvoorwaarden daar gegeven worden. In de praktijk zal het verschil in positie, afhankelijk van taludhelling en hoogte van de waterkering tov het haventerrein, enkele tientallen meter bedragen. Dergelijke verschillen kunnen afhankelijk van het proces, lokale golfgroei of golfbreken op een talud, tot te hoge of te lage golfcondities leiden. In de geest van de eenvoudige methode, moet dan per proces de meest conservatieve positie van de grens van de waterkering worden aangehouden. Daarom is zorgvuldigheid vereist om bij taluds en voorlanden de grens van de waterkering vast te stellen omdat deze kunnen afhangen van de waterstand.

Om een waterkering te toetsen, moet deze in representatieve vakken worden opgedeeld. Aanbevolen wordt om eerst om de 50 m uitvoerpunten te definiëren en daar de golfcondities voor uit te rekenen. Op basis van de variatie in resultaten, kan dan een indeling in dijkvakken worden gemaakt. Ook knikken in de dijklijn, variatie in kruinhoogte of een overgang tussen twee bekledingstypen kunnen reden zijn om een nieuwdijkvak te definiëren. De keuze van de vakken en de daarbij behorende uitvoerpunten moet zodanig zijn dat de locatie met de grootste golfbelasting in een dijkvak wordt beschouwd.

Om de waterkering in (rechte) vakken te kunnen opdelen dienen de volgende kenmerken in beschouwing genomen te worden:

- Kunstwerken kunnen meestal als één vak worden weergegeven.
- De geometrie van de waterkering moet op dezelfde wijze als de begrenzing van het haventerrein worden weergegeven.
- Significante variaties in de hoogteligging van een ondergelopen haventerrein kan aanleiding geven tot een onderverdeling in vakken
- de vakindeling van mogelijk verschillende dijkbekledingen.

Opmerking

Binnen de context van de eenvoudige methode, is het niet mogelijk om gedetailleerde aanwijzingen te geven hoe de schematisatie van de waterkeringen en de daarbij behorende vakindeling moet worden vormgegeven. Bij het maken van de schematisatie blijft het maken van keuzes die leiden tot conservatieve aannames het leidend principe. Ervaring en kennis in het toetsen en het schematiseren van havens en de daarin gelegen waterkeringen strekt tot aanbeveling. Er wordt verder verwezen naar het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [8], Katern 4, waar de vakbenadering verder wordt uitgewerkt. Voor specifieke vragen over een bepaalde haven wordt verzocht contact op te nemen met de Helpdesk Water.

3.4 STAP 4 Hydraulische randvoorwaarden buiten de haven

Informatiebron en vorm

Per haven moeten de vigerende hydraulische randvoorwaarden buiten de haven worden toegepast. Deze kunnen afkomstig zijn uit de volgende informatiebronnen:

- de Hydraulische Randvoorwaarden 2006;
- uitkomsten van de rekenmodellen Hydra (Hydra_M, Hydra_Q, Hydra_K);
- overige door Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde informatie over hydraulische randvoorwaarden,

Per toepassing van de eenvoudige methode moet in overleg met de beheerder en/of Rijkswaterstaat de juiste gegevens worden toegepast.

In de eenvoudige methode wordt ervan uitgegaan dat de hydraulische randvoorwaarden als combinaties van waterstand, significante golfhoogte H_s , spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$, windsnelheid, golfrichting DIR en U_{10} per richting (of richtingenband) zijn gegeven.

Als maat voor de golfperiode wordt de spectrale periode T_{m-10} gehanteerd. Indien een andere maat voor de golfperiode gehanteerd wordt, dient deze te worden omgerekend in een spectrale periode $T_{m-1,0}$. Indien een piekperiode T_p of T_{pm} beschikbaar is, wordt aanbevolen om deze om te zetten in T_{m-10} door deling met een factor 1,1.

Er wordt aanbevolen om RWS of Helpdesk Water te raadplegen indien er vragen zijn over de wijze van omrekenen.

Golfrichting en windrichting

De hydraulische randvoorwaarden buiten de haven kunnen gegeven zijn voor één of meerdere richtingen. Afhankelijk van de geometrie van de haven en de indeling in dijkvakken, kan een bepaalde richting maatgevend zijn voor een bepaald uitvoerpunt, terwijl een andere richting maatgevend kan zijn voor een ander uitvoerpunt. Met maatgevend wordt hier bedoeld dat de combinatie van golf, wind en waterstandcondities de grootste belasting geeft, of leidt tot de hoogste kruinhoogte of steendikte. In de voorgaande versies van deze methode werd er stilzwijgend van uitgegaan dat de wind en golfrichting gelijk waren. Deze aanname gaat niet altijd op, omdat de gemiddelde golfrichting vaak beïnvloed wordt door geulrefractie en bovenwindse richtingsafhankelijke verschillen in strijklengten. Indien de golfrichting niet gegeven is, moet rekening worden gehouden met een verschil in richting tussen de golven en de wind.

In de huidige praktijk voor het afleiden van hydraulische randvoorwaarden worden richtingssectoren met een minimale breedte van 30° toegepast. De opgegeven golf- en of windrichtingen worden daarbij representatief gesteld voor een richtingsector met de opgegeven breedte aan weerszijden van de opgegeven richting.

Indien er randvoorwaarden voor meerdere richtingen beschikbaar zijn, dan kan de maatgevende conditie per uitvoerpunt afhangen van de wind- of invallende golfrichting. In veel (complexe) havenbekkens kan niet op voorhand bepaald worden welke richting voor een bepaald dijkvak tot de maatgevende conditie leidt. Als die vraag niet met enige zekerheid beantwoordt kan worden, dan moeten alle richtingen worden doorgerekend. In sommige gevallen, bijv. op basis van het oordeel van een ervaren gebruiker, kan een bepaalde richting buiten beschouwing worden gelaten.

In het geval dat de eenvoudige methode in het kader van een probabilistische methode moet worden toegepast, dan moet een matrix van condities worden doorgerekend. Deze condities verschillen dan in windrichting, windsnelheid, waterstand en golfcondities.

Indien hydraulische randvoorwaarden voor één of meerdere richting gegeven zijn, dan moeten op alle uitvoerpunten de golfcondities bepaald worden, om de maximale golfbelasting vast te stellen.

3.5 STAP 5 Berekening bijdrage diffractie

Opmerking:

1. Indien geen havendammen aanwezig zijn of als de haven niet op andere wijze is afgeschermd, dan wordt diffractie niet in rekening gebracht: K_d is dan 1. Ga verder naar paragraaf 3.7 (berekening bijdrage transmissie).
2. Voor een uitvoerige beschrijving van het proces wordt verwezen naar Bijlage 1.

Stap 5A Bepaal de golf randvoorwaarden net buiten de havenmond.

De gezochte variabelen zijn:

- De hoofdrichting van het golfveld. De hoofdrichting van het golfveld wordt bepaald ten opzichte van het assenstelsel dat gebruikt is in de schematisatie van de haven.
- De golfhoogte H_s van het golfveld net buiten de havenmond bij de beschouwde waterstand, in het vervolg aangeduid als $H_{s,i}$
- De spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ van het golfveld net buiten de havenmond bij de beschouwde waterstand, in het vervolg aangeduid als $T_{p,i}$
- De representatieve golflengte L_R , zie bijlage B2.1 voor de berekeningswijze.

Voorbeeld:

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

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

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

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

Representatieve bodemligging havenbekken NAP -8 m

$$\text{Effectieve waterdiepte } 6,15 + 8 = 14,15 \text{ m}$$

$$\text{Golfrichting} = 210^\circ$$

Geen wind effect

Deze randvoorwaarden gelden voor de mond van de haven.

$$\text{De spectrale periode } T_{m-1,0} = T_p/1,1 = 4,8/1,1 = 4,3 \text{ s}$$

Hieruit volgt volgens bijlage B2.1 een representatieve golflengte $L_R = 28,7 \text{ m}$.

(N.B. De oude methode zou voor diep water leiden tot $(L_{0,p})$ is $(g/2\pi) * T_{p,i}^2 = (g/2\pi) * 4,8 = 36,0 \text{ m}$)

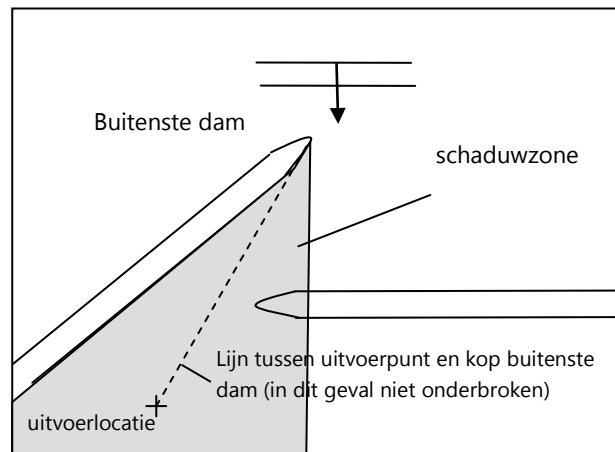
Stap 5B Bepaal de (equivalente) openingsbreedte van de havenmond.

Als sprake is van één havendam, dan is de equivalente openingsbreedte niet van toepassing. Er kan dan naar stap 5C worden gegaan.

Als sprake is van twee havendammen, bepaal dan de equivalente openingsbreedte tussen de havendammen B_{eq} als volgt:

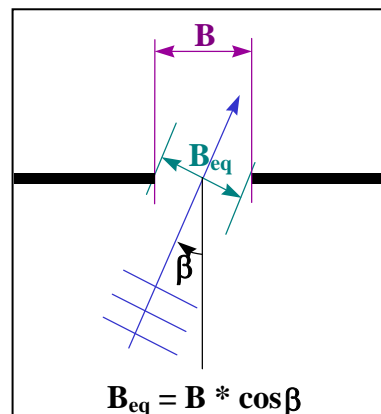
1. Controleer of één van de havendammen afschermend werkt voor de andere havendam, zie figuur 6. In het uitvoerpunt achter beide havendammen wordt de bijdrage van diffractie dan niet in rekening gebracht. De controle kan worden uitgevoerd door een lijn te trekken tussen de kop van de buitenste golfbreker en het uitvoerpunt. Wanneer deze lijn wordt onderbroken door de binnenste golfbreker, dan is er sprake van de voornoemde situatie en kan de diffractiecoëfficiënt K_d voor dit uitvoerpunt te worden gelijk aan nul gesteld te worden. In onderstaand voorbeeld wordt deze lijn niet onderbroken en kunnen diffractieeffecten wel degelijk kunnen zorgen voor golfdoordringing tot aan het uitvoerpunt. De bijdrage dient dan in 2 stappen kunnen worden uitgerekend.

Figuur 6
Controle afschermdende werking
havendammen



2. Indien de golfbrekers in elkaars verlengde liggen, moet eerst de werkelijke breedte ' B ' van de opening tussen de havendammen bepaald worden. Dit is de lengte van de denkbeeldige rechte lijn tussen de uiteinden van de twee havendammen

Figuur 7
Vaststelling equivalente openingsbreedte



3. Bepaal de hoek ' β ' tussen de invallende golfrichting en de normaallijn van de opening (zie figuur 7).
4. Bepaal de equivalente openingsbreedte ' B_{eq} ' met de volgende formule: $B_{eq} = B \cdot \cos \beta$, waarin:

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

Voorbeeld:

Gegeven:

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

Bepaling equivalente openingsbreedte:

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

Indien de havendammen niet in elkaars verlengde liggen, moet de equivalente breedte bepaald worden door de maximale breedte te bepalen van een denkbeeldige balk die nog net door de havenopening kan en daarbij aan weerskanten de uiteinden van de golfbreker raakt.

Stap 5C Keuze type diffractietabellen

Voor de bepaling van het effect van diffractie in het havenbekken wordt gebruik gemaakt van door Goda [9] ontwikkelde diagrammen die in de huidige handleiding zijn gegeven als tabellen. Opgemerkt wordt dat Goda [9] de type 2 diagrammen schaalde met X/B en Y/B voor bepaalde klassen van de parameter B/L . In de Shore Protection Manual [11] zijn de diagrammen van Goda [9] herschaalt, zodat de x-assen nu de waarden X/L en Y/L weergeven. Voor deze handleiding zijn de diagrammen op basis van de door Goda [9] gegeven vergelijkingen door [25] afgeleid en in 2 decimalen opgenomen als tabellen in bijlage 2. Diffractiecoëfficiënten kunnen dan eenvoudig worden afgeleid door bi-lineaire interpolatie in deze tabellen.

In de eenvoudige methode kan het effect van diffractie op verschillende manieren beschouwd worden, waardoor een bepaald diffractiediagram van Goda [9] moet worden toegepast. Enerzijds speelt de mate van richtingsverspreiding van het golfveld een rol. Anderzijds speelt de geometrie van de dammen een rol. Ten aanzien van mate van richtingsverspreiding wordt onderscheid gemaakt tussen een sterk richtinggespreid golfveld, zoals voorkomt bij sterke windgedreven golfvelden, en een deïnigsveld met weinig richtingsverspreiding. De mate van richtingsverspreiding, groot of klein, bepaalt de keuze van een bepaald type diffractietabellen. Ten aanzien de geometrie van de havendammen wordt onderscheid gemaakt tussen een situatie met één

(half-oneindige) golfbreker, en een situatie met twee golfbrekers gescheiden door een opening.

De mate van richtingsverspreiding kan op verschillende wijzen worden weergegeven. Een hedendaags veelgebruikte methode is door middel van een breedteparameter σ zoals gedefinieerd door [10]. Deze parameter wordt veel gebruikt als uitvoerparameter van het golfmodel SWAN en van golfrichtingsboeien. Anderzijds kan de mate van richtingsverspreiding worden weergegeven door middel van de macht s van een cosinus-verdeling van golfenergie rondom een gemiddelde golfrichting θ_0 . In deze handleiding wordt gebruik gemaakt van tabellen op basis van door Goda [9] ontwikkelde diagrammen waarin de mate van richtingsverspreiding wordt aangegeven met de parameter S_{\max} die gerelateerd aan de parameter s . In de eenvoudige methode wordt echter geen gebruik gemaakt van de precieze waarden van de mate van richtingsverspreiding. Er wordt alleen onderscheid gemaakt tussen een grote mate van richtingsverspreiding voor windgedreven golven en een geringe mate van richtingsverspreiding voor deiningsgolven.

De diffractietabellen zijn opgenomen in bijlage 2. Voor een juiste keuze dienen de volgende aspecten te worden beschouwd.

geometrie havendammen

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

- er sprake is van één havendam, of
- als $B > 5 L_R$
- als $B_{eq} > 5 L_R$
- B_{eq} is nul (zie voorbeeld 1)

Tabellen 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 $B_{eq} < 5 L_R$

Opgemerkt wordt dat bovenstaand criterium geen scherp onderscheid kan maken tussen de mate van diffractie in geval $B_{eq} \approx 5 L_R$. In voorkomende gevallen wordt aangeraden om beide type tabellen toe te passen en dan de meest conservatieve uitkomst toe te passen.

het type golfveld buiten de haven

Tabellen met grote richtingsverspreiding ($S_{\max}=10$, $\sigma=25^\circ$) zijn van toepassing bij een golfveld dat gedomineerd wordt door lokaal opgewekte golven. Tabellen met kleine richtingsverspreiding ($S_{\max}=75$, $\sigma=5^\circ$) zijn van toepassing bij een golfveld dat gedomineerd wordt door deiningsgolven.

Aanbevolen wordt om de tabellen met grote richtingsverspreiding aan te houden, omdat voor de Nederlandse havens de golfrandvoorwaarden altijd betrekking hebben op windgedreven (toetsings)condities. Om dezelfde reden wordt dan ook aanbevolen om het effect van lokale golfgroei altijd mee te nemen. Alleen in het geval dat de buitengaats golfcondities uit deining bestaan, kan het effect van wind worden verwaarloosd.

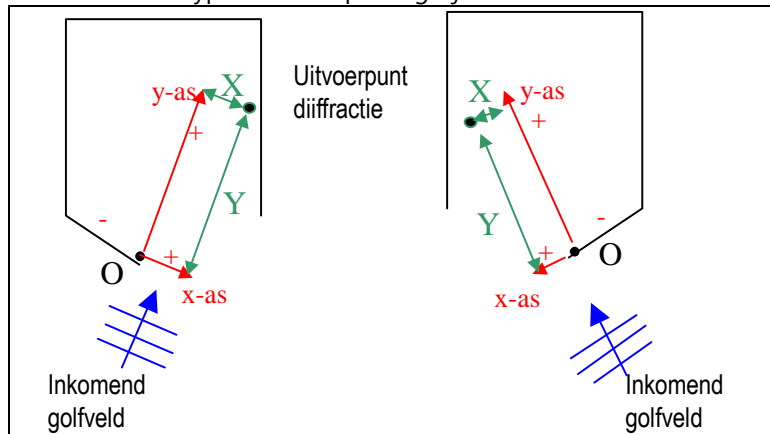
Opgemerkt wordt dat de tabellen behorend bij een gat tussen 2 golfbrekers gebaseerd zijn op de aanname dat de afzonderlijke golfbrekers in elkaars verlengde liggen en dat de windrichting haaks op de opening ligt. Omdat in de praktijk zelden aan deze voorwaarden voldaan kan worden, wordt in deze handleiding gebruikt gemaakt van het begrip 'equivalente' breedte, nl. de projectie van de opening die haaks staat op de invallende golfrichting. Tevens wordt opgemerkt dat de diffractietabellen zijn afgeleid voor een geometrie met een vlakke horizontale bodem, waardoor er geen refractieeffecten optreden, en oneindig dunne golfbrekers die volledig reflecteren.

Stap 5D De locatie waar de diffractiecoëfficiënt bepaald moet worden

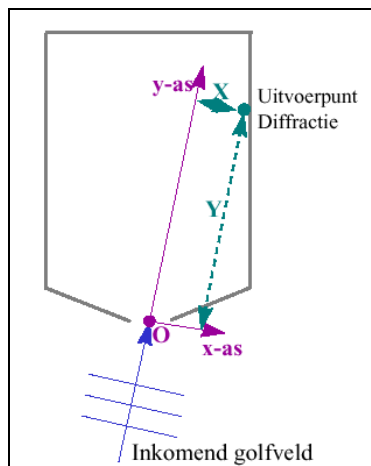
De locatie van het uitvoerpunt wordt gespecificeerd aan de hand van coördinaten in een assenstelsel. Dit assenstelsel is weergegeven in figuur 8 en figuur 9 en is als volgt gedefiniëerd:

- De y-as is gedefiniëerd als zijnde de as die parallel en gelijkgericht is aan de inkomende golfrichting (positief in de voortplantingsrichting van de golf).
- De x-as staat loodrecht op de y-as.
- De oorsprong (O) van het assenstelsel ligt:
 - op het uiteinde van de havendam als tabellen type 1 van toepassing zijn
 - in het midden van de opening tussen de havendammen als tabellen type 2 van toepassing zijn.

.....
Figuur 8
Definitie assenstelsel, één havendam



.....
Figuur 9
Definitie assenstelsel, twee havendammen



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 dimensieloze grootheden X/L_R , Y/L_R .

Opmerking:

Voor type 1 tabellen:

Indien X/L_r of Y/L_r buiten het bereik van de tabellen vallen dient de maximale/minimale waarde voor X/L_R en Y/L_R uit de tabel gekozen te worden.

Voor type 2 tabellen:

Indien X/L_R of Y/L_R buiten het bereik van de tabellen vallen dient de maximale/minimale waarde voor X/L_R en Y/L_R uit de tabel gekozen te worden.

Stap 5E Berekening van de diffractiecoëfficiënt

De berekening van de diffractiecoëfficiënt aan de hand van de tabellen is afhankelijk van de samenstelling en geometrie van de havendammen; type 1 en een type 2 zijn afgebeeld in figuur 8 en figuur 9.

Tabel voor type 1:

De tabellen van type 1 in bijlage B2.1 worden gegeven voor zowel grote als kleine mate van richtingsspreiding. 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. In bovenstaande figuren bevinden negatieve waarden voor X/L_R zich in de schaduwzone van de havendam.

Tabel voor type 2:

De tabellen van type 2 in bijlage B2.2 worden gegeven voor verschillende verhoudingen van de equivalente openingsbreedte en de golflengte ($B_{eq}/L_R = 1, 2, 4$ en 8). Voor andere waarden van B_{eq}/L_R mag lineair geïnterpoleerd worden tussen de twee omliggende tabellen. 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 de tabel voor de kleinere B/L
$K_{d,gr}$	=	De diffractiecoëfficiënt uit de tabel voor de grotere B/L
BL	=	De waarde van B_{eq}/L_R waarvoor de diffractiecoëfficiënt gezocht wordt
BL_{kl}	=	De B_{eq}/L_R kleiner dan de B/L waarvoor een tabel bestaat.
BL_{gr}	=	De B_{eq}/L_R groter dan de B/L waarvoor een tabel bestaat

Opmerkingen:

1. De diffractietabellen van type 2 geven als afhankelijke variabele langs de x- en y-as de parameters X/L en Y/L , terwijl de originele Goda diagrammen gegeven zijn in termen van X/B en Y/B .
2. Voor $B_{eq}/L_R < 1$ moet de tabel met $B/L = 1$ aangehouden worden
3. Voor $B_{eq}/L_R > 8$ moet de tabel met $B/L = 8$ aangehouden worden
4. De diffractietabellen van type 2 zijn per B/L waarde gegeven voor een klein (K) en een groot bereik (G). Waar mogelijk moet de tabel met een klein bereik worden aangehouden omdat de waarden hier met een fijnere resolutie van X/L en Y/L zijn gegeven dan in de tabellen met een groot bereik.
5. De diffractiecoëfficiënt heeft als geldigheidsbereik: $0 < K_d \leq 1,1$

Voorbeeld:

Gegeven:

- Haven met opening tussen 2 havendammen.
- Uit stap 5A: golflengte $L_R = 28,7$ m.
- Uit stap 5B: $B_{eq} = 141,4$ m
- Uit stap 5C: Tabellen type 2 van toepassing met grote mate van richtingsspreiding ($S_{max} = 10$)
- Coördinaten uitvoerpunt: $X = 100$ m, $Y = 400$ m => Uit stap 4 volgt: $X/L_R = 3,5$ en $Y/L_R = 13,9$

Bepaling diffractiecoëfficiënt K_d :

- $B_{eq}/L_R = 4,9 \Rightarrow BL = 4,9$, $BL_{kl} = 4$, $BL_{gr} = 8$
- K_d voor $B_{eq}/L_R = 4$: Voor de gegeven X/L_R en Y/L_R geeft dit een K_d van 0,39 => $K_{d,kl} = 0,39$ (eventueel afronden naar 0,4)
- K_d voor $B_{eq}/L_R = 8$: Voor X/L_R en Y/L_R geeft dit een K_d van 0,56 => $K_{d,gr} = 0,56$ (eventueel afronden naar 0,6)

Formule invullen:

$$K_d = 0,39 + [(4,9 - 4) / (8 - 4)] * (0,56 - 0,39) = 0,43$$

3.6 STAP 6 Berekening bijdrage transmissie

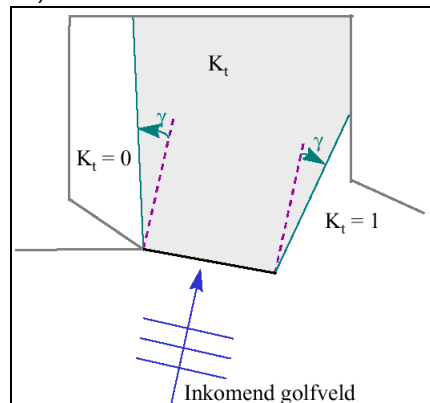
Transmissie is het fenomeen dat golfenergie door of over een golfbreker het havenbekken binnendringt. De mate van golftransmissie wordt uitgedrukt in een transmissiecoëfficiënt. Deze coëfficiënt hangt af van de kenmerken van de dam(men). Achtergronden van het proces transmissie worden beschreven in Bijlage 1. Indien golven door of over een golfbreker transmitteren, zullen zij zich in het gebied achter de golfbreker verder voortplanten. Hierbij zullen de golven zich achter de golfbreker langzaam verspreiden. Op basis van ervaring wordt hiervoor een hoek van 15° ten opzichte van de hoek van inval aangenomen. Het gebied dat beïnvloed wordt, wordt de transmissiezone genoemd. Om rekening te houden met de verbreding van de transmissiezone en om het effect conservatief te beschouwen, wordt aangenomen dat de dichtheid van getransmitteerde energie gelijk blijft. Deze aanname staat gelijk aan een constante waarde van de hierbij toegepaste transmissiecoëfficiënt K_t . Voor locaties buiten de aldus gedefiniëerde transmissiezone wordt de transmissiecoëfficiënt op nul gezet.

NB: Deze aanname kan makkelijk leiden tot een onderschatting van de golfcondities. Bovendien leidt deze aanname tot sprongen in de golfconditie. Beter is om rekening te houden met een geleidelijke afname van golfcondities buiten het directe beïnvloedingsgebied, bijv. linear naar nul afnemend over een lengte gelijk aan de representatieve golflengte L_R . (Deze aanbeveling is niet gebaseerd op berekeningen, maar op een pragmatisch gevoel van de auteurs van versie 3).

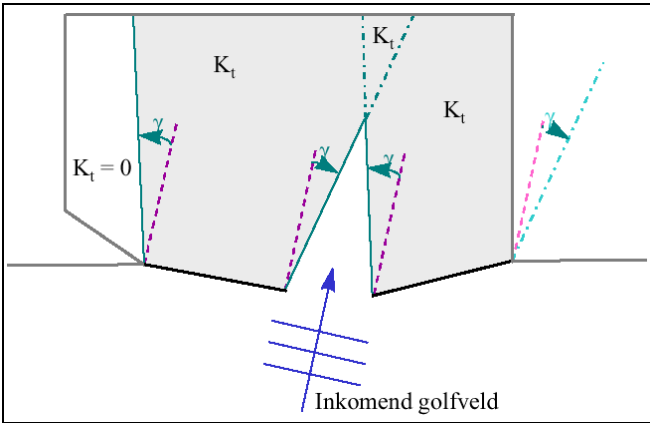
Stap 6A Bepaal de locatie van het uitvoerpunt ten opzichte van transmissiezone

De transmissiezone wordt bepaald door vanuit zowel de kop van de havendam als de aansluiting op het land lijnen te trekken. Teken deze lijnen eerst loodrecht op de as van de havendam en vergroot vervolgens de zone door de lijnen onder een hoek $\gamma = 15^\circ$ naar buiten te roteren. Het gebied binnen de lijnen is de transmissiezone. Hieronder worden voorbeelden gegeven voor de bepaling van de transmissiezone voor de situatie met één havendam (figuur 10) en de situatie met twee havendammen (figuur 11).

.....
Figuur 10
Transmissiezone voor de situatie met één
havendam



Figuur 11
Transmissiezone voor de situatie met twee
havendammen



Stap 6B Keuze van de coëfficiënten in transmissieformule
De eigenschappen van de havendam bepalen de coëfficiënten in de transmissieformule (zie tabel 1) waarmee de transmissiecoëfficiënt wordt uitgerekend.

Tabel 1
Coëfficiënten in de transmissieformule

Type havendam	α	β
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 >> L _{0,p})	1.8	0.6
Anders	Zie [11]	

- Stap 6C 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 het laagste gedeelte van de kruin.
 2. Bepaal 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 (laagste) hoogte van de kruin van de havendam(men)	[m + NAP]
h	= de waterstand	[m + NAP]

Opmerking:
Constructies die niet zijn opgenomen in de legger, worden beschouwd afwezig te zijn tijdens toetscondities. Zij dragen dus niet bij aan de reductie van de golfbelasting en zijn dan niet van invloed op de kruinhoogte. Indien een waterkering op probabilistische wijze moet worden getoetst, kan het al of niet meenemen van een constructie op de dam afhangen van het belastingniveau (of kans van vóórkomen).

3. Bepaal de transmissiecoëfficiënt K_t uit de volgende formule, met behulp van het relatiediagram uit figuur 13, op basis Goda et al. [12]

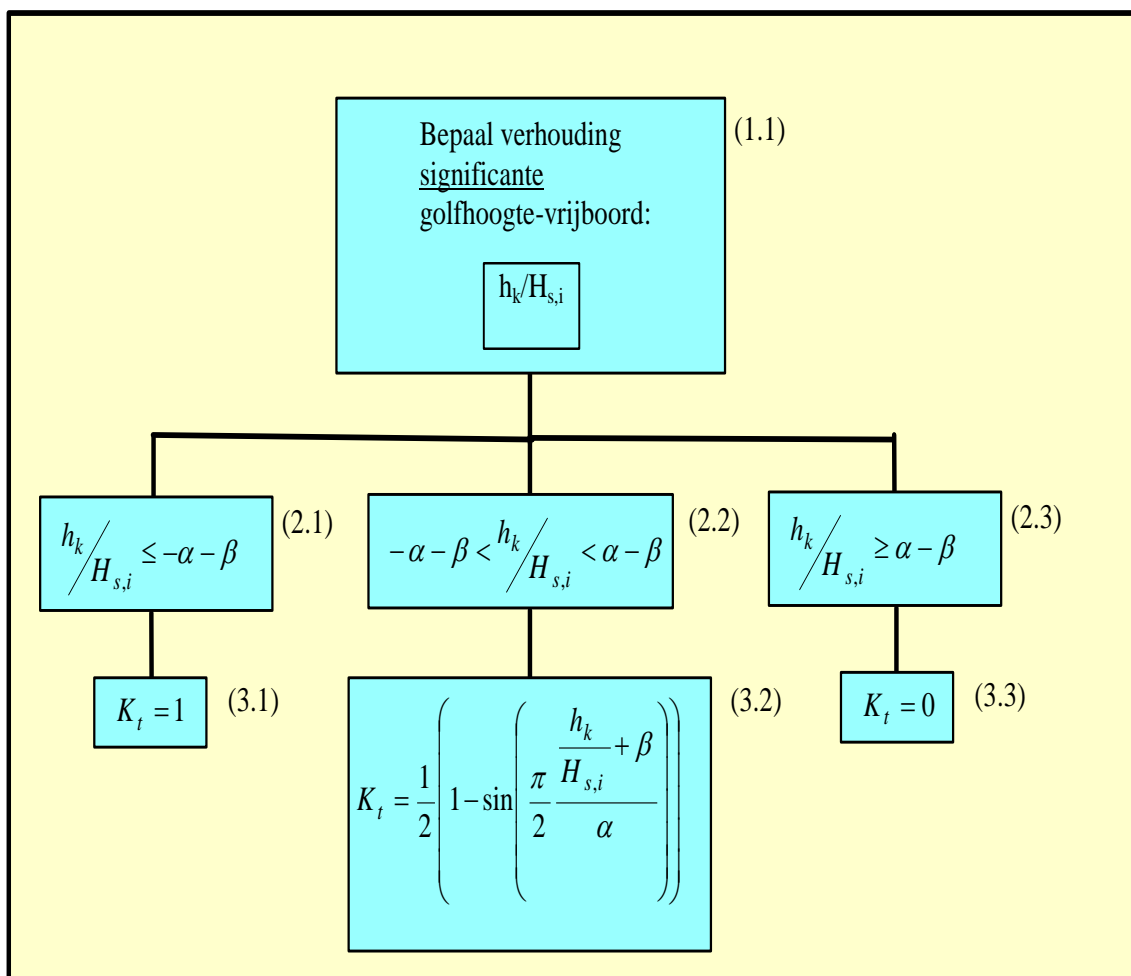
$$\begin{aligned} \frac{h_k}{H_{s,i}} \leq -\alpha - \beta & \quad K_t = 1 \\ -\alpha - \beta \leq \frac{h_k}{H_{s,i}} \leq \alpha - \beta & \quad K_t = \frac{1}{2} \left(1 - \sin \left(\frac{\pi}{2} \frac{\frac{h_k}{H_{s,i}} + \beta}{\alpha} \right) \right) \\ \frac{h_k}{H_{s,i}} \geq \alpha - \beta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

waarbij:

h_k	=	Het vrijboord [m]
$H_{s,i}$	=	De invallende significante golfhoogte [m]
α	=	De alpha-coëfficiënt uit stap 6B [-]
β	=	De beta-coëfficiënt uit stap 6B [-]

Opmerking:

De transmissiecoëfficiënt heeft een theoretisch geldigheidsbereik van $0 < K_t \leq 1,0$. In de praktijk worden vaak een ondergrens van 0.0075, en een bovengrens van 0,75 of 0,8 aangenomen.



.....
 Figuur 12
 Schema voor bepaling transmissiecoëfficiënt

3.7 STAP 7 Berekening interactie diffractie-transmissie

Opmerking:

1. De interactie diffractie-transmissie dient in alle meegenomen te worden.
2. Indien diffractie niet van toepassing is, geldt dat $K_{d,t} = K_t$.
3. Indien transmissie niet van toepassing is, geldt dat $K_{d,t} = K_d$.
4. De diffractie-transmissiecoëfficiënt heeft als geldigheidsbereik:
 $0 < K_{d,t} \leq 1,1$
5. Voor een beschrijving van het proces wordt verwezen naar Bijlage 1

Stap 7A 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 7B Bepaling bijdrage golfenergie als gevolg van diffractie en transmissie

De bijdrage aan de golfvariantie 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 ²]
$K_{d,t}$	= diffractie-transmissiecoëfficiënt	[-]
$H_{s,in}$	= invallende significante golfhoogte	[m]

3.8 STAP 8 Berekening bijdrage lokale golfgroei

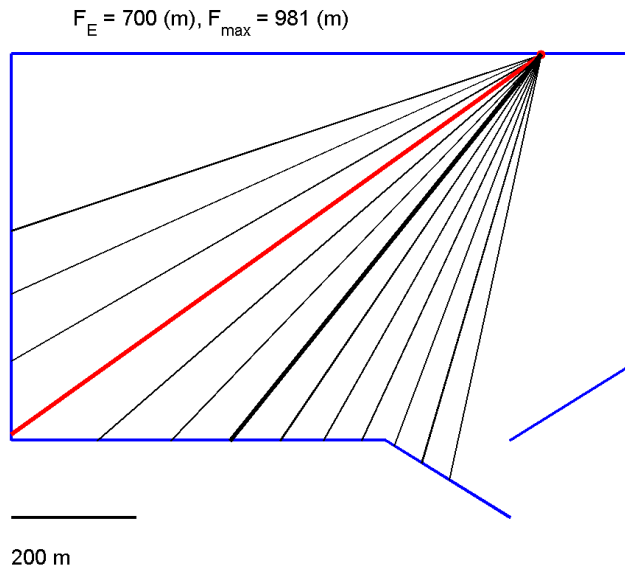
Opmerkingen:

Lokale golfgroei kan significant bijdragen aan de golfbelasting in een havenbekken. Dit effect wordt sterker naarmate de haven groter wordt en de windsnelheid hoger wordt. In de praktijk blijkt dat voor strijklengten kleiner dan 100 m en windsnelheden U_{10} kleiner dan 5 m/s, de bijdrage van lokale windgroei verwaarloosd kan worden. Echter, onder toetscondities en vrijwel in alle zeehavens in Nederlands, zal de bijdrage van lokale golfgroei door wind moeten worden meegenomen. Daarom wordt in deze versie van de handleiding aanbevolen om altijd effecten van windgroei te berekenen. Alleen in gevallen van pure deining kan het effect van wind buiten beschouwing gelaten worden.

Zoals beschreven door Holthuijsen [13], moet in gebieden met een onregelmatige bovenwindse kustlijn, rekening worden gehouden met verschillende bijdragen aan de totale golfconditie. Hierbij speelt het begrip effectieve strijklengte een rol. Voor havenbekkens met een onregelmatige vorm geldt een vergelijkbare redenering; er moet rekening worden gehouden met de bovenwindse randen in het havenbekken vanwaar golfgroei kan optreden. Voor een goed begrip van het concept effectieve strijklengte zijn de volgende overwegingen van belang. Golfgroei treedt niet alleen op langs de windbaan parallel aan de windrichting, maar ook langs windbanen die een hoek maken met de windrichting. Vanwege deze hoek, neemt de effectiviteit van de wind af met een factor die gelijk is aan cosinus van de hoek tussen de windrichting en de windbaan. In een havenbekken met een onregelmatige vorm kan het vóórkomen dat de grootste strijklengte in combinatie met de gecorrigeerde windsnelheid tot een hogere golfbelasting kan leiden, dan wanneer verondersteld wordt dat de strijklengte alleen bepaald wordt in de richting van de wind.

Holthuijsen [13] en Bottema en Van Vledder [14] beschrijven methoden hoe voor onregelmatige gevormde waterbekkens, de wijze waarop verschillen in de richtingafhankelijke strijklengten kunnen worden omgezet in een effectieve strijklengte die in een windgroeiformule kan worden toegepast. Het principe van de berekening van de effectieve strijklengte wordt in figuur 13 geïllustreerd voor een havenbekken en een windrichting van 225° .

.....
Figuur 13
Schema voor bepaling van de effectieve
strijklengte



De dikke zwarte lijn geeft de windrichting aan. De effectieve strijklengte is een gewogen gemiddelde van een aantal strijklengte in een sector van 45° om de windrichting

$$F_E = \frac{\sum_i \cos^2(\Delta_i) F_{\theta,i}}{\sum_i \cos(\Delta_i)}$$

Waarin F_{θ} de strijklengte in een richting θ en Δ het verschil tussen de windrichting en de richting θ . De stapgrootte waarmee Δ varieert is in dit voorbeeld gelijk aan 5°.

In de eenvoudige methode, waarin gestreefd wordt naar een conservatief antwoord, moet voor een havenbekken gezocht worden naar de grootste golfbelasting op basis van een richtingafhankelijke strijklengte en de effectieve windsnelheid. Om te voldoen aan de eis van conservatisme wordt aanbevolen om in de eenvoudige methode geen gebruik te maken van de effectieve strijklengte maar van de maximale strijklengte in een havenbekken binnen een sector van 30° aan weerskanten van de windrichting. Deze methode wordt hieronder verder toegelicht.

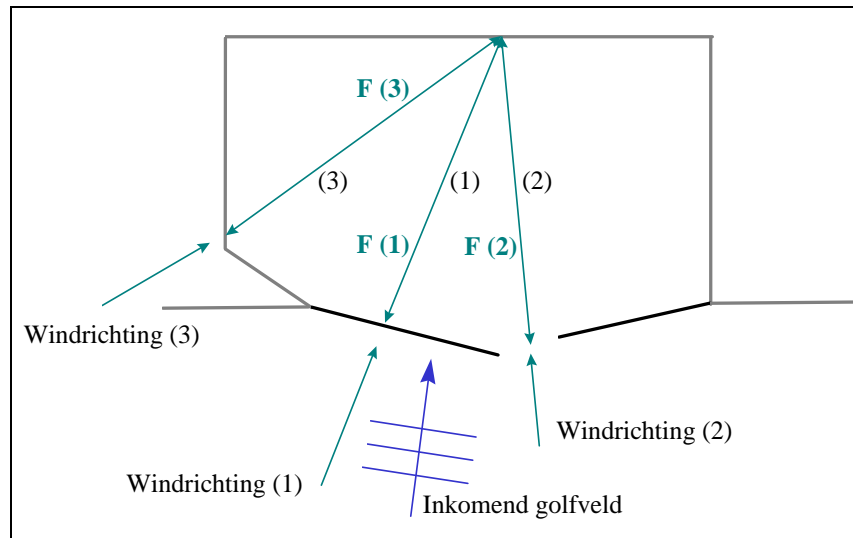
Voor een beschrijving van het proces van golfgroei wordt verwezen naar Bijlage 1.

Stap 8A Bepaling effectieve strijklengte F en windsnelheid U10

Dit kan als volgt plaatsvinden (zie figuur 14):

1. Trek rechte lijnen vanuit het uitvoerpunt in richtingen tegengesteld aan de windrichting binnen een sector van 30° aan weerszijden van de windrichting.
2. De punten waar de lijnen de rand van het havenbekken (3), een havendam (1) of de havenopening (2) snijden, zijn de beginpunt van de richtingafhankelijke strijklengte.
3. Bepaal de maximale strijklengte die in stap 2 gevonden wordt. Deze lengte is de toe te passen strijklengte F.

.....
 Figuur 14
 Definitie strijklengte in havenbekken



Opmerking:

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

Stap 8B Bepaling door wind opgewekte golfhoogte en golfperiode

Om de grootst mogelijke bijdrage door lokale windgroei te bepalen, moet de formule van Wilson worden toegepast voor alle in stap 8A bepaalde richtingen. Op deze wijze kan de maatgevende windrichting bepaald worden. De door wind lokaal opgewekte golfhoogte in het uitvoerpunt wordt berekend met de formule van Wilson [15]. Deze formule is voor de bepaling van de significante golfhoogte H_s in tabelvorm weergegeven in tabel 2:

		U ₁₀ (m/s)									
F (m)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	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	0,3	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

waarin:

- F = Strijklengte (per richting) [m]
 U_{10} = Windsnelheid [m/s]
 $H_{s,lg}$ = Significante golfhoogte opgewekt door lokale golfgroei [m]

Voor tussenliggende waarden kan bi-lineair geïnterpoleerd worden.

Stap 8C Bepaling door wind opgewekte golfenergie

Reken de in stap 8B berekende golfhoogte om naar een golfenergie met de volgende formule:

$$E_{lg} = \frac{1}{16} H_{s,lg}^2$$

- E_{lg} = door lokale wind opgewekte golfenergie [m²]
 $H_{s,lg}$ = door lokale wind opgewekte significante golfhoogte [m]

Opmerking: In feite stelt E_{lg} de lokaal opgewerkte golfvariantie voor. Om golfvariantie om te zetten naar golfenergie, dient de variantie vermenigvuldigt te worden met de factor $\rho_w g$, waarin ρ_w (kg/m³) de dichtheid van water en g de zwaartekrachtsversnelling (m/s²)

3.9 STAP 9 Vaststellen van de golfbelasting vanuit alle bijdragen

Nadat de bijdragen van de verschillende processen elk zijn berekend, kan de golfbelasting als volgt worden vastgesteld.

Stap 9A Bepaling van de totale golfenergie

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

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

Stap 9B Bepaling significante golfhoogte, spectrale golfperiode en golfrichting

Bereken de significante golfhoogte met de volgende formule:

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

De bijbehorende spectrale periode $T_{m-1,0}$ wordt gelijk gesteld aan de spectrale periode $T_{m-1,0}$ buiten de haven. Dit is een conservatieve aanname omdat lokale golfgroei zal leiden tot een lagere spectrale periode $T_{m-1,0}$. De bijbehorende golfrichting wordt loodrecht op de waterkering verondersteld. Dit is een conservatieve aanname. Indien er goede argumenten zijn om hiervan af te wijken, kan een andere hoe van inval gekozen worden.

3.10 STAP 10 Controle op het breken van golven op voorland

Wanneer er een ondiep voorland aanwezig is, dient nog een controle te worden uitgevoerd of de (berekende) golven breken op dat voorland. Dit breekproces zet in zodra de invallende golven op het ondiepe voorland komen. Bij een heel kort voorland zullen de golven nog niet gebroken zijn en moet de invallende golfhoogte worden gebruikt voor de toetsing van de waterkering. Bij een breed voorland zullen de golven gaan breken en een diepte-gelimiterde evenwichtsdiepte bereiken. Hierbij wordt conform [8] de maximale golfhoogte ($H_{s, \text{max}}$) die op het hoge voorland kan vóórkomen, gelijk gesteld aan 70% van de waterdiepte,

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

waarbij d_{voorland} de lokale water diepte op het ondergelopen voorland is.

Bij het toepassen van bovenstaande formules moet de waterdiepte op het hoge voorland gebaseerd zijn op het laagst gelegen deel van het voorland behorend bij het beschouwde dijkvak.

In een eenvoudige methode wordt aangenomen dat een mogelijke reductie van de significante golfhoogte geen invloed heeft op de golfperiode en de hoek van golfinval.

4 Bepaling golfrandvoorwaarden met geavanceerde methode

Indien met de eenvoudige methode (STAP 5 in het schema voor toetsing van waterkeringen in havens) geen toetsresultaat "voldoende" verkregen is, of indien de eenvoudige methode niet toegepast kan worden, kan worden besloten met geavanceerde modellen op een meer nauwkeurige wijze de golfbelasting van de primaire waterkering in een haven te bepalen. Het resultaat van een toetsing met geavanceerde modellen kan leiden tot uitkomsten of vragen:

1. Is het resultaat van de toetsing op veiligheid van bepaalde primaire waterkeringen in de haven overwegend "nader onderzoek" of "onvoldoende"?
2. Kan de geavanceerde methode voor toetsing (conform het VTV) nog worden verfijnd?

Indien het antwoord op de tweede vraag ontkennend is, dan moet de kering worden afgekeurd, tenzij er aanvullend onderzoek aan de sterktekant tot een voldoende toetsresultaat kan leiden.

Gangbare geavanceerde (numerieke) modellen zijn op te splitsen in golfdoordringingsmodellen zoals PHAROS, TRITON, HARES of SWASH; modellen die lokale golfgroei berekenen zoals SWAN; en modellen die de lokale stromingen uitrekenen zoals WAQUA, FINEL, DELFT3D. Bij de keuze van het gebruik van één of meer geavanceerde modellen zullen waarschijnlijk de processen diffractie, transmissie, refractie, golf-golf interactie, reflectie en lokale golfgroei in de berekeningen meegenomen moeten worden.

Zoals beschreven in [1] kunnen havenbekkens waarvoor golfrandvoorwaarden bij de primaire waterkering moeten worden bepaald op hoofdlijnen in twee klassen worden onderverdeeld. Enerzijds relatief kleine havens met een eenvoudige geometrie waarvoor de eenvoudige methode kan worden toegepast en waarbij lokale golfgroei van ondergeschikt belang is en waar met name golfdoordringing en eventueel transmissie over een enkele dam een rol speelt. Anderzijds grote havenbekkens waarbij zowel golfdoordringing en lokale golfgroei een rol speelt. Voor deze laatste soort havens zal een combinatie van modellen (zoals PHAROS en SWAN) veelal worden toegepast. Deze modellen zijn echter ook in staat om havens uit de eerste klasse mee door te rekenen. Gedetailleerde informatie over deze modellen kan verkregen worden bij bijvoorbeeld RWS, Deltares en TU Delft en ingenieursbureaus met specifieke ervaring met deze modellen.

Bijlage 4 geeft twee voorbeelden van de toepassing van een geavanceerde methode voor de haven van IJmuiden en van het Europoort gebied. Deze bijlage bevat ook beschouwingen over de fysische processen die een rol spelen bij de keuze tussen de eenvoudige of de geavanceerde methode.

In het geval dat het resultaat van de toetsing met de eenvoudige methode overwegend “nader onderzoek” of “onvoldoende” luidt (punt 1), kan inzet van geavanceerde modellen lonend zijn; d.w.z. de kering wordt goedgekeurd.

Bij betrekkelijk eenvoudige havengeometrieën (bijvoorbeeld nagenoeg vierkante of rechthoekige havenbekkens) zal goed afgewogen moeten worden of de geavanceerde modellen een daadwerkelijke meerwaarde hebben boven de eenvoudige rekenregels zoals beschreven in deze handleiding. Echter, indien een haven voor meerdere richtingen moet worden doorgerekend, of als de geometrie zich niet direct leent voor de eenvoudige methode, kan het al gauw efficiënter zijn om een geavanceerd model toe te passen. Dit geldt des te sterker als primaire waterkeringen in aan zee gelegen havenbekkens op een probabilistische methode moeten worden getoetst, zie ook het advies in [1]. Een belangrijk voordeel van een dergelijke aanpak is dat dan meteen informatie voor de hele haven wordt verkregen en dat er minder subjectieve keuzes in schematisaties met de eenvoudige methode zitten.

Indien geen goed afgewogen besluit kan worden genomen, wordt geadviseerd de Helpdesk Water te raadplegen.

5 Case Buitenhaven Vlissingen

5.1 Inleiding

Als testcase van de eenvoudige methode is gekozen om de golfcondities op enkele punten in de Buitenhaven Vlissingen te berekenen. Hiervan zijn door Alkyon [19] berekeningen gemaakt met SWAN [17]. In figuur 15 staat de Buitenhaven Vlissingen afgebeeld op basis van Google Earth. De primaire waterkering en de havendam zijn in deze figuur schematische aangegeven met respectievelijk een gele en een rode lijn.

In dit voorbeeld worden de resultaten van de eenvoudige methode vergeleken met de randvoorwaarden die ten tijde van de Alkyon studie gangbaar waren. Deze randvoorwaarden zijn afkomstig uit het Randvoorwaardenboek 1996 en worden hier aangeduid met RVB96. Dit betekent dat de gekozen windsnelheden, golfbrandvoorwaarden en waterstanden verouderd zijn ten opzicht van de huidige stand van zaken.

Gekozen is om zes uitvoerpunten door te rekenen. Voor één uitvoerpunt zullen drie windrichtingen worden beschouwd. Voor de overige uitvoerpunten zal de maatgevende windrichting (buitengaats) worden beschouwd. Deze uitvoerpunten zijn in figuur 15 met gele stippen weergegeven. De toetscondities zijn

De resultaten van de berekeningen zullen worden vergeleken met de gegevens uit het Hydraulisch Randvoorwaardenboek van 1996 (aangeduid als RVB96) en de resultaten van Alkyon [16, 19]. Hierdoor wordt inzicht verkregen in hoeverre de berekeningen met de eenvoudige methode tot conservatieve resultaten leidt.

In het Hydraulisch Randvoorwaardenboek wordt de Buitenhaven Vlissingen in tien vakken opgedeeld. In figuur 16 staan deze weergegeven. In figuur 17 staan de uitvoerpunten (zoals deze zijn gedefiniëerd door Alkyon) die zijn doorgerekend:

Eigen uitvoerpunt	RVB96 uitvoerpunt	Alkyon uitvoerpunt
01	1	V41
02	2	V03 ^{*1}
03	4	V46
04	6	V49
05	9	V52
06	10	V34 ^{*1}

^{*1}: Punt ligt aan teen van waterkering, op het haventerrein

In deze uitvoerpunten worden de uitkomsten van de eenvoudige en de geavanceerde methode vergeleken. Voor uitvoerpunt 02 geldt dat meerdere richtingen zijn beschouwd ter illustratie van de diffractieberekening. Voor de andere vijf uitvoerpunten is enkel één richting uitgewerkt zoals dat in de geavanceerde studie ook heeft plaatsgevonden.

5.2 Bepaling golfrandvoorwaarden Buitenhaven Vlissingen

Stap 1 Toepasbaarheid eenvoudige methode voor de Buitenhaven Vlissingen

- Stap 1A: Golfrandvoorwaarden (H_s en T_p) buiten de haven zijn beschikbaar voor verschillende hoofdrichtingen (150 tot 315°N).
- Stap 1B: De toetswaterstand behorende bij de golfrandvoorwaarden wordt gespecificeerd in HR 2001: 5,3 [m+NAP].
- Stap 1C: Er treedt tijdens de te toetsen omstandigheden geen meervoudige transmissie/diffractie op in het havenbekken.
- Stap 1D: De hoogte van de kademuren en het achterliggende haventerrein is 4,50 [m+NAP]. Dit houdt in dat de kademuren zich tijdens de te toetsen omstandigheden onder water bevinden en geen significante reflectie van golfenergie te weeg brengen.
- Stap 1E: Er wordt aangenomen dat tijdens de te toetsen omstandigheden er geen significante stroming optreedt in het havenbekken.

Als resultaat van stap 1 kan worden geconcludeerd dat de eenvoudige methode kan worden toegepast voor de Buitenhaven Vlissingen.

Stap 2 Vaststellen relevante individuele processen

- Stap 2A: Golven uit alle gespecificeerde hoofdrichtingen (150-315°N) leiden tot een schaduwzone in het havenbekken. Diffractie is derhalve voor alle richtingen en uitvoerpunten van belang.
- Stap 2B: De hoogte van de golfbreker, gelegen bij de havenmonding, is zodanig dat er transmissie van golfenergie zal plaats vinden tijdens de te toetsen omstandigheden, mede omdat de golfbreker is opgenomen in de legger mag de golfreducerende werking worden meegenomen.
- Stap 2C: Omdat er is sprake van zowel diffractie als transmissie, dient de diffractie-transmissie-interactie in rekening te worden gebracht.
- Stap 2D: De afmetingen van het havenbekken zijn ongeveer 1700*700 [m]. Deze grootte houdt in dat in combinatie met de relatief hoge toetswindsnelheden lokale golfgroei een rol zal spelen.
- Stap 2E: Voor de primaire waterkering van de Buitenhaven Vlissingen ligt een lager gelegen kade/haventerrein (hoogte 4,50 [m+NAP]), waarvan de lengte varieert van 50 tot 400 [m]. Controle op de golfhoogte reducerende effecten van de aanwezigheid van een voorland dient dan ook plaats te vinden. Ook wordt in dit voorbeeld aangenomen dat dit terrein in de legger is opgenomen.

Stap 3: Schematisatie van de Buitenhaven Vlissingen

-
- Uitgaande van de haven, zoals in figuur 15 getoond, worden eerst alle niet-relevante elementen verwijderd, d.w.z. elementen die niet in de legger zijn opgenomen. Dit zijn alle bebouwingen op het haventerrein, de aanlegsteigers en alle objecten buiten de waterkeringen.
- De waterkeringen kunnen vrij eenvoudig met rechte lijnen worden geschematiseerd.
- Ook de rand van het haventerrein bestaat duidelijk uit vrijwel rechte lijnen, wat de schematisatie daarvan makkelijk maakt.
- De hoogte van het haventerrein wordt conservatief geschat en vlak geschematiseerd. Het haventerrein ligt dan op NAP + 4,50 m (Bron: [19], figuur 3.10)
- De havendam vertoont in werkelijkheid een kleine slinging, en omdat de dam over de gehele lengte gelijk is opgebouwd, is deze te schematiseren met één rechte lijn van het aanhechtingspunt tot het uiteinde.
- Opgemerkt wordt dat de haven beschermd wordt door slechts één havendam waardoor er, althans voor deze haven, één punt is waar de golven omheen diffracteren. Dit is later van belang bij het bepalen van het effect van diffractie op de golfdoordringing.
- 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: [19], figuur 3.10). De representatieve bodemligging wordt op NAP -20 m geschat. Voor een toetspeil van NAP + 5.3 m geeft dit een representatieve waterdiepte van 25,3 m

In dit voorbeeld is de schematisatie van de haven gelijk aan de schematisatie zoals deze in het Hydraulisch Randvoorwaardenboek staat weergegeven (zie figuur 16). In deze schematisatie kan vervolgens een dijkvakverdeling gemaakt worden. In dit geval wordt de verdeling van het Randvoorwaardenboek 1996 [18] gevolgd, aangezien niet voldoende gegevens over de Buitenhaven Vlissingen bekend zijn om een andere zinnigere verdeling te maken.

Op basis van bovenstaande overwegingen is een schematisatie van de Buitenhaven van Vlissingen gemaakt. Deze wordt getoond in figuur 17. Hierin zijn ook de lokale assenstelsels zichtbaar die voor de diffractieberekeningen zijn gemaakt.

Stap 4: Hydraulische Randvoorwaarden buiten de haven

Door het Rijksinstituut voor Kust en Zee zijn de onderstaande golfcondities beschikbaar gesteld op verzoek van Projectbureau Zeeweringen ten behoeve van het ontwerp van steenbekledingen. Voor de toetsing van de dijkvakken wordt gebruik gemaakt van de golfcondities bij een toetswaterstand van 5,3 [m+NAP]. De hiervoor benodigde golfcondities zijn gebaseerd op modelberekeningen [19] voor waterstanden van NAP +2 m, +4 m en +6 m. Lineaire interpolatie tussen voor verschillende waterstanden wordt toegepast om de condities te krijgen voor de toetswaterstand.

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

De verwachting is dat bovenstaande hoofdrichtingen zullen leiden tot de maatgevende condities bij de uitvoerpunten. Voor alle geselecteerde uitvoerpunten in de haven zal gekeken worden naar richting 240°N. Voor één locatie worden daarnaast ook de twee richtingen 180°N en 210°N beschouwd.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat wind- en golfrichting voor de Buitenhaven van Vlissingen niet met elkaar overeenkomen.

De windsnelheden voor de windrichtingen 180°, 210°, 240° en 270° bedragen

Stap 5: Berekening bijdrage diffractie

Stap 5A: Bepaal golfrandvoorwaarden net buiten havenmond

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
Toetspeil [m+NAP]	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
H _{s,i} [m]	2,4	1,6	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
T _{p,i} [s]	7,86	5,23	6,1	7,9	7,86	7,86	7,86	7,86
T _{m-10,i} [s]	7,14	4,75	5,5	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Golfrichting [°N]	235	190	215	235	235	235	325	325
L _R [m]	77	35	48	77	77	77	77	77

Stap 5B: Bepaal de equivalente openingsbreedte

In het geval van de Buitenhaven Vlissingen is er sprake van één havendam; het vaststellen van de equivalente openingsbreedte is daarom niet van toepassing.

Stap 5C: Keuze type diffractietabellen

Er is sprake van slechts één havendam en dus zijn diffractiediagrammen type 1 van toepassing. Er is geen informatie beschikbaar met betrekking tot de richtingsspreiding van het golfveld. Derhalve wordt er dan ook gebruik gemaakt van de diffractietabellen met een grote richtingsspreiding ($S_{\max} = 10$).

Stap 5D: Locatie waar de diffractiecoëfficiënt bepaald moet worden

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
Aantal dammen	1	1	1	1	1	1	1	1
S _{max} [-]	10	10	10	10	10	10	10	10
T _{m-10,i} [s]	7,14	4,75	5,5	7,14	7,14	7,14	7,15	7,14
L _R [m]	77	35	48	77	77	77	77	77
Golfrichting [°N]	235	190	215	235	235	235	235	235

Locatie	01	02			03	04	05	06
X [m]	-270*	180	-190*	-500*	-830*	-1160*	-960*	-710*
Y [m]	280	680	680	490	560	590	340	140
X/L _R [-]	-3,51	5,14	-3,96	-6,59	-10,78	-15,06	-12,47	-9,22
Y/L _R [-]	3,64	19,43	14,17	6,36	7,27	7,66	4,42	1,82

* Evenwijdig aan havendam, richting havendam, dus negatief

Stap 5E: Berekening van de diffractiecoëfficiënten

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
Aantal dammen	1	1	1	1	1	1	1	1
S _{max} [-]	10	10	10	10	10	10	10	10
X/L _R [-]	-3,51	5,14	-3,96	-6,59	-10,78	-15,06	-12,47	-9,22
Y/L _R [-]	3,64	19,43	14,17	6,36	7,27	7,66	4,42	1,82
K _d [-]	0,34	0,81	0,57	0,32	0,26	0,27	0,19	0,14

Stap 6: Berekening bijdrage transmissie

De locatie van de uitvoerpunten ten opzichte van de transmissiezone wordt vastgesteld door het transmissiegebied te bepalen volgens stap 6. Indien een uitvoerlocatie in een transmissiegebied ligt dient transmissie te worden meegenomen.

Stap 6A: Bepaal de locatie van het uitvoerpunt ten opzichte van de transmissiezone

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
Transmissiezone	ja	ja	ja	ja	Nee	nee	nee	nee

Stap 6B: Keuze van de coëfficiënten in transmissieformule

De Buitenhaven van Vlissingen wordt afgeschermd met een gladde dichte dam met flauw talud. De hiermee corresponderende factoren zijn: $\alpha = 2,4$ en $\beta = 0,4$.

Stap 6C: Bepaling transmissiecoëfficiënt

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
Waterstand	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
Golfhoogte	2,5	1,6	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Hoogte dam	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Transmissiezone	ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee
α [-]	2,4	2,4	2,4	2,4	nvt	nvt	nvt	nvt
β [-]	0,4	0,4	0,4	0,4	nvt	nvt	nvt	nvt

Locatie	01	02			03	04	05	06
Vrijboord [m]	0,5	0,5	0,5	0,5	nvt	nvt	nvt	nvt
K_t [-]	0,31	0,28	0,30	0,31	nvt	nvt	nvt	nvt

Stap 7: Berekening interactie-diffractie-transmissie

In de gevallen dat er zowel sprake is van diffractie als transmissie, wordt de gecombineerde diffractie-transmissiecoëfficiënt vastgesteld. Vervolgens wordt met behulp van de inkomende golfhoogte en de bepaalde coëfficiënt de hoeveelheid golfenergie ter plaatse van de uitvoerlocatie bepaald als gevolg van transmissie en diffractie.

Stap 7A: Bepaling diffractie-transmissiecoëfficiënt $K_{d,t}$

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
K_d [-]	0,34	0,81	0,57	0,32	0,26	0,27	0,19	0,14
K_t [-]	0,31	0,28	0,34	0,31	nvt	nvt	nvt	nvt
$K_{d,t}$ [-]	0,45	0,83	0,62	0,43	0,26	0,27	0,19	0,14

Stap 7B: Bepaling bijdrage golfenergie als gevolg van diffractie en transmissie

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
$K_{d,t}$ [-]	0,45	0,83	0,62	0,43	0,26	0,27	0,19	0,14
$E_{d,t}$ [m ²]	0,072	0,109	0,114	0,068	0,024	0,026	0,013	0,007

Hierbij wordt golfenergie in 3 decimalen gegeven om onnodige afronden te voorkomen

Stap 8: Berekening bijdrage lokale golfgroei

De bijdrage van de lokale golfgroei in de haven aan de golfhoogte ter plaatse van de uitvoerlocatie wordt vastgesteld aan de hand van de optredende windsnelheid in combinatie met de aanwezige strijklengte. Allereerst moet de golfhoogte als gevolg van windsnelheid en strijklengte worden vastgesteld. Vervolgens wordt de berekende golfhoogte getransformeerd naar een hoeveelheid golfenergie op de uitvoerlocatie ten gevolge van lokale golfgroei.

Opmerkingen

1. In onderstaand voorbeeld wordt (nog) geen gebruik gemaakt van de mogelijke bijdragen van golfgroei uit andere windrichtingen met een langere strijklengte.
2. In dit voorbeeld wordt omwille van uitleg de windsnelheid voor alle windrichtingen gelijk genomen aan 33 m/s.

Stap 8A: Bepaling strijklengten F voor omliggende windrichtingen

Locatie	01	02	03	04	05	06
Windrichting	240	180	210	240	240	240
[°N]/F [m]						
180	0	700	700	0	0	0
210	0	680	680	680	800	400
240	400	500	500	500	400	300
270	400	0	0	450	360	230

Stap 8B: Bepaling door wind opgewekte golfhoogten volgens Wilson (Tabel 2). De maatgevende waarden zijn vetgedrukt

Locatie	01	02	03	04	05	06
Windrichting	240	180	210	240	240	240
[°N] / H_{lg} [m]						
180	0	0,46	0,46	0	0	0
210	0	0,55	0,55	0,55	0,6	0,42
240	0,47	0,52	0,52	0,52	0,47	0,41
270	0,5	0	0	0,53	0,47	0,38

Stap 8C: Bepaling door wind opgewekte golfenergie

Locatie	01	02	03	04	05	06
Windrichting	240	180	210	240	240	240
[°N]						
H_{lg} [m]	0,50	0,55	0,55	0,55	0,60	0,42
E_{lg} [m ²]	0,016	0,019	0,019	0,019	0,022	0,011

Stap 9: Vaststelling golfbelasting vanuit alle bijdragen

Tot slot worden de bijdragen aan de golfenergie door diffractie-transmissie en lokale golfgroei bij elkaar opgeteld. Deze hoeveelheid golfenergie wordt vervolgens vertaald naar een optredende golfhoogte ter plaatse van de uitvoerlocatie.

Stap 9A: Bepaling totale significante golfenergie

Locatie	01	02	03	04	05	06
Windrichting	240	180	210	240	240	240
[°N]						
$E_{d,t}$ [m ²]	0,072	0,109	0,114	0,068	0,024	0,026
E_{lg} [m ²]	0,016	0,019	0,019	0,019	0,022	0,011
E_{totaal} [m ²]	0,088	0,128	0,133	0,087	0,046	0,037

Stap 9B: Bepaling totale significante golfhoogte

Locatie	01	02	03	04	05	06
Windrichting	240	180	210	240	240	240
[°N]						
E_{totaal} [m ²]	0,088	0,128	0,133	0,087	0,046	0,037
$H_{s, \text{totaal}}$ [m]	1,19	1,43	1,46	1,18	0,86	0,77

Stap 10: Controle op ondiep voorland

De locaties 02 en 06 liggen op het haventerrein, waarbij er mogelijk sprake is van een ondiep voorland. Voor deze locaties dient getoetst te worden of er sprake is van een ondiep voorland op basis van de inkomende golfhoogte. Indien er sprake is van een ondiep voorland, wordt de optredende golfhoogte ($H_{s,max}$) beperkt door de waterdiepte ter plaatse van de uitvoerlocatie op het voorland. Daarom wordt dan ook de laagste waarde gekozen van de $H_{s,max}$ en de $H_{s,totaal}$ (zoals bepaald middels energie superpositie).

Opmerking

In dit rekenvoorbeeld wordt er vanuit gegaan dat de maximaal optredende significante golfhoogte gelijk is aan 70% van de lokale waterdiepte op het hoge voorland.

Stap 10: Controle op effect van ondiep voorland

Locatie	01	02			03	04	05	06
Windrichting [°N]	240	180	210	240	240	240	240	240
$L_{0,p}$ [m]	102	44	60	102	102	102	102	102
Lengte voorland	nvt	60	60	60	nvt	nvt	nvt	50
Ondiep voorland	nvt	ja	nee	nee	nvt	nvt	nvt	nee
Waterstand	nvt	6,0	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Hoogte voorland	nvt	4,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Waterdiepte	nvt	1,5	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
$H_{s,max}$ [m]	nvt	0,56	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
$H_{s,totaal}$ [m]	1,19	0,56	1,46	1,18	0,86	0,77	0,55	0,56
H_s	1,2	0,6	1,5	1,2	0,9	0,8	0,6	0,6

Opvallend is dat de hoofdrichting met de hoogste golfhoogte buiten de haven niet tot de maatgevende golfcondities op uitvoerpunt 02 leidt. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de bijdrage van diffractie aan de lokale golfhoogte toeneemt voor zuidelijkere richtingen. De lagere buitengaatsse golfcondities voor deze richtingen worden ruimschoots gecompenseerd door de hogere diffractiecoëfficiënten. Hieruit blijkt dat de keuze voor de door te rekenen hoofdrichtingen in sterke mate de resultaten kan beïnvloeden.

5.3 Vergelijking resultaten

In onderstaande tabellen zijn de resultaten van de berekeningen volgens de verschillende methoden weergegeven en vergeleken met de gegevens uit het Randvoorwaardenboek 2002.

H _s op uitvoerpunt [m]	Golfhoogte Buiten	Eenvoudige Methode	Alkyon	RVB 96
01 / V41 / Vak 1	2,40	1,2	1,13	1,35 ^{*1, *2}
02 / V03 / Vak 2	2,40	1,5	0,67	0,85 ^{*1, *2}
03 / V46 / Vak 4	2,40	0,9	0,71	1,00 ^{*1, *2}
04 / V49 / Vak 6	2,40	0,8	0,72	0,60 ^{*2, *3}
05 / V52 / Vak 9	2,40	0,6	0,41	0,60 ^{*2, *4}
06 / V34 / Vak 10	2,40	0,4	0,52	0,60 ^{*2, *4}

^{*1}: Golfhoogte berekend via superponeren van energieën

^{*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 maakt duidelijk dat er een verfijning in de golfrandvoorwaarden op de uitvoerpunten bij de primaire waterkering is verkregen zoals dat is beoogd in de benadering van grof naar fijn; de uitkomsten van de eenvoudige methode zijn altijd conservatiever dan die van de geavanceerde methode. Verder resulteert de eenvoudige methode in golfrandvoorwaarden die in alle gevallen lager zijn dan de golfrandvoorwaarden buiten de haven.

T _{p,eq} op uitvoerpunt [s]	Piekperiode Buiten	Eenvoudige Methode	Alkyon	RVB 96
01 / V41 / Vak 1	7,9	7,9	8,46	8,53 ^{*1}
02 / V03 / Vak 2	7,9	7,9	7,31	5,10 ^{*1}
03 / V46 / Vak 4	7,9	7,9	4,69	5,40 ^{*1}
04 / V49 / Vak 6	7,9	7,9	6,51	6,00 ^{*2}
05 / V52 / Vak 9	7,9	7,9	7,64	2,80 ^{*3}
06 / V34 / Vak 10	7,9	7,9	5,31	- ^{*4}

^{*1}: Berekend via equivalente-periode-methode (gewogen vierde-machts-formule om voor een dubbelgepiekt spectrum te komen tot een bruikbare periodemaat. Sinds 2005 wordt gebruik gemaakt van de spectrale periodemaat $T_{m-1,0}$).

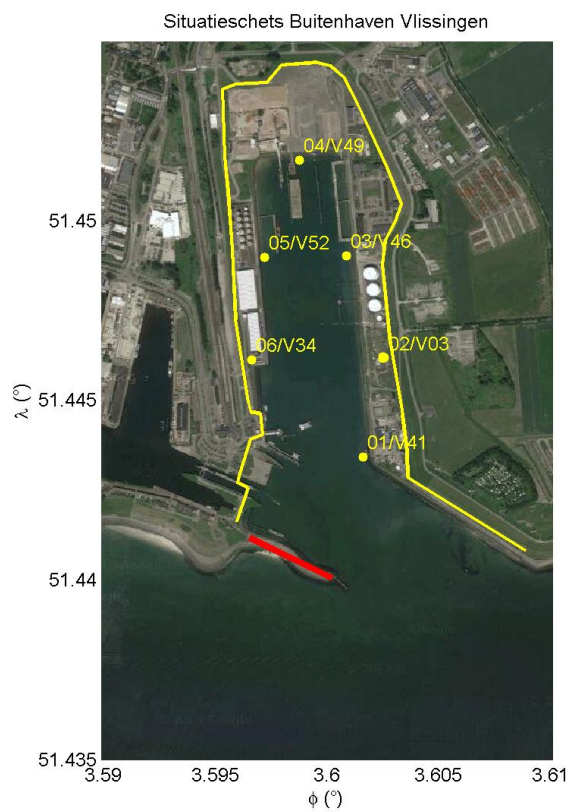
^{*2}: Alleen waarde ten gevolge van indringing gegeven

^{*3}: Alleen waarde ten gevolge van lokale golfgroei gegeven

^{*4}: Geen waarde gegeven

De vergelijking van de berekende piekperiodes laat zien dat de piekperiode berekend met de geavanceerde methode in sommige gevallen hoger is dan de piekperiode volgens de eenvoudige methode (die per definitie gelijk is aan die buitengaats). Een mogelijke oorzaak hiervan is voor de geavanceerde methode andere randvoorwaarden buiten de haven zijn gehanteerd. Daarnaast kan in modellen met reflectie en golf-golf interacties de gemiddelde golfperiode groter worden als gevolg van deze processen.

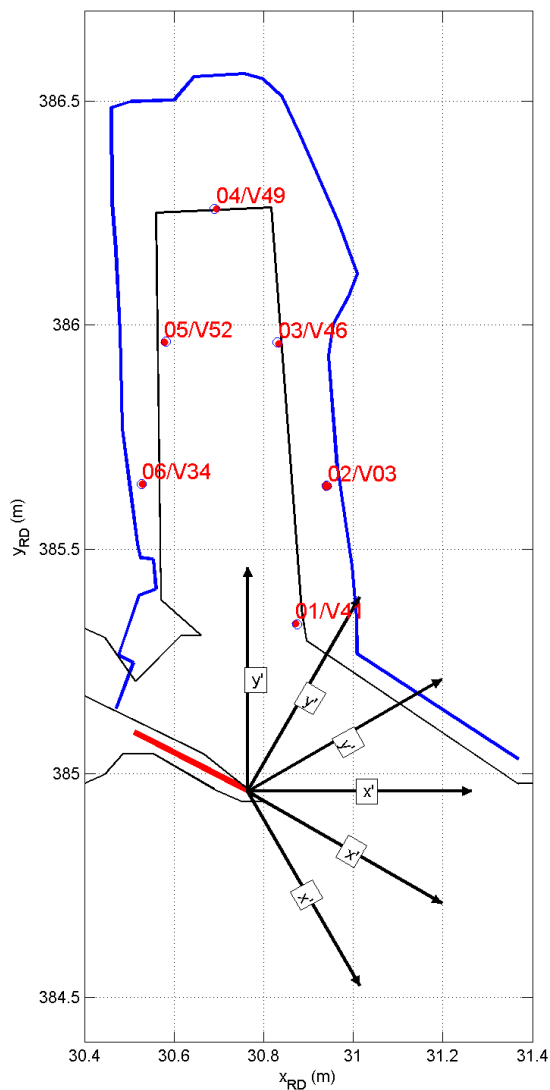
.....
Figuur 15
Gis-compilatie van Buitenhaven Vlissingen



Figuur 16
Vakindeling Buitenhaven Vlissingen



.....
 Figuur 17
 Uitvoerpunten zoals gedefiniëerd door
 Alkyon

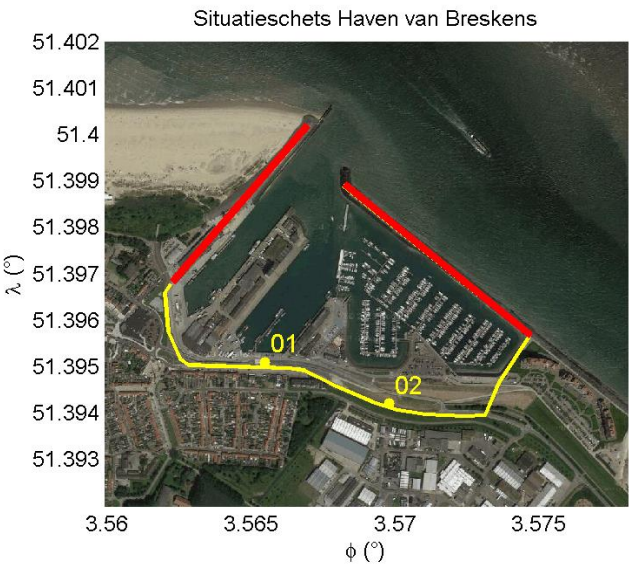


6 Case Jacht- en Handelshaven Breskens

6.1 Inleiding

Als tweede voorbeeld case van de eenvoudige methode is gekozen om een tweetal punten in de Jacht- en Handelshaven van Breskens te berekenen. Het doel van deze case is het presenteren van een voorbeeld waarbij er sprake is van een systeem van twee havendammen.Figuur 18 toont de situatieop basis van Google Earth. In deze figuur zijn de havendammen met rood aangegeven en de primaire waterkering met een gele lijn. Het eerste uitvoerpunt ligt in de zuidelijke hoek van het oostelijke handelshavenbekken. Het tweede uitvoerpunt ligt aan de rand van de jachthaven. De locatie van de twee uitvoerpunten is eveneens weergegeven in figuur 18. Voor elk van de uitvoerpunten zullen drie hoofdrichtingen worden doorgerekend met de eenvoudige methode, zijnde 300°N, 330°N en 360°N.

Figuur 18
Jacht- en Handelshaven Breskens



6.2 Bepaling golfrandvoorwaarden Jacht- en Handelshaven Breskens

Stap 1: Toepasbaarheid eenvoudige methode voor de Jacht- en Handelshaven Breskens

- Stap 1A: Golfrandvoorwaarden buiten de haven zijn beschikbaar voor verschillende richtingen (270°N t/m 120°N).
- Stap 1B: De waterstand behorende bij de golfrandvoorwaarden wordt gespecificeerd in HR 2001: 5,65 [m+NAP].
- Stap 1C: Er wordt (voor dit voorbeeld) aangenomen dat er tijdens de te toetsen omstandigheden geen meervoudige transmissie/diffractie optreedt in het havenbekken.
- Stap 1D: De hoogtes van de kademuren van de jacht- en handelshaven zijn respectievelijk +4,0 [m+NAP] en +2,9 [m+NAP]. Dit houdt in dat de kademuren zich tijdens de te toetsen omstandigheden onder water bevinden en geen significante reflectie van golfenergie te weeg brengen.
- Stap 1E: Tijdens de te toetsen omstandigheden treedt er geen significante stroming op in het havenbekken.

Stap 2: Vaststellen relevante individuele processen

- Stap 2A: Golven uit alle gespecificeerde hoofdrichtingen leiden tot een schaduwzone in het havenbekken. Diffractie is daarom voor alle richtingen van belang.
- Stap 2B: De havendammen, gesitueerd bij de havenmond, zijn zodanig laag dat er transmissie van golfenergie plaats zal vinden tijdens de te toetsen omstandigheden. Transmissie van golfenergie is dus van belang. De primaire waterkering achterin de haven ligt in de luwte van een tweetal havendammen welke zijn opgenomen in de legger. Er moet daarom rekening gehouden worden met transmissie van golfenergie over de dammen.
- Stap 2C: Er is sprake van zowel diffractie als transmissie en dus dient de interactie tussen diffractie en transmissie te worden meegenomen.
- Stap 2D: De afmetingen van het havenbekken zijn ongeveer 600 * 1000 [m] en de toetswindsnelheden bedragen meer dan 20 m/s. Deze beide gegevens houden in dat lokale golfgroei een significante bijdrage levert aan de golfcondities tijdens de te toetsen omstandigheden. Lokale golfgroei dient derhalve in rekening te worden gebracht.
- Stap 2E: Voor de primaire waterkering aan de zuidelijke rand van het havenbekken bevindt zich een lager gelegen haventerrein. De hoogte van dit haventerrein ten opzichte van de waterstand vereist een controle op de maximale significante golfhoogte.

Stap 3: Schematisatie van de Jacht- en Handelshaven Breskens

- De Jacht- en Handelshaven Breskens heeft een formaat van ongeveer $600 * 1000$ [m]..
- Uitgaande van de haven, zoals in figuur 18 getoond, worden eerst alle elementen verwijderd die niet tot de waterkering behoren. Dit zijn alle bebouwingen op het haventerrein, de aanlegsteigers en alle gegevens buiten de waterweringen.
- De waterkeringen kunnen vrij eenvoudig met rechte lijnen worden geschematiseerd.
- Ook de rand van het haventerrein kan duidelijk met rechte lijnen worden geschematiseerd.
- Opgemerkt wordt dat de haven beschermd wordt door twee havendammen. Dit is later van belang bij het bepalen van de effecten van diffractie op de golfdoordringing.
- De genoemde havendammen kunnen eenvoudig met rechte lijnen worden geschematiseerd.

Figuur 19 toont de schematisatie van de haven van Breskens. In deze figuur zijn ook de lokale assenstelsels weergegeven voor de berekening van de diffractie-effecten. Voor de eerste twee windrichtingen (zie stap 5) ligt de oorsprong aan het uiteinde van de noordwestelijke golfbreker. Voor de derde windrichting ligt de oorsprong halverwege de opening tussen de twee golfbrekers.

Stap 4: Hydraulische Randvoorwaarden buiten de haven

Door het Rijksinstituut voor Kust en Zee zijn de onderstaande golfcondities beschikbaar gesteld aan het Projectbureau Zeeweringen, ten behoeve van het ontwerp van dijkbekledingen. Voor de toetsing van de dijkvakken wordt gebruik gemaakt van de golfcondities bij een waterstand van 565 [m+NAP]. Deze worden verkregen door interpolatie uit onderstaande tabel die gebaseerd is op golfmodelberekeningen.

windrichting	Hs [m]			Tp [s]			Golfrichting [°N]		
waterstand	2	4	6	2	4	6	2	4	6
30	1.70	1.8	2	5.5	5.5	5.5	20	30	30
60	1.70	1.8	2.1	5.9	5.9	5.9	45	50	60
90	1.50	1.7	2	5.2	5.9	6.3	70	80	90
120	1.30	1.5	1.7	5.2	5.5	6.3	100	100	100
270	1.80	2.1	2.5	8.4	9.1	9.1	330	320	315
300	2.20	2.5	2.9	8	8.4	8.8	330	330	320
315	2.20	2.5	2.9	7.7	8.4	8.8	330	330	330
330	2.10	2.4	2.8	7.3	8	8.4	330	340	340
360	2.00	2.1	2.4	5.5	5.9	7.3	360	360	350

De verwachting is dat bovenstaande hoofdrichtingen zullen leiden tot de maatgevende condities bij de uitvoerpunten. Het aanvragen van aanvullende informatie bij RIKZ/RIZA is daarom niet nodig.

Ten behoeve van dit voorbeeld wordt er gekozen voor een drietal hoofdrichtingen door te rekenen, te weten 300°N, 330°N en 360°N. Bij een daadwerkelijke toetsing dienen de golftrandvoorwaarden eveneens voor de overige richtingen bepaald te worden.

Stap 5: Bepaling bijdrage diffractie

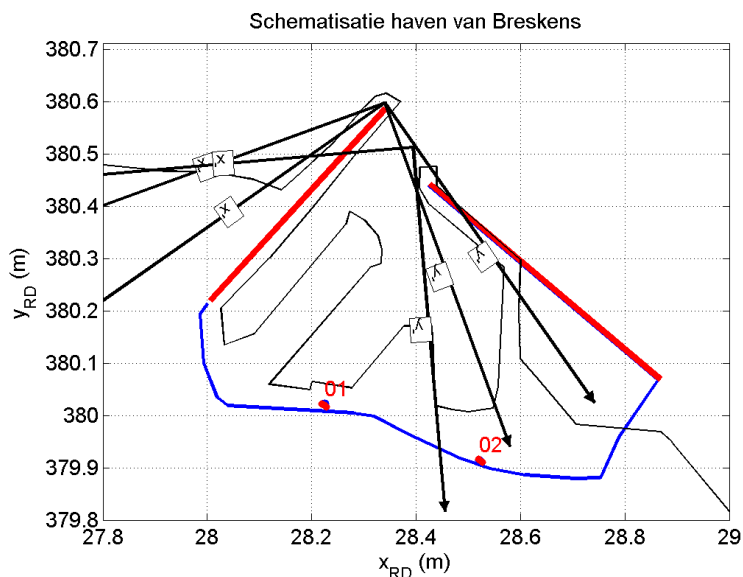
De bepaling van de bijdrage van diffractie is samengevat in onderstaande tabel. De tabel is gebaseerd op de werkwijze zoals voorgeschreven voor de eenvoudige methode.

Stap 5A-5E: Berekening bijdrage diffractie

Locatie	01			02		
Windrichting [°N]	300	330	360	300	330	360
Toetspeil [m+NAP]	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65
$H_{s,i}$ [m]	2,76	2,66	2,3	2,76	2,66	2,3
$T_{p,i}$ [s]	8,66	8,26	6,81	8,66	8,26	6,81
T_{m-10} [s]	7,87	7,51	6,19	7,87	7,51	6,19
L_R [m]	91,	84	59	91	84	59
Golfrichting [°N]	325	340	355	325	340	355
Aantal dammen	1*	1*	2	1*	1*	2
S_{max} [-]	10	10	10	10	10	10
X [m]	-430	-310	210	-240	-60	70
Y [m]	410	500	460	660	710	610
B_{eq} [m]	nvt	nvt	40	nvt	nvt	40
X/L_R [-]	-4,73	-3,69	3,56	-2,64	-0,71	1,19
Y/L_R [-]	4,51	5,95	7,80	7,25	8,45	10,34
$B_{eq}/L_{0,p}$ [-]	Nvt	nvt	0,48	nvt	nvt	0,48
K_d [-]	0,32	0,43	0,220	0,53	0,66	0,22

* B_{eq} is nul, uitvoerpunt ligt achter één havendam, dus aantal dammen is 1

Figuur 19
Schematisatie haven van Breskens

**Stap 6: Berekening bijdrage transmissie**

Bij de berekening van de bijdrage van transmissie aan de golfcondities ter plaatse van de uitvoerpunten is uitgegaan van een buitentalud met een taludhelling van 1:4, bestaande uit basalt tot +3,0 [m+NAP] en asfalt t/m de kruin. Uitgaande van het toetspeil van 5,65 [m+NAP], wordt aangenomen dat

de dam tijdens MHW-omstandigheden fungeert als een gladde dichte dam met een flauw talud (1:3-1:5). De bijbehorende coëfficiënten zijn: $\alpha=2.4$ en $\beta=0.4$

Stap 6A-6C: Berekening bijdrage transmissie

Locatie	01			02		
Windrichting [°N]	300	330	360	300	330	360
Toetspeil [m+NAP]	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65
$H_{s,i}$ [m]	2,76	2,66	2,3	2,76	2,66	2,30
$T_{m-10,i}$ [s]	7,87	7,51	6,19	7,87	7,87	6,19
L_R [m]	91	84	59	91	84	59
Golfrichting [°N]	325	340	355	325	340	355
Transmissiezone	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Hoogte dam	7,1	7,1	5,5	7,1	7,1	5,5
α	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
β	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Vrijboord	1,8	1,8	0,2	1,8	1,8	0,2
K_t [-]	0,18	0,18	0,34	0,18	0,18	0,34

Stap 7: Berekening diffractie-transmissiecoëfficiënt

In alle gevallen is er sprake van zowel diffractie als transmissie. Op basis van de hiervoor vastgestelde diffractie en transmissie coëfficiënten, wordt de interactiecoëfficiënt bepaald. Met behulp van de inkomende significante golfhoogte en deze coëfficiënt wordt de hoeveelheid golfenergie ten gevolg van diffractie en transmissie op het uitvoerpunt vastgesteld.

Stap 7A-7B: Bepaling bijdrage golfenergie als gevolg van diffractie en transmissie

Locatie	01			02		
Windrichting [°N]	300	330	360	300	330	360
Toetspeil [m+NAP]	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65
$H_{s,i}$ [m]	2,76	2,66	2,30	2,76	2,66	2,30
$T_{m-10,i}$ [s]	7,87	7,51	6,19	7,87	7,51	6,19
L_R [m]	91	84	59	91	84	59
Golfrichting [°N]	325	340	355	325	340	355
K_d [-]	0,32	0,43	0,22	0,53	0,66	0,22
K_t [-]	0,18	0,18	0,34	0,18	0,18	0,34
$K_{d,t}$ [-]	0,36	0,46	0,40	0,55	0,67	0,40
$E_{d,t}$ [m ²]	0,006	0,093	0,052	0,145	0,201	0,052
3						

Stap 8: Berekening bijdrage lokale golfgroei

De afmetingen van het havenbekken en de toe te passen windsnelheid (>20 m/s) zijn zodanig dat er een significante bijdrage van lokale golfgroei aan de golfcondities op de uitvoerpunten zal optreden. Daarom wordt per uitvoerpunt de bijdrage van de lokale golfgroei vastgesteld op basis van berekeningen met een richtingsafhankelijke windsnelheid. Op basis van de gegevens in [19] zijn de windsnelheden 26 m/s, 24 m/s en 22 m/s voor respectievelijk de windrichtingen 300°, 330°, 360°. Op basis van de berekende significante

golfhoogten wordt de grootste waarde gekozen. In de tabel hieronder staan per uitvoerlocatie en per windrichtingen de geschatte strijklengten. Vervolgens zijn op basis van de Wilson formule de significante golfhoogten bepaald.

Locatie Windrichting [°N]	01			02		
	300	330	360	300	330	360
U ₁₀ [m/s]	26	24	22	26	24	22
F [m]	300	350	450	600	650	650
H _{lg} [m]	0,34	0,34	0,35	0,48	0,46	0,42
E _{lg} [m ²]	0,008	0,008	0,008	0,014	0,014	0,014

Stap 9: Vaststelling golfbelasting vanuit alle bijdragen

De bijdragen van diffractie-transmissie en lokale golfgroei worden bij elkaar opgeteld om te komen tot de golfcondities ter plaatse van de uitvoerpunten. Vervolgens wordt de som van de hoeveelheid golfenergie op de uitvoerpunten omgezet in een significante golfhoogte.

Locatie Windrichting [°N]	01			02		
	300	330	360	300	330	360
E _{d,t} [m ²]	0,063	0,093	0,052	0,145	0,201	0,052
E _{lg} [m ²]	0,008	0,008	0,008	0,014	0,014	0,014
E _{totaal} [m ²]	0,071	0,101	0,06	0,159	0,215	0,066
H _{s,totaal} [m]	1,07	1,27	0,98	1,59	1,85	1,03

Stap 10: Controle op ondiep voorland

Beide uitvoerpunten bevinden zich op het ondiepere haventerrein. Aan de hand van de lengte van het voorland en de inkomende significante golfhoogte wordt vastgesteld of er rekening dient te worden gehouden met een ondiep voorland.

Locatie Windrichting [°N]	01			02		
	300	330	360	300	330	360
L_R [m]	91	84	59	91	84	59
Lengte voorland	25	25	25	75	75	75
Ondiep voorland	nee	Nee	nee	nee	nee	nee
$H_{s,max}$ [m]	nvt	Nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
$H_{s,totaal}$ [m]	1,07	1,27	0,98	1,59	1,85	1,03
H_s [m]	1,1	1,3	1,00	1,6	1,9	1,1

Symbolen

α	Coëfficiënt in golftransmissieformule	[]
β	coëfficiënt in golfgroeitransmissieformule	[-]
β	hoek tussen de invallende golfrichting en de normaallijn van de opening	[graden]
γ	verspreidingshoek transmissie	[graden]
σ	richtingspreiding	[graden]
θ	golfrichting	[graden]
ω	Radiale frequentie, gedefiniëerd als $T/(2\pi)$	[rad/s]
B	werkelijke breedte van de opening tussen twee havendammen	[m]
B_{eq}	equivalente breedte van de opening tussen twee havendammen	[m]
c	fase snelheid	[m/s]
d	lokale waterdiepte	[m]
DIR	golfrichting	[graden]
$E_{d,t}$	golfenergie in een punt als gevolg van diffractie en transmissie alleen	[m ²]
E_{lg}	golfenergie opgewekt door lokaal windveld	[m ²]
E_{totaal}	totale golfenergie in een punt	[m ²]
$E(f)$	Variantiedichtheidsspectrum	[m ² /Hz]
f	frequentie	[Hz]
F	strijklengte	[m]
F_{eq}	equivalente strijklengte	[m]
g	zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
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]
k	golfgetal, gedefiniëerd als $2\pi/L$	[1/m]
L	lokale golflengte	[m]
$L_{0,p}$	golflengte op diep water, behorend bij de piekperiode T_p	[m]
L_R	Representatieve golflengte	[m]
K_d	diffractiecoëfficiënt, gedefiniëerd als $H_{s,d} / H_{s,i}$	[-]
K_t	transmissiecoëfficiënt, gedefiniëerd als $H_{s,t} / H_{s,i}$	[-]
$K_{d,t}$	diffractie-transmissiecoëfficiënt	[-]
K_R	refractiecoëfficiënt	[-]

m_0	Nulde moment van het frequentie spectrum $E(f)$	$[m^2]$
m_{-1}	Eerste negatieve moment van het frequentie spectrum $E(f)$	$[m^2s]$
O	oorsprong van het x,y-assenstelsel van een diffractietabel	$[m]$
s	macht in Mitsuyasu richtingsverdeling	$[-]$
S_{max}	Spreidingparameter	$[-]$
$T_{m-1,0}$	Spectrale periode gebaseerd op de momenten m_0 en m_{-1} van het golfspectrum	$[s]$
T_p	Piekperiode	$[s]$
$T_{p,i}$	invallende piekperiode (juist buiten de haven)	$[s]$
T_{pm}	Maatgevende piekperiode	$[s]$
T_s	significante golfperiode	$[s]$
U_{10}	windsnelheid op de referentiehoogte van 10 m boven maaiveld	$[m/s]$
X	de afstand van het uitvoerpunt tot de y-as van een diffractietabel	$[m]$
Y	de afstand van het uitvoerpunt tot de x-as van een diffractietabel	$[m]$

Literatuur

.....

- [1] BMT ARGOS, 2013: Inventarisatie Nederlandse Zeehavens. Memo A13195, versie 4. G.Ph. van Vledder
- [2] Alkyon, 1998: Golfrandvoorwaarden voor in door dammen afgeschermd gebied, Band B, A314.
- [3] Rest, P. van de,, 2007: Inventarisatie spreadsheet havens. Memo Svašek Hydraulics, PvdR/1340/D07333/B, 13 augustus 2007.
- [4] Rest, P., van de,; persoonlijke communicatie
- [5] Reijmerink, B., 2012: Golfrandvoorwaarden in havens. Bruikbaarheidsgrenzen voor (numerieke) modellen. M.Sc. thesis, Technische Universiteit Delft.
- [6] Roskam, A.P., 1997: Piekperioden van brede of meertoppige golfspectra. Werkdocument RKZ/OS-97.130x. Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ).
- [7] Alkyon, 1999: Operational peak period and test. Report A411, G.Ph. van Vledder.
- [8] TAW, 2006: Voorschrift Toetsen op Veiligheid.
- [9] Goda, Y., T. Takayama, en Y. Suzuki, 1978: Diffraction diagrams for directional waves. Proc. 19th International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, 628-650.
- [10] Kuik, A.J., G.Ph. van Vledder, en L.H. Holthuijsen, 1988: A method for the routine analysis of pitch-and-roll buoy wave data. Journal of Physical Oceanography, Vol. 18, 1020-1034.
- [11] Veri-Tech Inc, 2002: Coastal Engineering Manual Parts 1, 2, 3, 4, Vicksburg.
- [12] Goda, Y., Takeda, H., Moriya, Y., 1967: Laboratory investigation of wave transmission over breakwaters, Rep. Port & Harbour Res Inst, January 1967.
- [13] Holthuijsen, L.H., 2007: Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge.
- [14] Bottema, M. en G.Ph. van Vledder, 2008: Effective fetch and non-linear four-wave interactions during wave growth in slanting fetch conditions. Coastal Engineering, 55, 261-275.
- [15] Wilson, B.W, 1965: Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December 1959, Deutsche Hydr. Z. Vol. 18, No. 3, 114-130.
- [16] Alkyon, 1999: SWAN golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen, A384.
- [17] SWAN manual , versie 40.91AB, SWAN team, Delft University of Technology.
- [18] RWS, 2006: Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen,
- [19] Alkyon, 2001: Hydraulische randvoorwaarden Buitenhaven Vlissingen, A677, januari 2001.
- [20] Alkyon, 1998: Golfrandvoorwaarden voor in door dammen afgeschermd gebied, Band A, A314.
- [21] TAW, 1989: Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 – benedenrivierengebied.
- [22] Ris, R.C., D.P. Hurdle, G.Ph. van Vledder en L.H. Holthuijsen, 2001: Deep water wave growth at short fetches for high wind speeds, WL|Delft Hydraulics Report H3817. In samenwerking met Alkyon en TU Delft.
- [23] Holthuijsen, L.H., 1980: *Methoden voor golfvoorspelling*, TAW.
- [24] Hunt, J.N., 1979: Direct solution of wave dispersion equation. Journal of the waterways, Port, Coastal and Ocean Division, No. WW4, ASCE, 457-459.
- [25] Svašek Hydraulics, 2014: Finding the correct implementation of Goda/Sommerfield solutions on diffraction diagrams for directional random waves. Memo 1749/U14094/B/HTAL.

- [26] Deltares, 2013: Deltares,2013; "Toetsing nota HR Nieuwe Zeesluis IJmuiden, Evaluatie seiches-toeslag"; Deltares Rapport 1208138-000, definitief, M.P.C. de Jong; 11 juli 2013.
- [27] Deltares & Arcadis, 2011: Modelinstrumentarium IJmuiden, Opzet en Calibratie. rapport 1201077-000-HYE-0034 & C04011.002709, Versie 10 juni 2011, definitief.
- [28] BMT ARGOSS, 2014: Detaillering golfrandvoorwaarden Nieuwe Zeesluis IJmuiden. BMTA rapport A13120R1R5.
- [29] DHV, 2011: Hydraulica en Morfologie Lichten IJmuiden. Fase 2: berekeningen en analyses met het detail model instrumentarium. DHV dossier BA1469, LW-AF20112024.
- [30] DHV, 2012: Zeetoegang IJmond, update hydraulische ontwerprandvoorwaarden ter plaatse van de Nieuwe Zeesluis te IJmuiden. LW-AF20112415.
- [31] Svašek Hydraulics, 2011: SWAN WTI model Europoort. Toepasbaarheids-onderzoek. Rapport 1584/U1048/E/BvL.
- [32] Svašek Hydraulics, 2011: Bepaling golfrandvoorwaarden Nijlhaven voor extreme deiningcondities. Rapport.
- [33] Van der Meer, J.W., R.Briganti, B. Zanuttigh, and B. Wang, 2005: Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change. Coastal Engineering 52, 915-929.

BIJLAGE 1 FYSISCH PROCESEN IN HAVENS

.....

B1.1 Inleiding

De (wind)golfbelasting in havens kan beïnvloed worden door de volgende fysische processen:

- Diffractie;
- Transmissie;
- Lokale golfgroei door wind;
- Dissipatie van golfenergie door het breken van golven op een ondiep voorland;
- Interactie tussen golfgroei en hoog frequent deel van het aanwezige golfspectrum
- Triad en quadruplet interacties;
- Refractie;
- Reflectie;
- Dissipatie door bodemwrijving.

Afhankelijk van de omstandigheden en geometrie van de haven, kan elk van deze processen een bijdrage geven aan de totale golfbelasting. Deze belasting kan vervolgens gebruikt worden om te toetsen of een bepaald dijkvak voldoet.

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 aspecten aan de orde:

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

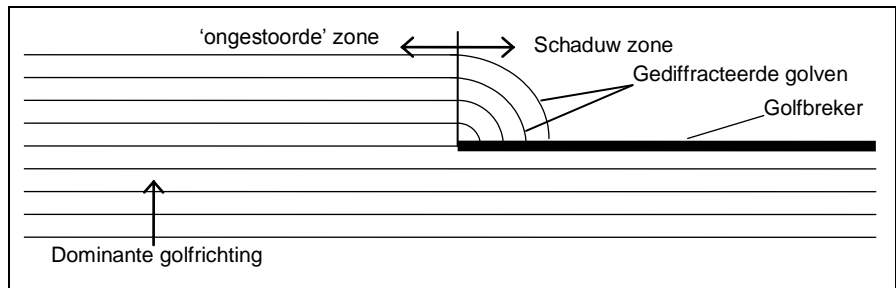
In hoofdstuk B1.7 wordt aangegeven hoe de resulterende golfbelasting in een uitvoerpunt uit de verschillende bijdragen berekend wordt.

De overige fysische processen zijn niet in de eenvoudige 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 (overwegend) laterale richting naar gebieden met een lagere golfenergie². Een voorbeeld hiervan is wanneer lopende golven een obstakel, 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 een herverdeling van golfenergie plaatsvinden. Dit wordt schematisch 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



In het bovenstaande voorbeeld bestaat het invallende golfveld uit golven met een constante periode die allemaal uit de zelfde richting komen. De richtingspreiding van dit invallend golfveld is daarmee nul. In werkelijkheid zullen windgolven zowel richting gespreid als frequentie gespreid zijn. In deze handleiding wordt echter verondersteld dat het invallende golfveld in meer of mindere mate verspreid is over het richtingendomein. De mate van richtingspreiding kan worden uitgedrukt in een aantal graden, zie bijv. [10] en [13] voor een veelgebruikte definitie. Hierbij wordt het symbool σ gebruikt om de mate van richtingspreiding aan te geven.

De mate van richtingspreiding kan ook worden uitgedrukt in de macht s van een cosinus functie gecentreerd rondom de gemiddelde golfrichting volgens de formule:

$$D(\theta) = A \cos^{2s} \left(\frac{\theta - \theta_0}{2} \right) \text{ voor } |\theta - \theta_0| \leq 180^\circ$$

Waarin

- θ een richting
- θ_0 de gemiddelde golfrichting
- s de (halve) macht van de cosinus functie
- A een normalisatie coëfficiënt
- $D(\theta)$ de richtingsverdeling

Bovenstaande formule is door Goda [9] toegepast bij het maken van de diffractietabellen. Daarbij neemt hij tevens een frequentieafhankelijkheid aan

² In theorie zit het proces van diffractie wat ingewikkelder in elkaar. Een diepgaande beschrijving van diffractie valt echter buiten de scope van deze handleiding, maar is wel te vinden in de vakliteratuur.

van de parameter s . Deze parameter is maximaal bij de piekfrequentie en wordt dan aangeduid met de parameter S_{\max} . Deze parameter wordt ook gebruikt om de verschillende diffractietabellen van elkaar te onderscheiden.

Voor een $\cos^2 s$ richtingsverdeling bestaat een relatie tussen de richtingspreiding σ en de spreidingsparameter s [13].

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{s+1}}$$

In het geval overwegend sprake is van deiningsgolven, elders opgewekte golven die niet meer onder de invloed staan van de lokale wind, zal de richtingsspreiding relatief gering zijn (σ orde 9° en s orde 75), in het geval van lokale windgolven zal de richtingsspreiding relatief groot zijn (σ orde 24° en s orde 10). Golfenergie van deiningsgolven zal zich dientengevolge bij voortplanting in een nauwere richtingsband 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 HARES, PHAROS, FINEL en SWASH ofwel met behulp van de diagrammen in de Shore Protection Manual [11]. Voor toepassing in een eenvoudige methode zijn hierboven genoemde modellen ongeschikt. De keuze voor het in rekening brengen van diffractie met behulp van de diagrammen in de Shore Protection Manual [11] is daarmee de voor de hand liggend, mits deze zodanig worden toegepast dat er een conservatieve benadering van de golfenergie wordt toegepast

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 [11] op basis van [9]. Deze diagrammen geven voor eenvoudige situaties standaardoplossingen van de analytische berekening van diffractie van een aangepast Bretschneider spectrum (het zogenaamde Mitsuyasu spectrum, zie [25]). Aangezien de oplossingen niet erg gevoelig zijn voor de vorm van het frequentie spectrum [9], wordt aangenomen dat de oplossingen ook van toepassing zijn op de golfspectra die voorkomen in de Nederlandse wateren. De door Goda et al. [9] ontwikkelde diffractiediagrammen zijn afgeleid voor een oneindig dunne en volledig reflecterende golfbreker. Beide aannamen zijn conservatief. Immers, hoe breder de golfbreker, des te minder golfenergie kan doordringen in het havenbekken. Indien de golfbreker niet-volledig reflecteert zal er golfenergie gedissipeerd worden. In deze versie van de handleiding zijn de Goda diagrammen opnieuw afgeleid door [25] op basis van een analytische berekening van de vergelijkingen zoals gegeven door [9]. Hierdoor bleek het mogelijk om de coëfficiënten exact uit te rekenen. Voor praktische toepassing zijn de tabellen gegeven in 2 decimalen. Bovendien zijn de tabellen uitgebreid met diffractiewaarden horend bij de waarden $X/L=0$ en $Y/L=0$.

De oplossingen worden gepresenteerd in de vorm van een diffractiecoëfficiënt K_d , gedefiniëerd als het quotiënt van de gediffracteerde (significante) golfhoogte (H_d) en de inkomende (significante) golfhoogte (H_i) en zijn bepaald voor zowel situaties met één half-oneindige golfbreker (type 1) als voor twee half-oneindige golfbrekers (type 2) 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 [11] 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 $S_{max}=10$. Deiningsgolven hebben een kleine richtingsverspreiding en derhalve een relatief grote waarde voor $S_{max}=75$. De diagrammen in de Shore Protection Manual [11] zijn gegeven voor de situatie van $S_{max} = 10$ (lokaal opgewekte golven domineren) en $S_{max} = 75$ (deiningsgolven domineren).

Praktische toepassing in de eenvoudige methode

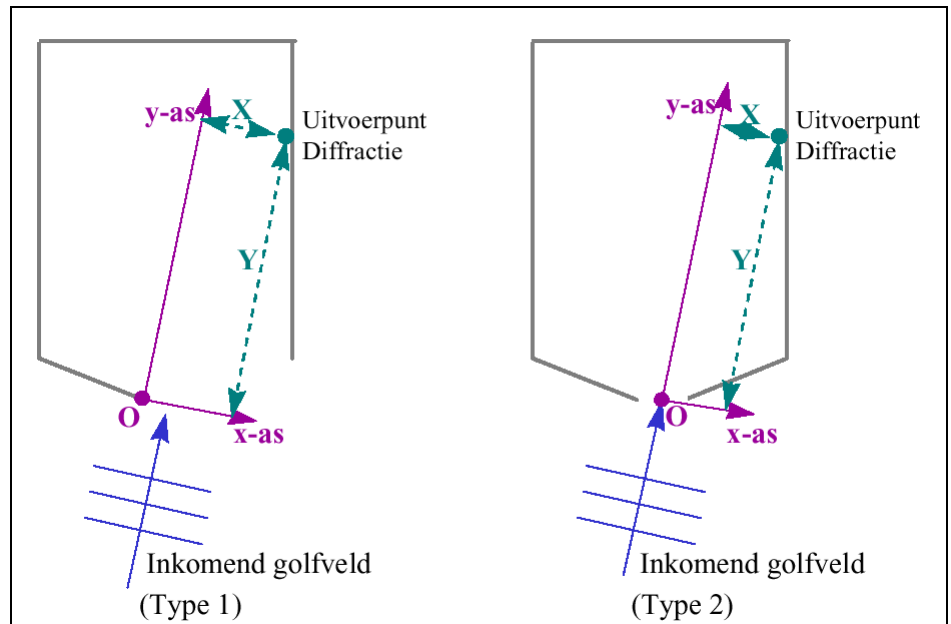
In de eerste twee versies van deze handleiding zijn de diagrammen uit de Shore Protection Manual [11] en [9] gebruikt als basis voor het maken van de diffractietabellen. Omdat het aflezen van deze diagrammen onnauwkeurig is, zijn de diffractietabellen slechts gegeven in 1 decimaal. Deze beperkte nauwkeurigheid gaf aanleiding tot relatief grote fouten bij de bepaling van de diffractiecoëfficiënten. In deze handleiding zijn de tabellen in [25] opnieuw afgeleid op basis van de oorspronkelijke door [9] gegeven vergelijkingen. De numerieke tabellen zijn opgenomen in bijlage 2 en gegeven in 2 decimalen. Tevens zijn een kolom een rij horend bij invoerwaarden van $X/L=0$ en $Y/L=0$ toegevoegd. Vanwege de verhoogde nauwkeurigheid van deze tabellen kunnen de diffractiecoëfficiënten met bi-lineaire interpolatie worden bepaald. Indien een gebruiker aan de conservatieve kant wil blijven, moet de hoogste waarde van de 4 omliggende waarden worden gekozen.

De gebruiker van de eenvoudige methode 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 gedefiniëerd 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 diffractietabellen



De golflengte L volgt uit de inkomende golfperiode en wordt berekend aan de hand van de dispersierelatie tussen golfperiode en golflengte geldend voor de representatieve water diepte. Voor diep water kan de volgende relatie worden gebruikt: $L = \frac{g}{2\pi} T^2$. In de vorige twee versies van deze handleiding werd voor T de piekperiode T_p gebruikt. In deze versie van de handleiding wordt aanbevolen de spectrale periode $T_{m-1,0}$ toe te passen in combinatie met een representatieve waterdiepte. In paragraaf B2.1 wordt de berekening van een golflengte in water met een beperkte diepte nader toegelicht. 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 kan echter tot relatief grote afwijkingen in de golflengte leiden. Deze afwijkingen hoeven niet altijd te leiden tot een conservatieve aanname. Voor een golfperiode van 12 s en een waterdiepte van 10 m, is deze afwijking 100%. Een realistische aanname m.b.t de golflengte kan bestaan uit het toepassen van de grootste waterdiepte bij haveningang, mist deze diepte groter is dan alle waterdieptes in het havenbekken.

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

Met behulp van de vergelijking

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

waarbij met

$$E_{s,i} = \frac{1}{16} H_{s,i}^2$$

wordt de bijbehorende gediffracteerde golfenergie berekend op een bepaalde locatie.

De diffractietabellen 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 [11] kan lineair geïnterpoleerd worden om de diffractiecoëfficiënt te bepalen voor tussenliggende openingsbreedtes. In het geval $B/L < 1$ wordt de tabel met $B/L = 1$ aangehouden (hetgeen een conservatieve benadering is).

Aangezien de diffractiecoëfficiënten in de Goda methode in principe voor elke positie kunnen worden afgeleid, is interpolatie strikt gesproken niet meer nodig. Een dergelijke verfijning is echter niet opgenomen in deze handleiding, omdat de methode eenvoudig uitvoerbaar moet blijven, en om te voorkomen dat er een schijnnaauwkeurigheid ontstaat. Immers, in het geheel van de toetsing spelen andere aannamen waarschijnlijk een grotere rol dan diffractie-effecten.

B1.3 Transmissie

B1.3.1 Algemene beschrijving fysische proces

Golftransmissie door en over dammen is het verschijnsel waarbij een deel van de golfenergie 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 [2] blijkt echter dat golftransmissie ook een effect heeft op de vorm van het spectrum van de getransmitteerde golven, waarbij het invallende golfspectrum qua vorm hetzelfde blijft, maar in grootte afneemt in samenhang met een relatief plat spectrum voor de hogere frequenties. Daarbij blijft de piekperiode (T_p) van het spectrum nagenoeg gelijk, maar wordt de gemiddelde spectrale periode (T_{m01}) 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 [12] die de golftransmissie voor verticale constructies beschrijft. Hierbij treedt alleen transmissie op over de constructie en geen transmissie dóór de constructie. De vergelijking is tot stand gekomen na fysisch model onderzoek met regelmatige golven en wordt gegeven door:

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

Hierbij gaf Goda [12] enkele waarden voor α en β bij verschillende caisontypes. Voorts zijn middels fysisch modelonderzoek voor andere damconstructies coëfficiënten α en β afgeleid. In onderstaande tabel zijn deze coëfficiënten gegeven (2) en [17]):

Tabel B2
Coëfficiënten in transmissieformulering

Caisontype	α	β
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

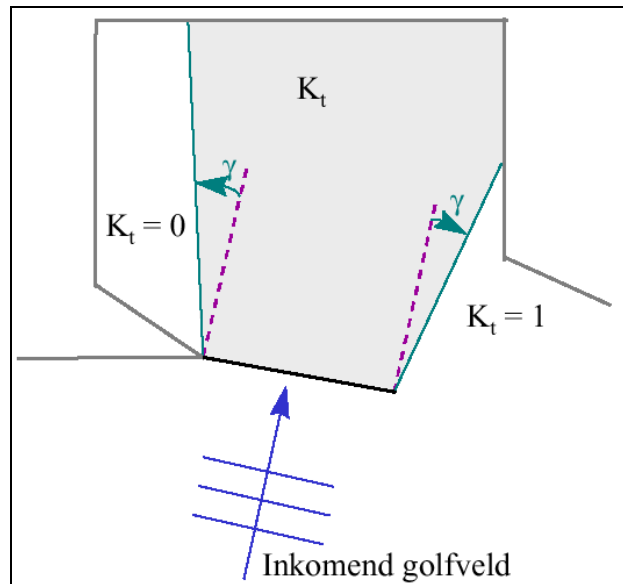
De transmissieformulering van Goda et al. [12] wordt heden ten dage veelvuldig toegepast voor onregelmatige golven, ondanks het feit dat deze formulering in eerste instantie voor regelmatige golven is afgeleid. De Goda formulering [12] is onder andere in het golfmodel SWAN [17] ingebouwd. Overige in de literatuur vermelde transmissieformuleringen zijn veel minder algemeen toegepast

De veelvuldige praktische toepassing en de relatieve eenvoud van de transmissieformulering van Goda et al. [12] zijn dan ook de redenen voor het opnemen van deze formulering in deze eenvoudige methode.

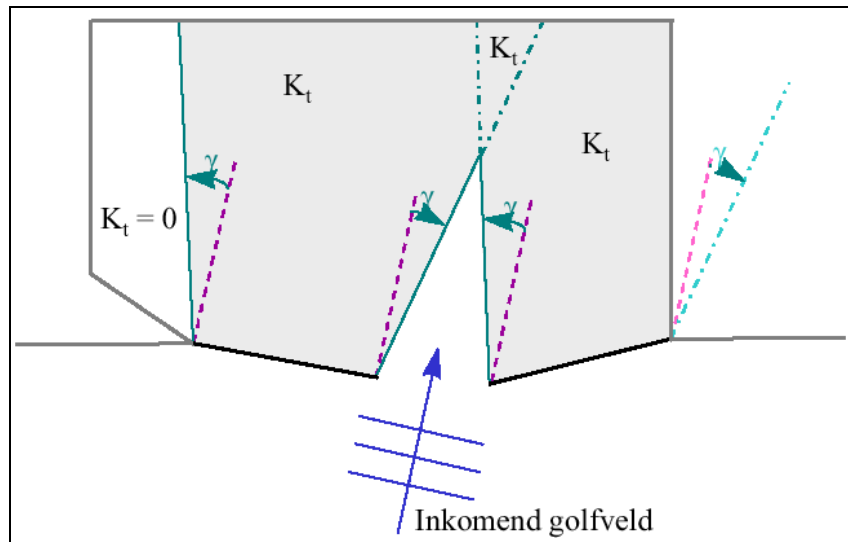
Praktische toepassing in de eenvoudige methode

Met de transmissieformulering van Goda et al. [12] 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 gedefiniëerd 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 richtingsverspreiding 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 verspreidt 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 eenvoudige methode wordt het effect van transmissie op de **gemiddelde spectrale golfperiodes** (herverdeling van een deel van de energie in het spectrum van lage frequenties naar hoge frequenties) niet in rekening gebracht. Om tot conservatieve golfbelastingen te komen is de **piekperiode of de spectrale periode $T_{m-1,0}$** 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 min of meer 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 [20]:

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

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 eenvoudige methode.

B1.5 Lokale golfgroei

B1.5.1 Algemene beschrijving fysische proces

In een havenbekken zullen, naast golven die het bekken binnendringen, ook golven opgewekt worden door lokale golfgroei. Hierbij wordt energie van wind overgedragen aan het golfveld. Voor havenbekkens kan lokale golfgroei vaak als golfgroei in diep water worden beschouwd. De bepalende parameters zijn daarbij de windsnelheid en effectieve strijklengte. In de loop der jaren zijn vele soorten modellen ontwikkeld die golfgroei voorspellen. Voor eenvoudige situaties worden over het algemeen empirisch afgeleide groeicurves gebruikt. In de literatuur zijn verschillende groeicurves voorgesteld voor verschillende omstandigheden. Een bekende set vergelijkingen en bijbehorende groeicurves zijn bepaald door Bretschneider [11] en beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken [21]. Met de methode Bretschneider kunnen de significante golfhoogte en piekperiode voor ondiepwater condities vrij goede schattingen gedaan worden. Wilson [15] heeft een golfgroei-formulering ontwikkeld die van toepassing is op diep water condities en bij relatief korte strijklengtes en hoge windsnelheden. Gezien deze eigenschappen is de methode van Wilson [15] onderdeel van de eenvoudige methode.

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

Afweging

In zowel Ris et al. [22] als Holthuijsen [23] 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-golfgroei-formulering in de eenvoudige methode gemaakt.

Praktische toepassing in de eenvoudige methode

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

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

Vergelijking 1: Formulering voor golfgroei volgens Wilson 1965 [15]

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 ²]

Opmerking:

Omwillen van een eenvoudige implementatie van de golfgroeiformulering in de eenvoudige 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 met de Wilson methode berekende golfperiode wordt daarom niet toegepast omdat in de eenvoudige methode wordt aangenomen dat de buitengaats golfperiode constant blijft.

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 [18] 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 getransmitteerde golfenergie kan eenvoudig benaderd worden door aan te nemen dat deze golfenergie is opgewekt over een fictieve strijklengte $F_{fictief}$. Deze fictieve strijklengte moet dan worden opgeteld bij de equivalente strijklengte F_{eq} in het havenbekken om de totale strijklengte te bepalen waarmee de golfhoogte kan worden uitgerekend. De fictieve strijklengte kan met tabel 2 bepaald worden uit de getransmitteerde significante golfhoogte $H_{s,t}$. De lokale golfgroei in een bepaald punt wordt dan met tabel 2 berekend over de totale 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 $T_{p,lg}$.

Voorbeeld

Windsnelheid: $U_{10} = 20$ m/s

$H_{st} = 0,4$ m

$F_{fictief} = 700$ m

$F_{eq} = 500$ m

$F_{tot} = F_{fictief} + F_{eq} = 700 + 500 = 1200$ m

$H_{s,lg} = 0,51$ m

Opmerkingen

- Toepassing van alleen lokale golfgroei op basis van de equivalente strijklengte zou leiden tot $H_{s,lg} = 0,34$ m. Het meenemen van de getransmitteerde energie leidt tot hogere golfhoogten, dit in tegenstelling tot uitspraken in de vorige versie van deze handleiding waarin gesteld werd dat het niet meenemen van de getransmitteerde energie tot conservatieve resultaten zou leiden.
- In de *eenvoudige methode* van golftransmissie wordt voor de eenvoud voorbij gegaan aan details van de spectrale verdeling van getransmitteerde golfenergie. Uit fysisch modelonderzoek [2] 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. Omdat de methode van Wilson alleen uitspraken doet over de groei van de significante golfhoogte en niet over de spectrale verdeling van golfenergie, wordt in deze handleiding aangenomen dat de spectrale verdeling niet van invloed is op de mate van golfgroei.

Praktische toepassing

Interactie tussen lokale golfgroei door wind en hoogfrequente golfenergie moet wel in rekening worden gebracht (zie bovengenoemde *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 onregelmatige golven op een vlak voorland stelt [21] dat kan worden aangenomen dat ze gaan breken als $H_s \leq 0,56 d$.

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 dijktaalud.

In het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [8] 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 herziene handleiding wordt aangeraden om hiervoor de representatieve golfhoogte L_R aan te houden.

In deze eenvoudige methode is ervoor gekozen het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) 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 dieptebepaalde golfhoogte door een ondiep voorland, dan geldt deze dieptebepaalde golfhoogte.

De golfperiode in het uitvoerpunt is gelijk aan de golfperiode buiten de haven. De golfrichting in het uitvoerpunt wordt loodrecht op de waterkering verondersteld.

B1.8 Overige fysische processen

B1.8.1 Triad en quadruplet interacties

In veel golfmodellen wordt aangenomen dat het golfveld is opgebouwd uit de som van een groot aantal zich onafhankelijk van elkaar voortplantende harmonische golven. In werkelijkheid zijn de golfcomponenten wél enigszins afhankelijk van elkaar en vindt energie-uitwisseling plaats tussen de verschillende componenten, zonder dat daar energie bij verloren gaat. Deze niet-lineaire interacties tussen golfcomponenten worden normaal onderverdeeld in interacties waarin drie golf-componenten energie herverdelen (triads) en interacties waarin vier golf-componenten (quadruplets) energie uitwisselen:

Triads interacties spelen geen rol in diep water. In ondiep water kunnen zij lokaal vrij sterk worden en daarbij energie naar hogere harmonische componenten transporteren waardoor golfperiodematen afnemen. Voor toepassing in havenbekkens kunnen triads alleen een rol spelen op ondiepe voorlanden, maar gezien het lokale karakter van optreden, kunnen zij in de eenvoudige methode verwaarloosd worden.

Quadruplets spelen een grote rol in de ontwikkeling van een golfveld, zoals bij windgroei op Nederlandse buiten en binnenwateren. Bij de voortplanting van een invallend golfveld is het effect van quadruplets zwak en kan daarom in haventoepassingen verwaarloosd worden. Quadruplet interacties zijn impliciet verwerkt in de parametrische golfgroei formules van Wilson. Voor een verdere beschrijving van triad en quadruplet interacties wordt verwezen naar bijvoorbeeld Holthuijsen [23].

B1.8.2 Refractie

Refractie is het verschijnsel waarbij de golfrichting verandert als golven zich voortplanten in water van variabele diepte (of met variabele stroomsnelheden). De fasesnelheid van golven is over het algemeen langzamer in ondiep water dan in diep water. Dit betekent dat als golven ondiep water naderen hun richting zodanig verandert dat ze meer loodrecht op de dieptecontouren gaan lopen. Het deel van de golfkam dat 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. Meer informatie over diepte-refractie staat helder beschreven in Holthuijsen [13].

In deze eenvoudige methode wordt uitgegaan van een constante bodemdiepte waardoor refractie effecten niet optreden. In de vorige versie van deze handleiding werd dat beargumenteerd door aan te nemen dat er sprake was van diep water condities. In werkelijkheid zal voor de Nederlandse havens er sprake zijn van ondiep water condities. Omwille van de eenvoud van de methode, wordt daarom aangenomen dat het water een constante waterdiepte heeft. Deze waterdiepte moet dan gelijk zijn aan grootste waterdiepte in het havenbekken en haveningang. Dit heeft als consequentie dat de 'diep-water' golflengte gebaseerd moet zijn op deze maximale waterdiepte. Dit betekent dat de golflengte kleiner zal zijn dan op basis van de diep water aanname.

In deze handleiding wordt, omwille van de eenvoud van de methode, aangenomen dat het weglaten van refractie effecten niet leidt tot een onderschatting van de golfbelasting. In werkelijkheid zal voor lokaal opgewekte golven deze aanname geldig zijn omdat deze golven korte golflengtes hebben en in wezen als diep water golven beschouwd kunnen worden. Relatief langere golven die de haven binnendringen, kunnen door refractie afbuigen en voorin de haven leiden tot een verhoging van de golfbelasting.

Een eenvoudige methode om het effect van refractie af te schatten is door het bepalen van de refractiecoëfficiënt K_R op basis van de diepte d_G in de geul, de diepte d_B in het havenbekken en de representatieve golfperiode T . De effecten van refractie op de golfhoogte kunnen worden uitgerekend door toepassing van de wet van Snel:

$$\frac{\cos(\theta)}{c} = Const$$

Waarin θ de hoek van inval ten opzichte van de normaal van een dijkvak, c de fasesnelheid van de invallende golf met periode T . De verandering van de hoek van inval door refractie kan berekend worden met:

$$\theta_D = \sin^{-1} \left(\frac{c_D}{c_B} \sin(\theta_B) \right)$$

Waarin c_B en c_D de fasesnelheden van de golven in het bekken (B) en op het ondiepe havenbekken (D) met golfperiode T , en θ_B en θ_D zijn de hoeken van inval de golven. Vervolgens kan de refractiecoëfficiënt K_R als volgt worden uitgerekend:

$$K_R = \left(\frac{\cos(\theta_B)}{\cos(\theta_D)} \right)^{1/2}$$

De refractiecoëfficiënt K_R legt dan een relatie tussen de significante golfhoogte in de (diepere) geul en het ondiepe havenbekken.

$$H_{s,D} = K_R \times H_{s,B}$$

Indien de geul dieper is dan het gebied buiten de geul, blijkt de refractie coëfficiënt altijd kleiner dan 1. Dit betekent dat het verwaarlozen van refractie een conservatieve aanname is.

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 rol spelen in de golfpatronen/golfenergie in de haven. Bij inkomende golven op een talud zal de hoeveelheid gereflecteerde energie veel kleiner zijn en derhalve van minder belang zijn. Opgemerkt moet worden dat een aanname in bepaling van de diffractietabellen op basis van Goda [9] is dat de golfbrekers 100% reflecterend zijn [25]. De consequenties van deze constatering is dat het niet meenemen van reflectie van andere kades en dammen wellicht minder beperkend kan zijn voor het toepassen van de eenvoudige methode.

In deze eenvoudige 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 eenvoudige 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 eenvoudige methode dan niet toegepast mag worden. Recent heeft Reijmerink [5] aangetoond dat reflecties tot 50% in het havengebied de toepasbaarheid van de eenvoudige methode niet hoeven te beperken. Mogelijk speelt het feit dat de bijdrage van diffractie effecten gebaseerd zijn op volledig reflecterende golfbrekers hier een rol.

Reflectie in een havenbekken kunnen aanzienlijk afnemen bij hoge waterstanden waarbij haventerreinen onder water komen te staan.

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 door dat de amplitude van de orbitaalsnelheden onder een golfdeeltje sneller met de diepte afneemt voor korte golven dan voor langere golven.

Dissipatie door breken ontstaat wanneer de golven te steil worden. Op diep water hangt dit samen met whitecapping. In ondiep water treedt breken ook op als de verhouding van significante golfhoogte over diepte te hoog wordt. Dit verschijnsel wordt "breken op diepte" genoemd en is dan vaak dominant over dissipatie door bodemwrijving of whitecapping.

In de eenvoudige 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. Dissipatie door whitecapping wordt impliciet meegenomen in de bepaling van de lokale golfgroei met behulp van de parametrische groeikromme van Wilson [15],

Het niet meenemen van dissipatie van golfenergie in de bepaling van de golfcondities in de haven is een conservatieve benadering.

B2.1 Golflengte in ondiep water

De golflengte L van een mono-chromotische golf met een periode T kan op basis van lineaire golftheorie worden afgeleid uit de dispersierelatie, zie bijv [13]:

$$\omega^2 = gk \tanh(kd)$$

waarin $\omega = 2\pi/T$ de hoekfrequentie is, g de zwaartekrachtsversnelling, $k = 2\pi/L$ het golfgetal en d de waterdiepte. Voor diep water met $d \rightarrow \infty$ wordt $\tanh(kd) = 1$, en kan de relatie tussen golfperiode T en golflengte L geschreven worden als:

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2$$

In de praktijk wordt de diep water golflengte bepaald op basis van de piekperiode T_p en aangegeven met het symbool $L_{0,p}$.

In ondiep water kan de golflengte L niet direct uit de golfperiode T en waterdiepte d worden bepaald. Wel zijn er nauwkeurige benaderingsformules beschikbaar waarbij dit wel mogelijk is. Een eenvoudig te automatiseren methode is gebaseerd op een zogenaamde vierde-orde Padé benadering op basis van [24]. Deze methode kan in 3 stappen worden toegepast:

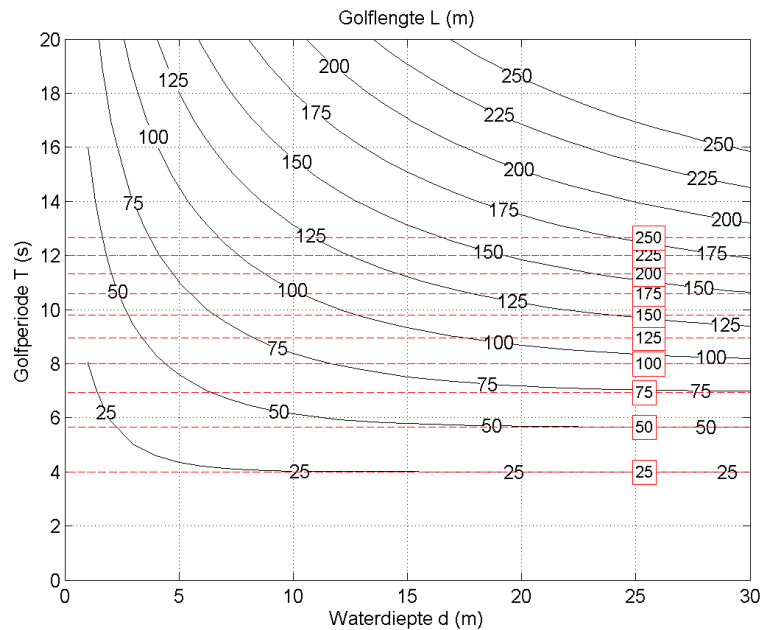
$$y = \frac{4\pi^2 d}{g T^2}$$

$$x = y \left(y + \frac{1}{1 + 0.667y + 0.445y^2 - 0.105y^3 + 0.272y^4} \right)$$

$$L = \frac{2\pi d}{\sqrt{x}}$$

Op basis van bovenstaande formule is een diagram gemaakt waarbij de golflengte L kan worden afgelezen voor een bepaalde combinatie van waterdiepte d en golfperiode T . Hierbij is een representatief bereik van waterdiepten opgenomen, mede om het aflezen nauwkeuriger te maken. Tevens is met rode stippellijnen en een label de diepwater golflengte aangegeven.

Uit deze figuur blijkt dat de aanname van diep water tot grote afwijkingen in de golflengte kan leiden voor veel voorkomende situaties in de Nederlandse kustwateren. Bij een waterdiepte van 10 m en een (toets) golfperiode van 8 s, is diepwater golflengte $L_0=100$ m en de ondiep water golflengte 71 m, een verschil van ruim 30%.



In de praktijk heeft dit consequenties voor de bepaling van het effect van dieptebeperkingen op ondiepe voorlanden; er zal immers eerder sprake zijn van een reductiefactor. Bij het aflezen van de diffractietabellen betekent een kleinere golflengte L dat het afleespunt schuin naar rechtsboven opschuift.

BIJLAGE 2 DIFFRACTIETABELLEN

B2.1 Difractietabellen TYPE 1

		Difractietabel, type 1																		Smax=10					
		20	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66	0,63	0,61	0,58	0,56	0,54	0,51	0,49	0,47	20	
		19	0,89	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,68	0,65	0,63	0,6	0,58	0,55	0,53	0,51	0,48	0,46	19	
		18	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,8	0,78	0,75	0,73	0,7	0,68	0,65	0,62	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,47	0,45	18	
		17	0,9	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,8	0,78	0,76	0,73	0,7	0,68	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44	17	
		16	0,9	0,89	0,88	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,73	0,7	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55	0,53	0,5	0,47	0,45	0,42	16	
		15	0,91	0,9	0,89	0,87	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,73	0,7	0,67	0,64	0,61	0,58	0,54	0,51	0,49	0,46	0,43	0,41	15	
		14	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,8	0,77	0,74	0,7	0,67	0,64	0,6	0,57	0,53	0,5	0,47	0,44	0,42	0,4	14	
		13	0,93	0,91	0,9	0,89	0,87	0,85	0,83	0,8	0,77	0,74	0,7	0,67	0,63	0,59	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,4	0,38	13	
Y/L		12	0,93	0,92	0,91	0,9	0,88	0,86	0,84	0,81	0,78	0,74	0,7	0,66	0,62	0,58	0,54	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38	0,36	12	
		11	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,82	0,78	0,74	0,7	0,66	0,62	0,57	0,53	0,49	0,45	0,42	0,39	0,37	0,34	11	
		10	0,95	0,94	0,93	0,92	0,9	0,88	0,85	0,82	0,79	0,75	0,7	0,66	0,61	0,56	0,51	0,47	0,43	0,4	0,37	0,34	0,32	10	
		9	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,83	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,54	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,32	0,3	9	
		8	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92	0,9	0,88	0,85	0,81	0,76	0,7	0,64	0,58	0,52	0,47	0,43	0,39	0,35	0,32	0,3	0,28	8	
		7	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,92	0,89	0,86	0,82	0,76	0,7	0,63	0,57	0,5	0,45	0,4	0,36	0,32	0,3	0,27	0,25	7	
		6	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,88	0,83	0,77	0,7	0,62	0,54	0,47	0,41	0,36	0,33	0,29	0,27	0,25	0,23	6	
		5	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,9	0,85	0,78	0,7	0,6	0,51	0,44	0,37	0,33	0,29	0,26	0,24	0,22	0,2	5	
		4	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,92	0,88	0,8	0,7	0,58	0,47	0,39	0,33	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	4	
		3	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,91	0,83	0,69	0,54	0,42	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	3
	2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,87	0,69	0,48	0,34	0,27	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	2	
	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,98	0,94	0,68	0,36	0,25	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	1	
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,26	0,2	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0	
	0	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	0		
		X/L																							
		Difractietabel, type 1																		Smax=75					
		20	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	0,85	0,8	0,75	0,69	0,63	0,56	0,5	0,45	0,39	0,35	0,3	0,27	0,24	0,21	20	
		19	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,92	0,89	0,86	0,81	0,75	0,69	0,62	0,56	0,49	0,43	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,2	19	
		18	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,93	0,9	0,86	0,81	0,75	0,69	0,62	0,55	0,48	0,42	0,37	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	18	
		17	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87	0,82	0,76	0,69	0,61	0,54	0,47	0,41	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	17	
		16	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,88	0,82	0,76	0,69	0,61	0,53	0,46	0,39	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	16	
		15	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,88	0,83	0,76	0,69	0,6	0,52	0,45	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	15	
		14	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,89	0,84	0,77	0,68	0,6	0,51	0,43	0,36	0,3	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	14	
		13	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,9	0,85	0,77	0,68	0,59	0,5	0,41	0,34	0,29	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	13	
Y/L		12	1	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,91	0,86	0,78	0,68	0,58	0,48	0,4	0,32	0,27	0,23	0,19	0,17	0,15	0,13	12	
		11	1	1	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96	0,93	0,87	0,78	0,68	0,57	0,46	0,38	0,3	0,25	0,21	0,18	0,15	0,14	0,12	11	
		10	1	1	1	1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,88	0,79	0,68	0,56	0,45	0,35	0,28	0,23	0,19	0,16	0,14	0,13	10	
		9	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,98	0,95	0,89	0,8	0,67	0,54	0,42	0,33	0,26	0,21	0,18	0,15	0,13	0,12	9	
		8	1	1	1	1	1	0,99	0,99	0,96	0,91	0,81	0,67	0,53	0,4	0,3	0,24	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	8	
		7	1	1	1	1	1	1	0,99	0,98	0,93	0,82	0,67	0,5	0,37	0,28	0,21	0,17	0,14	0,13	0,11	0,1	0,09	7	
		6	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,95	0,84	0,66	0,48	0,34	0,25	0,19	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	0,09	6	
		5	1	1	1	1	1	1	1	1	0,97	0,86	0,65	0,45	0,3	0,22	0,17	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	5	
		4	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	0,88	0,65	0,41	0,27	0,19	0,15	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	4	
		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,92	0,64	0,36	0,23	0,16	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	3	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,98	0,62	0,31	0,19	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	2	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,02	0,61	0,25	0,16	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	1	
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,21	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0	
	0	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	0		
		X/L																							

B2.2 Diffractietabellen TYPE 2

Grote richtingsspreiding ($S_{max} = 10$)

		Diffractietabel type 2, B/L=1								Klein				Smax=10								
Y/L	4	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	4				
	3,8	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,8				
	3,6	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,6				
	3,4	0,4	0,39	0,39	0,38	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,4				
	3,2	0,41	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,2				
	3	0,42	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,32	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,23	3				
	2,8	0,43	0,43	0,43	0,42	0,4	0,39	0,37	0,35	0,34	0,32	0,3	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23	2,8				
	2,6	0,45	0,45	0,44	0,43	0,41	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	2,6				
	2,4	0,47	0,46	0,46	0,44	0,42	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	2,4				
	2,2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,43	0,41	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	0,22	2,2				
Y/L	2	0,51	0,5	0,49	0,47	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	2				
	1,8	0,53	0,53	0,51	0,49	0,46	0,42	0,39	0,36	0,33	0,3	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,2	1,8				
	1,6	0,56	0,55	0,53	0,5	0,47	0,43	0,39	0,36	0,32	0,3	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,2	1,6				
	1,4	0,6	0,59	0,56	0,52	0,48	0,43	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,25	0,23	0,21	0,2	0,19	1,4				
	1,2	0,64	0,62	0,59	0,54	0,48	0,43	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	1,2				
	1	0,68	0,67	0,62	0,55	0,48	0,42	0,37	0,33	0,29	0,26	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	0,18	1				
	0,8	0,74	0,72	0,65	0,56	0,48	0,41	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,8				
	0,6	0,81	0,78	0,69	0,57	0,47	0,39	0,33	0,29	0,26	0,24	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,6				
	0,4	0,89	0,85	0,73	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27	0,25	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,18	0,17	0,4				
	0,2	0,97	0,93	0,79	0,55	0,41	0,34	0,29	0,26	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	0,18	0,18	0,17	0,2				
Y/L	0	1	1	1	0,54	0,4	0,33	0,29	0,26	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0				
	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																					
			Diffractietabel type 2, B/L=1								Groot				Smax=10							
	Y/L	20	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	20			
		19	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	19			
		18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	18			
		17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	17			
		16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	16			
		15	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	15			
14		0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	14				
13		0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	13				
12		0,21	0,21	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,1	0,1	12				
11		0,22	0,22	0,21	0,21	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,09	11				
Y/L	10	0,23	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	10				
	9	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,09	0,09	9				
	8	0,26	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	8				
	7	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,11	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	7				
	6	0,3	0,29	0,27	0,24	0,21	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	6				
	5	0,33	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	5				
	4	0,37	0,34	0,3	0,24	0,2	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	4				
	3	0,42	0,38	0,3	0,23	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	3				
	2	0,51	0,42	0,29	0,21	0,17	0,14	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	2				
	1	0,68	0,42	0,24	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	1				
Y/L	0	1	0,33	0,21	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15						
	X/L																					

		Diffractietabel type 2, B/L=2							Klein						Smax=10						
	Y/L	8	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	8		
		7,6	0,4	0,39	0,39	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	7,6		
		7,2	0,41	0,4	0,4	0,39	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	7,2		
		6,8	0,42	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	6,8		
		6,4	0,43	0,43	0,42	0,41	0,4	0,39	0,37	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	6,4		
		6	0,44	0,44	0,44	0,43	0,41	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23	6		
		5,6	0,46	0,46	0,45	0,44	0,42	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3	0,28	0,27	0,25	0,23	0,22	5,6		
		5,2	0,47	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39	0,37	0,34	0,32	0,3	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	5,2		
		4,8	0,49	0,49	0,48	0,46	0,44	0,42	0,39	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	4,8		
	Y/L	4,4	0,51	0,51	0,5	0,48	0,45	0,43	0,4	0,37	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,2	4,4		
		4	0,54	0,53	0,52	0,49	0,46	0,43	0,4	0,36	0,33	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22	0,2	0,19	4		
		3,6	0,56	0,56	0,54	0,51	0,47	0,43	0,4	0,36	0,33	0,3	0,27	0,25	0,23	0,21	0,2	0,18	3,6		
		3,2	0,59	0,58	0,56	0,52	0,48	0,44	0,39	0,35	0,32	0,28	0,26	0,23	0,22	0,2	0,19	0,17	3,2		
		2,8	0,63	0,62	0,59	0,54	0,49	0,43	0,38	0,34	0,3	0,27	0,24	0,22	0,2	0,19	0,17	0,16	2,8		
		2,4	0,67	0,65	0,61	0,56	0,49	0,43	0,37	0,32	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	2,4		
		2	0,72	0,7	0,64	0,57	0,49	0,41	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,15	2		
		1,6	0,78	0,75	0,68	0,58	0,47	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,17	0,15	0,15	0,14	1,6		
		1,2	0,84	0,81	0,71	0,57	0,45	0,36	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,15	0,15	0,14	0,13	1,2		
		0,8	0,92	0,88	0,75	0,56	0,4	0,31	0,26	0,22	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,8		
		0,4	0,97	0,96	0,82	0,51	0,34	0,27	0,23	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,4		
		0	1	1	1	0,45	0,31	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0		
			0	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																			
		Diffractietabel type 2, B/L=2							Groot						Smax=10						
		40	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	40		
		38	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	38		
		36	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	36		
		34	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,1	34		
		32	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	32		
		30	0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	30		
		28	0,21	0,21	0,2	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	28		
		26	0,22	0,21	0,21	0,2	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,1	0,09	26		
		24	0,22	0,22	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	24		
	Y/L	22	0,23	0,23	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	22		
		20	0,25	0,24	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,08	20		
		18	0,26	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	18		
		16	0,27	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	16		
		14	0,29	0,29	0,27	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	14		
		12	0,32	0,31	0,28	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	12		
		10	0,35	0,33	0,29	0,25	0,21	0,17	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	10		
		8	0,39	0,36	0,3	0,24	0,19	0,16	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	8		
		6	0,44	0,4	0,3	0,23	0,17	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	6		
		4	0,54	0,43	0,28	0,19	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	4		
		2	0,72	0,41	0,21	0,15	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	2		
		0	1	0,25	0,16	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0		
			0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30			
		X/L																			

94

	Diffractietabel type 2, B/L=8								Klein				Smax=10								
Y/L	32	0,4	0,4	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,3	0,28	0,27	0,26	0,24	32			
	30,4	0,41	0,41	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,3	0,28	0,27	0,25	0,24	30,4			
	28,8	0,42	0,42	0,42	0,41	0,4	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,3	0,28	0,27	0,25	0,24	28,8			
	27,2	0,43	0,43	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	27,2			
	25,6	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,4	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	25,6			
	24	0,46	0,46	0,45	0,44	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	24			
	22,4	0,48	0,47	0,47	0,45	0,44	0,42	0,4	0,37	0,35	0,33	0,3	0,28	0,26	0,25	0,23	0,21	22,4			
	20,8	0,49	0,49	0,48	0,47	0,45	0,42	0,4	0,37	0,35	0,32	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	20,8			
	19,2	0,51	0,51	0,5	0,48	0,46	0,43	0,4	0,37	0,35	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,2	19,2			
	17,6	0,53	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,4	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,2	0,19	17,6			
	16	0,56	0,55	0,53	0,51	0,48	0,44	0,4	0,37	0,33	0,3	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	16			
	14,4	0,58	0,58	0,56	0,53	0,49	0,44	0,4	0,36	0,32	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	0,18	0,16	14,4			
	12,8	0,61	0,61	0,58	0,54	0,49	0,44	0,4	0,35	0,31	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	12,8			
	11,2	0,65	0,64	0,61	0,56	0,5	0,44	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14	11,2			
	9,6	0,69	0,68	0,64	0,57	0,5	0,43	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	9,6			
	Y/L	8	0,74	0,72	0,67	0,59	0,5	0,41	0,34	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	8		
6,4		0,8	0,77	0,7	0,59	0,48	0,38	0,3	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	6,4			
4,8		0,86	0,83	0,74	0,59	0,44	0,33	0,26	0,21	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	4,8			
3,2		0,93	0,9	0,78	0,56	0,37	0,26	0,2	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,08	3,2			
1,6		0,98	0,97	0,86	0,47	0,26	0,18	0,15	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	1,6			
0		1	1	1	0,28	0,18	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0			
		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																					
		Diffractietabel type 2, B/L=8								Groot				Smax=10							
Y/L		160	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	160		
		152	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	152		
		144	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	144		
		136	0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,1	136		
		128	0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	128		
		120	0,21	0,21	0,2	0,2	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	120		
		112	0,22	0,22	0,21	0,2	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	112		
	104	0,22	0,22	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,15	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,09	104			
	96	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	96			
	88	0,24	0,24	0,23	0,22	0,21	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	88			
	80	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,2	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	80			
	72	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,07	72			
	64	0,28	0,28	0,27	0,24	0,22	0,2	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	64			
	56	0,31	0,3	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17	0,14	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	56			
	48	0,33	0,32	0,29	0,25	0,22	0,18	0,16	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	48			
	Y/L	40	0,36	0,34	0,3	0,25	0,21	0,17	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	40		
32		0,4	0,37	0,31	0,24	0,19	0,15	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	32			
24		0,46	0,41	0,31	0,22	0,16	0,13	0,1	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	24			
16		0,56	0,44	0,27	0,18	0,12	0,1	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	16			
8		0,74	0,41	0,18	0,11	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	8			
0		1	0,14	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0			
		0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120				
X/L																					

Kleine richtingsspreiding (Smax = 75)

		Diffractietabel type 2, B/L=1						Klein						Smax=75						
Y/L	4	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	4		
	3,8	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,8		
	3,6	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,6		
	3,4	0,4	0,39	0,39	0,38	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,31	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,4		
	3,2	0,41	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	3,2		
	3	0,42	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,32	0,3	0,29	0,27	0,26	0,25	0,23	3		
	2,8	0,43	0,43	0,43	0,42	0,4	0,39	0,37	0,35	0,34	0,32	0,3	0,28	0,27	0,26	0,24	0,23	2,8		
	2,6	0,45	0,45	0,44	0,43	0,41	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	2,6		
	2,4	0,47	0,46	0,46	0,44	0,42	0,4	0,38	0,36	0,34	0,32	0,3	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	2,4		
	2,2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,43	0,41	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	0,22	2,2		
	2	0,51	0,5	0,49	0,47	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	2		
	1,8	0,53	0,53	0,51	0,49	0,46	0,42	0,39	0,36	0,33	0,3	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,2	1,8		
	1,6	0,56	0,55	0,53	0,5	0,47	0,43	0,39	0,36	0,32	0,3	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,2	1,6		
	1,4	0,6	0,59	0,56	0,52	0,48	0,43	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,25	0,23	0,21	0,2	0,19	1,4		
	1,2	0,64	0,62	0,59	0,54	0,48	0,43	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	1,2		
	1	0,68	0,67	0,62	0,55	0,48	0,42	0,37	0,33	0,29	0,26	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	0,18	1		
	0,8	0,74	0,72	0,65	0,56	0,48	0,41	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,8		
	0,6	0,81	0,78	0,69	0,57	0,47	0,39	0,33	0,29	0,26	0,24	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,6		
	0,4	0,89	0,85	0,73	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27	0,25	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,18	0,17	0,4		
	0,2	0,97	0,93	0,79	0,55	0,41	0,34	0,29	0,26	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	0,18	0,18	0,17	0,2		
	0	1	1	1	0,54	0,4	0,33	0,29	0,26	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0		
	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											
		Diffractietabel type 2, B/L=1						Groot						Smax=75						
Y/L	20	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	20		
	19	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	19		
	18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	18		
	17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	17		
	16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	16		
	15	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	15		
	14	0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	14		
	13	0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	13		
	12	0,21	0,21	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,1	0,1	12		
	11	0,22	0,22	0,21	0,21	0,2	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,09	11		
	10	0,23	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	10		
	9	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,09	0,09	9		
	8	0,26	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	8		
	7	0,28	0,27	0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,11	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	7		
	6	0,3	0,29	0,27	0,24	0,21	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	6		
	5	0,33	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	5		
	4	0,37	0,34	0,3	0,24	0,2	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	4		
	3	0,42	0,38	0,3	0,23	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	3		
	2	0,51	0,42	0,29	0,21	0,17	0,14	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	2		
	1	0,68	0,42	0,24	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	1		
	0	1	0,33	0,21	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
									X/L											

97

		Diffractietabel type 2, B/L=4							Klein				Smax=75						
Y/L		16	0,4	0,39	0,39	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,3	0,28	0,27	0,26	0,24	16
		15,2	0,41	0,4	0,4	0,39	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,3	0,28	0,27	0,25	0,24	15,2
		14,4	0,42	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	14,4
		13,6	0,43	0,43	0,42	0,41	0,4	0,39	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	13,6
		12,8	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,4	0,38	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	12,8
		12	0,45	0,45	0,45	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	12
		11,2	0,47	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,3	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	11,2
		10,4	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,4	0,37	0,35	0,32	0,3	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	10,4
		9,6	0,51	0,5	0,49	0,47	0,45	0,43	0,4	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,22	0,2	9,6
		8,8	0,53	0,52	0,51	0,49	0,46	0,43	0,4	0,37	0,34	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	8,8
		8	0,55	0,54	0,53	0,5	0,47	0,44	0,4	0,37	0,33	0,3	0,28	0,25	0,23	0,21	0,2	0,18	8
		7,2	0,58	0,57	0,55	0,52	0,48	0,44	0,4	0,36	0,32	0,29	0,26	0,24	0,22	0,2	0,18	0,17	7,2
		6,4	0,61	0,6	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,22	0,2	0,19	0,17	0,16	6,4
		5,6	0,64	0,63	0,6	0,55	0,5	0,44	0,38	0,34	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	5,6
		4,8	0,68	0,67	0,63	0,57	0,5	0,43	0,37	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	4,8
		4	0,73	0,71	0,66	0,58	0,49	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	4
		3,2	0,79	0,77	0,69	0,59	0,48	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	3,2
		2,4	0,86	0,83	0,73	0,58	0,44	0,34	0,27	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	2,4
		1,6	0,92	0,89	0,77	0,56	0,38	0,28	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	1,6
		0,8	0,98	0,96	0,84	0,48	0,29	0,22	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	0,09	0,8
		0	1	1	1	0,36	0,24	0,19	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	0,09	0
			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																	
		Diffractietabel type 2, B/L=4							Groot				Smax=75						
Y/L		80	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	80
		76	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	76
		72	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	72
		68	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,1	68
		64	0,2	0,2	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,1	64
		60	0,21	0,21	0,2	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	60
		56	0,21	0,21	0,21	0,2	0,2	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	56
		52	0,22	0,22	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,1	0,09	52
		48	0,23	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	48
		44	0,24	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	44
		40	0,25	0,25	0,24	0,23	0,21	0,2	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08	40
		36	0,27	0,26	0,25	0,23	0,22	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,1	0,1	0,09	0,08	0,07	36
		32	0,28	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	32
		28	0,3	0,29	0,27	0,25	0,22	0,19	0,17	0,14	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	28
		24	0,32	0,31	0,29	0,25	0,22	0,18	0,16	0,13	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	24
		20	0,36	0,34	0,3	0,25	0,21	0,17	0,14	0,12	0,1	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	20
		16	0,4	0,37	0,31	0,24	0,19	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	16
		12	0,45	0,41	0,31	0,22	0,17	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	12
		8	0,55	0,44	0,28	0,18	0,13	0,1	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	8
		4	0,73	0,41	0,19	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	4
		0	1	0,19	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0
			0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	
		X/L																	

99

BIJLAGE 3 HANDLEIDING REKENINSTRUMENT

NB: Deze handleiding is nog gebaseerd op de Excel 2000 versie van het rekeninstrument. Aangezien deze niet meer onderhouden wordt, maar vervangen wordt door een andere applicatie, is deze handleiding niet meer actueel en wordt afgeraden deze te gebruiken.

.....

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 eenvoudige 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 gebieden, beschreven eenvoudige 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 codes 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 optiescherm (zie ook paragraaf 3.5).

LET OP: Het is mogelijk dat de haven geen havendammen heeft. In dat geval kan het proces Diffractie uitgeschakeld worden ($K_d = 0$), tenzij er op basis van geometrische argumenten nog diffractiepunten zijn. 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 gedefiniëerde 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 optiescherm 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 (β) 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 richtingspreiding, 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 α en β ingevoerd worden. Er is geen informatie bekend over hoe de α en β 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. (d_m). 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

BIJLAGE 4 VOORBEELDEN GEAVANCEERDE METHODE

1 Inleiding

In deze bijlage worden twee voorbeelden uitgewerkt ten aanzien van de bepaling van golfrandvoorwaarden in uitgestrekte en complexe havengebieden met een geavanceerde methode. De beschouwde gebieden, IJmuiden en Europoort, zijn duidelijk te complex om met de eenvoudige methode te worden doorgerekend. Hierbij wordt opgemerkt, dat de geavanceerde methode per toepassing maatwerk is, dit in tegenstelling tot de eenvoudige methode waar een duidelijk stappenplan voor is opgesteld. In hoofdstuk D2 van deze bijlage wordt eerst ingegaan op de algemene kenmerken en specifieke problemen van de bepaling van golfrandvoorwaarden in relatief grote en complexe havengebieden. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3D de haven van IJmuiden behandeld en in hoofdstuk D4 het Europoortgebied. Op basis van deze voorbeelden kan niet worden geconcludeerd dat de geavanceerde methode alleen voor grote gebieden moet worden toegepast. Ook voor kleine havens kan de geometrie al gauw te complex worden om met de eenvoudige methode te worden doorgerekend.

2 Algemene kenmerken

2.1 Processen

In algemene zin bestaan grote complexe havengebieden uit grote havenbekkens die van zee zijn afgeschermd door golfbrekers, een diepe toegangseul en waar de primaire waterkeringen vaak achter relatief hoge voorlanden liggen. Door deze kenmerken moet voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden rekening worden gehouden met verschillende fysische processen.

De bepaling van de golfrandvoorwaarden in een havenbekken bestaat in het algemeen uit het transformeren van buitengaats golfcondities naar condities op relevante lokaties aan de teen van de primaire waterkering. Deze buitengaats golfcondities zijn vaak gegeven vlakbij de ingang van een havenbekken. De locaties en maatgevende golfcondities zijn vaak gespecificeerd in het Randvoorwaardenboek of op zogenaamde Hydra-K uitvoerpunten. Bij de transformatie van de golfcondities moet rekening worden gehouden met diverse effecten die hieronder globaal worden beschreven.

2.1.1 Golfbrekers

De golfbrekers bij de haveningang zullen afhankelijk van de waterstand golven reflecteren en deels transmittieren. De mate waarin dit gebeurt, hangt af van de kenmerken van de golfbreker, de kenmerken van de invallende golfcondities en de waterstand. In het afgeschermd deel van de haven direct achter de golfbrekers zullen de golfcondities bepaald worden door de hoeveelheid getransmitteerde golfenergie en de golven die door de opening tussen de golfbrekers de haven binnendringen en door diffractie-effecten

2.1.2 Toegangseulen

Grote havenbekkens worden ook gekenmerkt door de aanwezigheid van een verdiepte toegangseul om grote zeeschepen te kunnen toelaten in de haven. Hierdoor bestaan er gradiënten in de bodemligging waardoor met name de langere golfcomponenten door refractie-effecten afbuigen naar de ondiepere

delen voorin de haven. De aanname van een vlakke bodem, zoals wordt aangenomen in de eenvoudige methode, is hier duidelijk niet geldig.

2.1.3 Hoge voorlanden

In grote havengebieden liggen de primaire waterkeringen vaak achter relatief hoge voorlanden die alleen bij extreme condities onder water komen te staan. Dit betekent dat afhankelijk van de waterstand reflectie en transmissie bij de randen (kades) van de deels ondergelopen haventerreinen een rol speelt. Enerzijds zullen daar de golven energie en hoogte verliezen door bodemwrijving en brekende golven op ondiep water. Anderzijds kunnen ondergelopen haventerreinen bijdragen aan de golfgroei, hoewel deze bijdrage waarschijnlijk gelimiteerd is door de beperkte waterdiepte.

2.1.4 Wind

In grote havenbekkens zal lokale golfgroei een belangrijke rol spelen. Dit proces zal zeker bij maatgevende omstandigheden aan dominantie winnen naarmate het interessepunt verder van de haveningang afligt. Met name in complexe havenbekkens zullen twee-dimensionale effecten, zoals bovenwindse richtingsafhankelijke variaties in strijklengten, een rol spelen op de mate van golfgroei. In dit soort situaties zullen eenvoudige parameterisaties het al snel laten afweten, omdat de golfcondities dan bepaald wordt door bijdragen uit verschillende richtingen waarbij de effectieve strijklengte sterk varieert met de windrichting.

2.1.5 Golfdoordringing

In situaties waarbij lokale golfgroei een rol speelt, zal de relatieve bijdrage van golfdoordringing afnemen naarmate het interesspunt zich verder in het havenbekken bevindt. Op dit moment bestaat er nog geen rekenmodel waarin beide effecten tegelijk kunnen worden uitgerekend. Er bestaan wel modellen die òf de golfdoordringing goed kunnen uitrekenen ò modellen die de lokale golfgroei goed kunnen uitrekenen. De situatie kan als volgt worden samengevat; golfdoordringingsmodellen kunnen wel diffractie-effecten bepalen maar geen effecten van golfgroei door wind. Anderzijds kunnen golfgroeimodellen niet de effecten van diffractie verdisconteren, maar wel de effecten van lokale golfgroei door wind. In de praktijk betekent dit dat beide modellen moeten worden toegepast en de resultaten moeten worden gecombineerd. Een nadere beschrijving van het combineren van effecten van golfdoordringing en lokale golfgroei wordt beschreven in paragraaf 2.2.

2.1.6 Golfreflectie tegen kades

De randen van de havenbekkens bestaan veelal uit gedeeltelijk (partiël) reflecterende verticale kademuren, schuin oplopende bermen of vlakke stranden. Kade muren vormen hierbij vaak de zeewaartse begrenzing van hoge voorlanden. Voor de berekening van de golfcondities in de havenbekkens moet afhankelijk van de waterstand een reflectiecoëfficiënt worden aangenomen. Tot een bepaalde waterstand zullen golven tegen de kades reflecteren en binnen het havenbekken blijven, hierdoor kunnen zij mogelijk verder het havenbekken binnendringen. Bij hogere waterstanden kunnen kades en voorlanden onderwater lopen, waardoor golven vanuit het havenbekken gaan 'lekken' naar de ondergelopen haventerreinen. Modelmatig betekent dit dat de golfreflectie bij de kademuren afneemt en de transmissiecoëfficiënt toeneemt. Bij een verdere stijging van de waterstand zal de transmissie dan groter worden dan de reflectiecoëfficiënt. Het samenspel

van een stijgende waterstand en het onderlopen van haventerreinen zal dan eerst leiden tot een verlaging van de golfcondities in het havenbekken door 'lek' naar ondergelopen haventerreinen en bij een verdere stijging zullen de ondergelopen gebieden een significante bijdrage kunnen leveren aan de golfcondities in de haven en bij de waterkeringen.

2.1.7 Diffractie

Het belang van diffractie is in veel situaties van marginaal belang. Diffractie-effecten spelen met name een rol in de golfdoordringing in afgeschermd gebied vlak achter golfbrekers of bij hoeken in havenbekkens, de zogenaamde diffractiepunten. De extra bijdrage van diffractie is in absolute zin vaak gering, terwijl de relatieve bijdrage groot is. Effecten van diffractie worden minder van belang naarmate het golfveld meer richtingsgespreid is, naarmate de interessepunten volop in de wind liggen en naarmate ze verder weg liggen van de diffractiepunten. Afhankelijk van de situatie kan dan besloten worden om golfcondities alleen met een golfgroei model te laten bepalen.

2.1.8 Opwaaiing

In grote havenbekkens moet ook rekening worden gehouden met opwaaiing door wind. Voor de golfcondities in de diepere havenbekkens zal opwaaiing van ondergeschikt belang zijn. Door opwaaiing is het wel mogelijk dat bepaalde haventerreinen onder water komen te staan en daarbij kunnen bijdragen aan de golfbelasting bij de primaire waterkering. Voor de toetsing van bepaalde constructies, zoals sluizen achterin een haven, is opwaaiing een belangrijke toeslagfactor.

2.1.9 Waterstand

De waterstand in het havenbekken wordt ook bepaald door het getij en windopzet op zee. In ontwerpstudies wordt deze vaak bepaald op basis van een statistische analyse. Een hogere waterstand is van invloed op refractie, reflecties en de mogelijkheid van het onderlopen van haventerreinen.

2.1.10 Seiches

Seiches of havenresonanties zijn lang-periodieke slingeren, orde 5-20 minuten, van de waterstand waarvan de amplitude kan oplopen tot orde 1 m. De oorzaak van deze slingeren wordt vaak toegekend aan buitengaats effecten zoals golfgroepen of meteo-effecten. De mate van opslinging varieert per frequentie en is sterk afhankelijk van de locatie in het havenbekken. Tijdens een top van een seiches kunnen kortere windgolven tijdelijk verder doordringen in het havenbekken.

2.1.11 Golfdissipatie

In grote havenbekkens kunnen dissipatieve effecten door bodemwrijving een reducerende invloed hebben op de golfcondities bij de waterkering. Hoe dieper het water des te minder dit proces een rol zal spelen. In ondiepe delen van de haven, bijv. op ondergelopen haventerreinen, zal ook het breken van golven een reducerende invloed hebben op de golfcondities. Beide dissipatieve processen dienen dan ook meegenomen te worden in geavanceerde methoden.

2.2 Combinatie van bijdragen doordringing en lokale golfgroei.

Voor het bepalen van het gecombineerde effect van golfdoordringing en lokale golfgroei worden resultaten van twee type modellen gebruikt.

- Het eerste type model bestaat uit een golfvoortplantingsmodel dat de randvoorwaarden bij de haveningang transformeert naar alle locaties in de haven. In dit type model kan het effect van windgroei niet worden meegenomen.
- Het tweede type model bestaat uit een golfgroeimodel waarin de ontwikkeling (golfgroei) en voortplanting (doordringing) van golven worden meegenomen. Dit model wordt aan de rand aangestuurd met de zelfde golfrandvoorwaarden als het golfdoordringingsmodel. Om het effect van golfgroei te isoleren wordt het golfgroeimodel ook een keer gedraaid met de wind uit maar met dezelfde golfrandvoorwaarden. Zoals eerder aangegeven worden in deze modelberekening effecten van diffractie niet meegenomen.

In beide type berekeningen worden andere fysische processen, zoals reflectie, dissipatie en stroming, wel meegenomen.

Voor het isoleren en combineren van effecten van golfdoordringing en lokale golfgroei wordt gebruik gemaakt van de energie (variantie) van het golfveld. De totale (T) energie van een golfveld bestaat hierbij uit een bijdrage van de golfdoordringing (D) en een bijdrage van de golfgroei (G).

$$E_T = E_D + E_G \quad (1)$$

Een veel gebruikte methode is om beide bijdragen af te schatten door het uitvoeren van verschillende soorten modelberekeningen.

In de eerste berekening wordt het golfdoordringingsmodel gedraaid en wordt de energie $E_{D,1}$ berekend, waarbij het cijfer het volgnummer van de berekening aangeeft. Dit kan worden weergegeven als:

$$E_T^{(1)} = E_D^{(1)} \quad (2)$$

In de tweede berekening wordt het golfgroeimodel gedraaid, en krijgen we zowel een bijdrage van golfdoordringing als een bijdrage van golfgroei:

$$E_T^{(2)} = E_D^{(2)} + E_G^{(2)} \quad (3)$$

In de derde stap wordt het golfgroeimodel gedraaid zonder wind, maar wel met dezelfde golfrandvoorwaarde als bij de eerste twee berekeningen. Op deze wijze wordt de doordringing met het golfgroeimodel berekend.

$$E_T^{(3)} = E_D^{(3)} \quad (4)$$

Vervolgens wordt aangenomen dat $E_D^{(2)} = E_D^{(3)}$; dit betekent dat de mate van golfdoordringing niet beïnvloed wordt door lokale golfgroei. De bijdrage van lokale golfgroei in de haven worden bepaald als:

$$E_G^{(2)} = E_T^{(2)} - E_D^{(3)} \quad (5)$$

Als laatste stap wordt aangenomen dat de lokale golfgroei niet beïnvloed is door de mate van golfdoordringing en kan de totale gecombineerde golfconditie worden berekend als

$$\begin{aligned} E_T &= E_D^{(1)} + E_G^{(2)} \\ &= E_D^{(1)} + (E_T^{(2)} - E_D^{(3)}) \end{aligned} \quad (6)$$

Deze energie beschouwing kan ook gebruikt om de gecombineerde significante golfhoogte H_{m0} en spectrale periodematen, zoals de $T_{m-1,0}$, uit te rekenen. Hierbij wordt dan gebruik gemaakt van de spectrale momenten m_0 en m_{-1} van het golfspectrum.

De significante golfhoogte H_{m0} en de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ zijn als volgt gedefiniëerd:

$$\begin{aligned} H_{m0} &= 4\sqrt{m_0} \\ T_{m-1,0} &= \frac{m_{-1}}{m_0} \end{aligned} \quad (7)$$

Hieruit volgt dat de momenten m_0 en m_{-1} ook kunnen worden uitgedrukt in een golfhoogte en golfperiode

$$\begin{aligned} m_0 &= \frac{1}{16} H_{m0}^2 \\ m_{-1} &= \frac{1}{16} H_{m0}^2 T_{m-1,0} \end{aligned} \quad (8)$$

Combinatie van de vergelijkingen (6) en (8) leidt dan tot relaties hoe de gecombineerde significante golfhoogte H_{m0} en de spectrale periode $T_{m-1,0}$ kunnen worden uitgerekend op basis van de 3 types berekeningen, die worden aangeduid met (1), (2) en (3).

$$\begin{aligned} H_{m0,T} &= \sqrt{H_{m0(1)}^2 + (H_{m0(2)}^2 - H_{m0(3)}^2)} \\ T_{m-1,0,T} &= \frac{H_{m0(1)}^2 T_{m-1,0(1)} + (H_{m0(2)}^2 T_{m-1,0(2)} - H_{m0(3)}^2 T_{m-1,0(3)})}{H_{m0,T}^2} \end{aligned} \quad (9)$$

Het bepalen van het gecombineerde effect van golfdoordringing en lokale golfgroei vereist dus het uitvoeren van 3 modelberekeningen met 2 type modellen. Tevens worden in deze aanpak twee aannames gedaan. Ten eerste dat de mate van doordringing in het doordringingsmodel onafhankelijk is van windgroei. Ten tweede dat de mate van golfgroei in het golfgroeimodel onafhankelijk is van de mate van golfdoordringing. Opgemerkt wordt dat deze twee aannames niet geverifieerd zijn. Evenzo kan gesteld worden dat in de eenvoudige methode ook een aantal aannames worden gedaan die niet

geverifieerd zijn, zoals de aanname dat de golfdoordringing op basis van de diffractie niet beïnvloed wordt door lokale windgroei.

2.3 Modellen

In Nederland zijn diverse modellen beschikbaar voor de berekening van waterstanden, opwaaiing, golfdoordringing en lokale golfgroei.

2.3.1 Waterstanden

De waterstanden langs de Nederlandse kust kunnen worden berekend met het Delft3D stromingsmodel. Op Noordzee schaal wordt daarbij gebruik gemaakt van de CSM implementatie en langs de kust van de Kuststrook implementatie. Deze modellen nemen dan de effecten van astronomische componenten en windopzet mee. Voor ondiep water toepassingen kan het Delft3D model gekoppeld worden met het SWAN golvenmodel om ook de bijdrage van golven aan de opzet mee te nemen. Daarnaast kan ook gebruik gemaakt worden van het WAQUA model en Mike-21 van DHI (Danish Hydraulic Institute). Svašek Hydraulics maakt gebruik van het stromingsmodel FINEL2D gecombineerd met SWAN. Er wordt gerekend met het European Continental Shelf Model met lokaal verfijning waar nodig. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt voor de bepaling van de gecombineerde waterstand-golfstatistiek op offshore locaties door middel van langdurige hindcast berekeningen.

2.3.2 Opwaaiing

In grote havenbekkens kan door wind opwaaiing ontstaan. Hierbij zorgt de wind voor een extra waterstandsverhoging in het havenbekken. In het havenbekken van IJmuiden kan windopzet voor westelijke winden al gauw enige tientallen cm omvatten. Voor de haven van IJmuiden is het Delft3D gebruikt om opwaaiing uit te rekenen. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen een stationaire berekening of een dynamische berekening. Alleen bij een stationaire berekening kan de bijdrage van opwaaiing expliciet worden bepaald terwijl die bij een dynamische berekening wordt meegenomen in de totale waterstand.

2.3.3 Golfdoordringing

De meest gebruikte golfdoordringingmodellen zijn de mild-slope modellen PHAROS en HARES. Het PHAROS model is ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium en is nu in beheer bij Deltares. Het HARES model is ontwikkeld door en in beheer bij Svašek Hydraulics.

Deze modellen bepalen voor een bepaalde frequentie een oplossing van de zogenaamde Helmholtz vergelijking. De randvoorwaarde van deze modellen bestaat uit een invallende mono-chromatische golf met een bepaalde frequentie en invalshoek. Om realistische golfcondities door te rekenen wordt het invallend golfveld opgesplitst in een aantal (spectrale) golfcomponenten. Vervolgens wordt voor elke component de doordringing uitgerekend en worden de resultaten lineair opgeteld waarbij de bijdrage van elke component gewogen wordt op basis van het bijbehorende golfspectrum.

Een ander type model betreft de tijddomein modellen zoals de Boussinesq modellen TRITON van Deltares en MIKE21-BS van het DHI. Een recent ontwikkeld model is het niet-hydrostatische SWASH model van TU Delft waarvoor momenteel ervaring wordt opgedaan om dit type problemen op te lossen. Tijddomein modellen berekenen de doordringing van een invallend

golfveld uit en geven als uitkomst de ruimte- en tijd variatie van het vrije wateroppervlak. Met behulp van een tijdreeksanalyse kunnen dan de golfcondities worden uitgerekend.

Tevens kan de golfdoordringing met fase-gemiddelde spectrale modellen berekend worden. Deze modellen berekenen de mate van golfdoordringing in termen van golfenergie als functie van frequentie en richting. Een veel gebruikt model is het SWAN model ontwikkeld door TU Delft. Een beperking van dit model is dat het diffractie-effecten niet mee kan nemen. Daar en tegen kan voor bepaalde omstandigheden, zoals een richtingsgespreid golfveld, een goede schatting van de mate van golfdoordringing verkregen worden, behalve voor sterk afgeschermd gebieden.

2.3.4 Golfgroei

Voor golfgroei en voortplanting in havenbekkens zijn fase-gemiddelde spectrale golfmodellen het geschiktst. Voorbeelden van dergelijke modellen zijn Mike21-SW van het DHI en het SWAN model van TU Delft. Spectrale golfmodellen worden aangedreven door wind. Vooral voor maatgevende omstandigheden met windsnelheden ruim boven de 25 m/s kan windgroei een significante bijdrage leveren aan de golfcondities in de grotere havenbekkens. Windgroei is ook belangrijk voor het bepalen van de golfcondities op zee om randvoorwaarden te leveren voor de toetsing van de primaire waterkeringen. Resultaten van dit soort berekeningen staan aan de basis van de waarden in het Hydraulische Randvoorwaardenboek en van Hydra-K. .

In het modelleren van golven in grote havenbekkens wordt nu nog vaak gebruik gemaakt van een constant windveld zonder enige variatie in snelheid. Indien een haven omgeven is door veel land, zoals bij IJmuiden en Europoort het geval is, zal de windsnelheid door ruwheidseffecten significant kunnen afnemen waardoor de uiteindelijke golfcondities lager kunnen uitpakken. De mate van reductie hangt ook af van de windrichting. Zo zal voor IJmuiden de mate van windreductie voor noordwestelijke winden significant zijn, terwijl die waarschijnlijk gering is voor pal westelijke winden. Op dit moment is er nog weinig ervaring (en dus vertrouwen) in het toepassen van reductiefactoren voor windsnelheid in havenbekkens.

2.3.5 Seiches

Seiches zijn havenoscillaties met periodes in de orde van minuten. Dergelijke golven kunnen amplitudes in de orde van 1 m bereiken. Zij zijn vooral gevaarlijk voor afgemeerde schepen, omdat de met seiches geassocieerde stromingen aanleiding kunnen geven tot sterke scheepsbewegingen waardoor de afmeerkabels kunnen breken. Ook kunnen tijdens de top van een seiche, kortere windgolven 'meeliften' waardoor zij verder het havenbekken kunnen binnendringen.

2.4 Kenmerken modellen

In complexe havengebieden spelen vele processen een rol. Het is daarom van groot belang om per toepassing te bepalen welke processen van belang zijn en dan het juiste model of combinatie van modellen te kiezen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste modellen en de processen die zij wel (✓) of niet (-) kunnen meenemen. Daarnaast speelt bij de keuze van een model ook de benodigde rekeninspanning een rol, daar is echter geen algemene uitspraak over te doen.

Model/Proces	Delft3D/FINEL	PHAROS/HARES	SWAN	SWASH
Golfgroei	-	-	√	-
Windopzet	√	-	-	√
Refractie	-	√	√	√
Reflectie	√	√	√	√
DiffRACTie	-	√	-	√
Transmissie	√	√	√	√
Golfdissipatie	-	√	√	√
Stromingen	√	-	-	√
Golf-stroom interactie	-	√	√	√

Tabel 2.1: Overzicht van de fysische processen die in de verschillende modellen worden meegenomen.

3 IJmuiden

3.1 Inleiding

De haven van IJmuiden is een grote zeehaven die bestaat uit een grote havenkom met diverse kleinere zijhavens. De havenmond is afgeschermd door twee grote golfbrekers met elk een lengte van ruim 1 km. Aan de oostzijde van de haven bevindt zich een groot gemaal en een sluisencomplex. Midden in het havenbekken bevindt zich het Forteiland, een restant van een oude verdedigingslinie, toen de haven nog veel kleiner was. Een overzicht van de haven van IJmuiden is gegeven in figuur 3.1. De rode lijnen geven de locatie van de primaire waterkering aan. Zoals te zien is, ligt deze kering op veel plaatsen achter relatief hoge voorlanden. Het gele blok geeft de positie aan van een beoogde Nieuwe Zeesluis.



Figuur 3.1: De Buitenhaven van IJmuiden (maart 2012, bron Google Earth). De toekomstige locatie van de Nieuwe Zeesluis is aangegeven in geel. De rode lijn geeft de primaire waterkering (bron: Deltares, [26]).

Voor de haven van IJmuiden is door Alkyon en Deltares [27] een modelinstrumentarium opgezet om hydro-dynamische berekeningen te maken ten behoeve van ontwerpdoeleinden en om effecten van ingrepen in de havenschematie te bepalen. Inzicht in de bepaling van effecten van ingrepen in

de geometrie van het havenbekken is van belang om te controleren of omliggende waterkeringen en constructie al of niet nadelig beïnvloed worden. Dit modelinstrumentarium bestaat uit 3 modellen: Delft3D, PHAROS en SWAN.

Voor deze bijlage zal de toepassing van het modelinstrumentarium voor het ontwerp van de Nieuwe Zeesluis worden toegelicht. Materiaal voor deze toelichting is primair afkomstig uit BMT ARGOS [28].

3.2 Achtergrond studie

Binnen het kader van het project Zeetoegang IJmond wordt de bouw voorbereid van een nieuwe zeesluis bij IJmuiden, zie figuur 3.1. Voor het ontwerp van deze nieuwe zeesluis moesten ontwerpcondities worden afgeleid voor maatgevende omstandigheden.

Voor de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden is in deze studie gebruik gemaakt van de volgende modelresultaten:

1. Delft3D voor de bepaling van de windopzet in het havenbekken;
2. PHAROS voor de bepaling van de mate van golfdoordringing;
3. SWAN voor de bepaling van de windgroei in de haven.

Voor de toepassing van deze modellen zijn eerst de wind, golf- en waterstandsrandvoorwaarden afgeleid op basis van statistische analyses. Deze randvoorwaarden zijn gegeven voor de condities die gemiddeld eens in de 10,000 jaar voorkomen. In deze bijlage wordt verder niet ingegaan op de bepaling van deze randvoorwaarden. Voor deze studie was het echter van belang dat windsnelheid, waterstand en Noordzee golfcondities richtingsafhankelijk zijn gegeven.

Vervolgens is het modelinstrumentarium toegepast voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden bij de haveningang; het bepalen van de mate van golfdoordringing in de haven; en het bepalen van de effecten van lokale golfgroei. Ten slotte wordt aangegeven hoe de effecten van golfdoordringing en golfgroei zijn gecombineerd. Opgemerkt wordt dat in de BMTA studie geen PHAROS berekeningen zijn uitgevoerd maar dat gebruik gemaakt is van resultaten uit eerdere berekeningen van DHV [29] en [30]. Ook is in eerdere studies de mate van opwaaiing in het havenbekken bepaald met het Delft3D model.

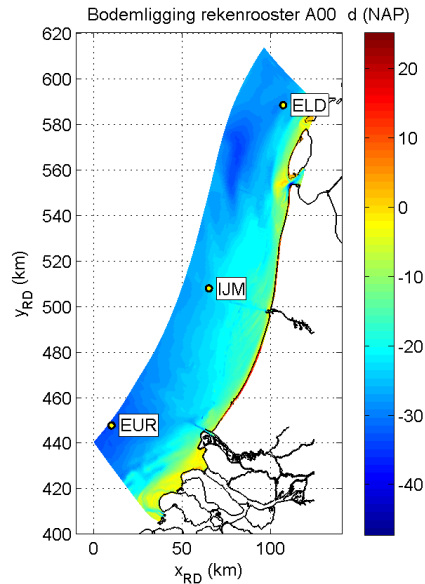
3.3 Bepaling golfrandvoorwaarden bij de havenmonding

Een belangrijk onderdeel van deze studie was de bepaling van zeewaartse golfrandvoorwaarden bij de haveningang, windsnelheden en waterstanden voor de westelijke windrichtingen 240°N, 270°N, 300°N en 330°N. De golfrandvoorwaarden zijn echter niet gegeven bij de monding van de haven, maar bij de boeilocaties EUR, IJM en ELD. Daarom is in deze studie gebruik gemaakt van een drie-tal SWAN rekenroosters om de golfrandvoorwaarden naar de havenmonding te vertalen.

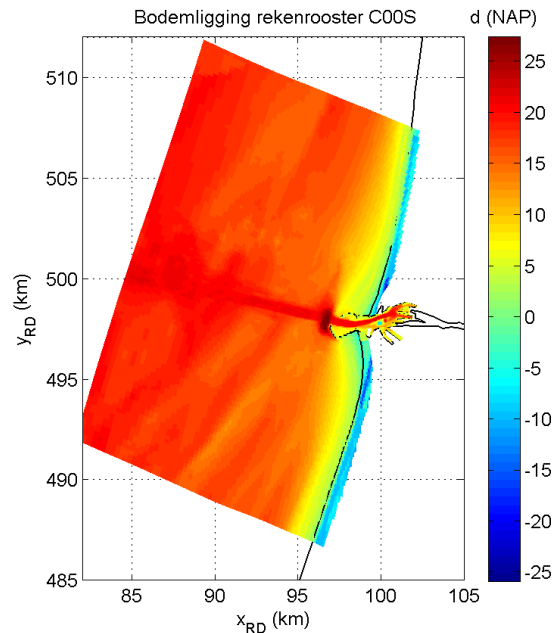
Het modelinstrumentarium voor de SWAN modellering bestaat uit 3 in elkaar geneste rekenroosters; A00, C00 en D01. De roosters hebben een toenemende ruimtelijke resolutie om zo stapsgewijs de haven van IJmuiden steeds nauwkeuriger te kunnen weergeven. Het A00-rooster omvat een deel van de Noordzee langs de Nederlandse kust; hierin genest ligt het C00-rooster waarin het gebied rondom de toegangseul naar IJmuiden nauwkeuriger wordt

weergegeven. Voor de berekeningen in de haven is het D01-rooster gebruikt als basis voor het uiteindelijk gebruikte D02 rooster.

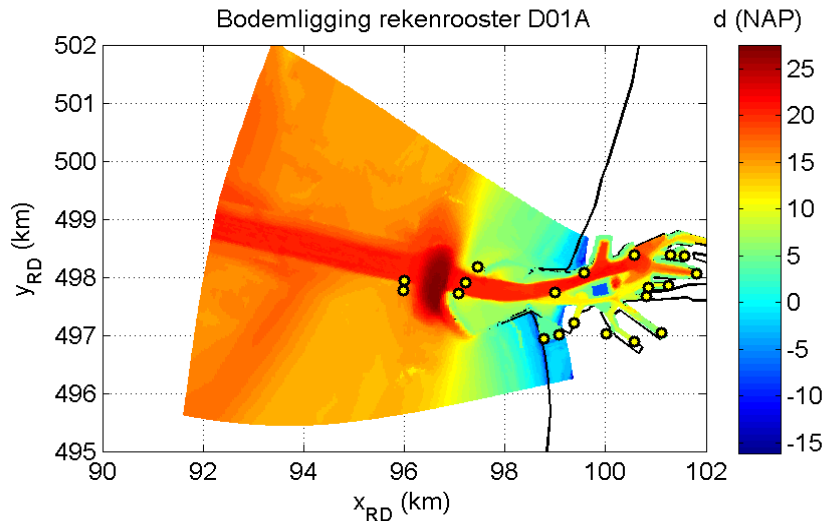
De bodemliggingen van de SWAN rekenroosters A00, C00 en D01 zijn weergegeven in de figuren 3.2 tot en met 3.4. Hierin zijn de dieptes in kleur weergegeven op de roosterpunten. In figuur 3.2 zijn ook de boeilocaties ELD, IJM en EUR weergegeven.



Figuur 3.2: Bodemligging op roosterpunten van rekenrooster A00 en locatie meetboeien



Figuur 3.3: Bodemligging op roosterpunten van rekenrooster C00



Figuur 3.4: Bodemligging op roosterpunten van rekenrooster D01 en uitvoerpunten in en net buiten de haven van IJmuiden.

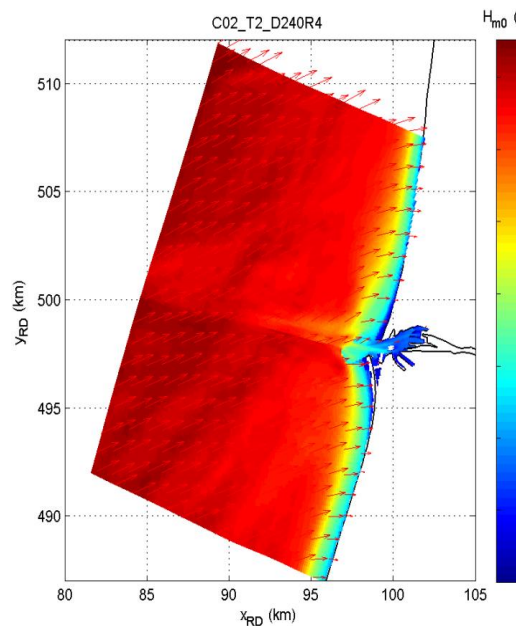
De golfrandvoorwaarden bij de haveningang zijn bepaald voor een matrix van windrichtingen 240°, 270°, 300°, en 330° en terugkeerperiodes van 1%, 1/1jaar, 1/10 jaar, 1/ 100 jaar, 1/500 jaar, 1/ 1000 jaar en de ontwerpconditie van 1/10000 jaar. Andere windrichtingen zijn niet meegenomen, omdat de haven van IJmuiden op het westen is gericht. Voor andere havens kan de oriëntatie aanleiding geven om andere windrichtingen te beschouwen.

Ter illustratie geeft tabel 3.1 een overzicht van de golf, wind en waterstandscondities voor 1/1 jaar en 1/10000 jaar condities. Alle andere condities zijn gegeven in Tabel 3.1 van BMTA (2014). De golfrandvoorwaarden behorend bij de meetstations zijn op de randen van het A00 rooster opgelegd.

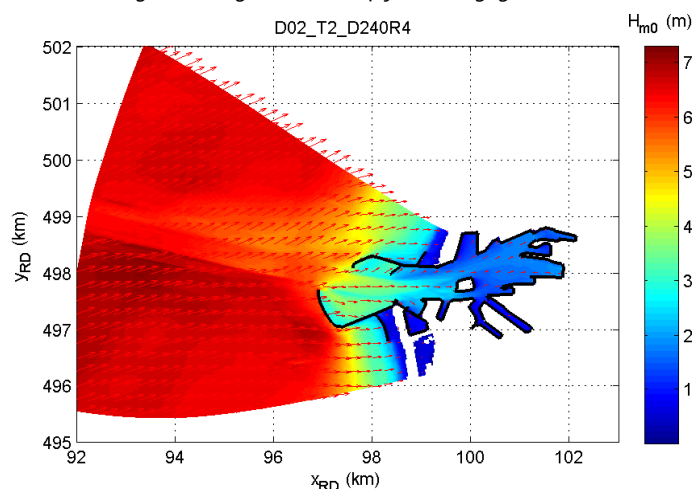
		EUR	EUR	IJM	IJM	ELD	ELD	(IJM)
Sector	U10	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	waterstand
[°N]	[m/s]	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]	[m +NAP]
1/1 jaar condities								
240°	18.3	3.54	7.93	3.49	8.38	3.08	7.88	1.83
270°	18.2	3.53	8.04	3.92	8.90	3.92	8.75	1.92
300°	16.1	3.86	8.42	3.91	9.42	3.49	8.74	1.92
330°	15.0	3.49	8.39	3.87	9.49	3.52	9.26	1.91
1/10000 jaar								
240°	35.5	7.1	11.26	7.86	14.26	7.98	13.18	3.84
270°	36.9	7.27	11.37	7.91	14.67	8.99	14.64	3.89
300°	35.7	7.45	12.38	8.35	15.80	9.19	15.95	4.27
330°	30.4	7.66	12.90	8.88	16.68	9.03	16.20	4.80

Tabel 3.1: Golfrandvoorwaarden, windsnelheden en waterstanden als functie van terugkeertijd en windrichting.

Het resultaat van deze SWAN berekeningen bestaat uit golfcondities op alle rekenrooster en op uitvoerpunten nabij de havenmonding. Deze laatste set uitkomsten zijn gebruikt als randvoorwaarde voor de golfdoordringings berekeningen met het PHAROS model. De berekeningen op het fijnste D01 rooster kunnen dan beschouwd worden als golfdoordringing en golfgroei berekeningen conform stap 2 zoals beschreven in paragraaf 2.2. De resultaten van deze berekeningen worden later gecombineerd met de resultaten van het PHAROS model. Voorbeelden van de met SWAN berekende significante golfhoogte op het C02 en D01 rooster voor een windrichting van 240° zijn gegeven in de figuren 3.5 en 3.6.



Figuur 3.5: Ruimtelijke variatie significante golfhoogte op rekenrooster C02 voor een windrichting van 240° en een terugkeertijd van 100 jaar. De gemiddelde golfrichting is met rode pijlen weergegeven.

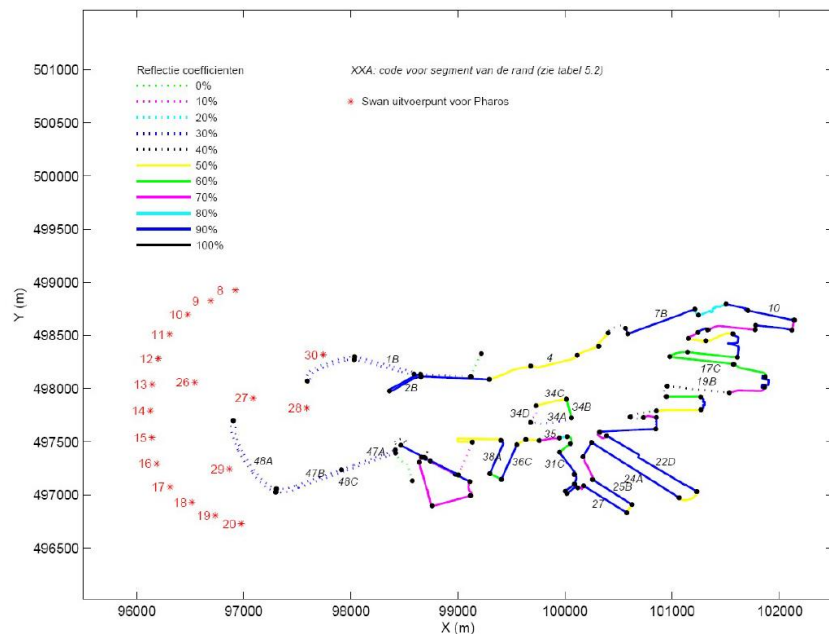


Figuur 3.6: Ruimtelijke variatie significante golfhoogte op rekenrooster D02 voor een windrichting van 240° en een terugkeertijd van 100 jaar. De gemiddelde golfrichting is met rode pijlen weergegeven.

3.4 Golfdoordringing met het PHAROS model

Voor de haven van IJmuiden zijn door DHV (2011) PHAROS berekeningen uitgevoerd om de mate van golfdoordringing in het havenbekken uit te rekenen. Het rekenrooster voor PHAROS bestaat uit een ongestructureerd rooster bestaande uit driehoekige elementen. Omtrek en randen van het PHAROS rekenrooster zijn schematisch weergegeven in figuur 3.7.

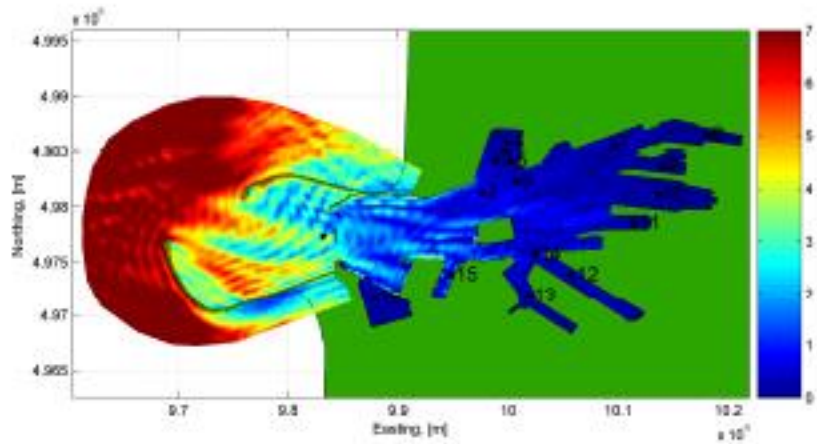
De golfrandvoorwaarden voor het PHAROS model worden verkregen op uitvoerpunten in het D01 SWAN rekenrooster. Deze punten zijn in figuur 3.7 weergegeven als rode punten op een halve cirkel. Verder zijn in deze figuur de gedeeltelijk transmitterende golfbrekers weergegeven als een zwarte streepjeslijn. Verder zijn voor alle kades in het havengebied de reflectiecoëfficiënten weergegeven. Het verkrijgen van deze coëfficiënten vereist per haven een grondige analyse van alle rekenranden.



Figuur 3.7 Schematisatie van de PHAROS randen in de haven van IJmuiden.

De bodemligging van het PHAROS rooster moet om consistentieredenen dezelfde bron hebben als die van het SWAN model dat voor de golfgroei en golfvoortplanting wordt gebruikt. Omdat de rekenroosters onderling verschillen, kromlijng voor SWAN en driehoekig voor PHAROS, kunnen er kleine verschillen bestaan.

Het PHAROS model wordt op de rand aangestuurd door golfcondities die zijn afgeleid uit de SWAN berekeningen op het D01 rooster. Deze condities zijn gegeven als een golfspectrum, maar kunnen ook vereenvoudigd worden tot een significante golfhoogte H_{m0} en een golfperiode maat zoals de piekperiode T_p of de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$. In beide gevallen zal een PHAROS berekening bestaan uit het draaien van een groot aantal combinaties van frequenties en richtingen om de bijdragen van alle componenten goed te kunnen uitrekenen. Figuur 3.8 toont een voorbeeld van een PHAROS berekening voor een 1 op 10000 jaar conditie met een invallende golfrichting van 270° .

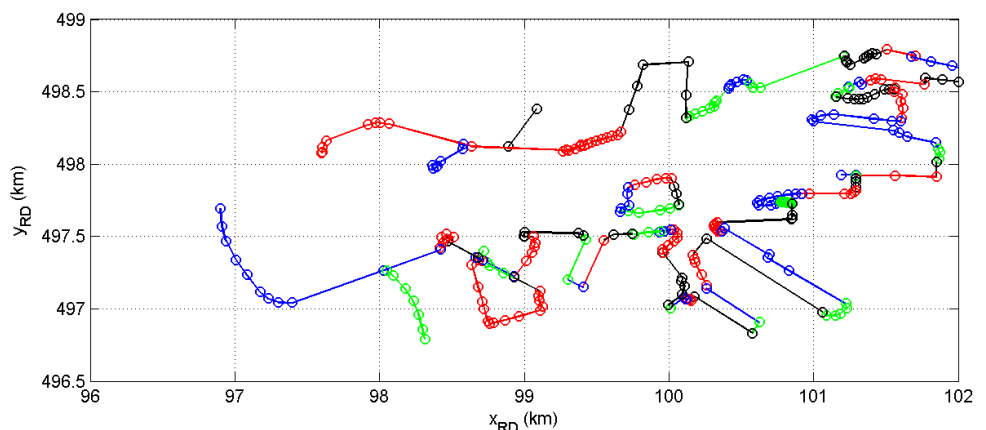


Figuur 3.8: Voorbeeld van het resultaat van een PHAROS berekening, (Bron: DHV, 2011, conditie R05a)

3.5 Golfdoordringing en golfgroei met het SWAN model

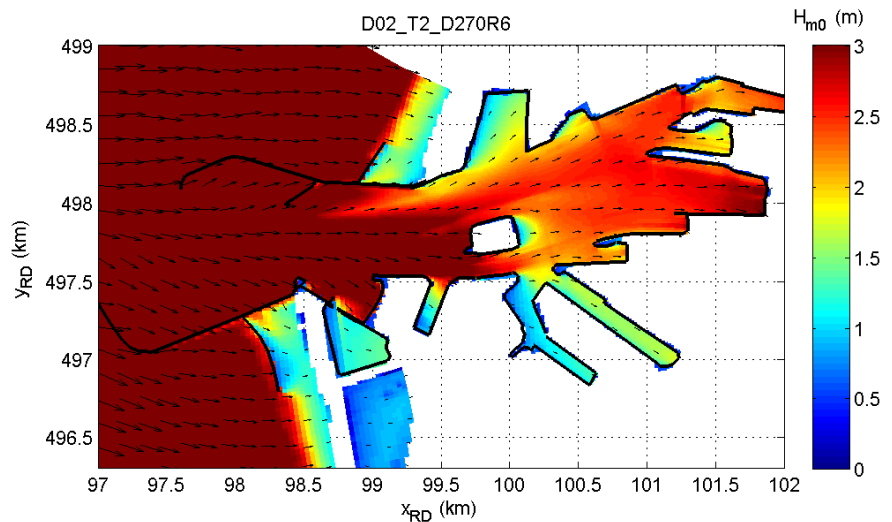
Voor de berekening van de golfcondities in de haven van IJmuiden zijn SWAN berekeningen uitgevoerd op een aangepast D01 rooster. Voor de beoogde Nieuwe Zeesluis zijn daarvoor aanpassingen aan de geometrie doorgevoerd. Ook is het kromlijnige rekenrooster uitgebreid om de effecten van golfgroei op de buitendijkse gebieden te kunnen meenemen. Net als bij het PHAROS model moeten alle kades een reflectiecoëfficiënt hebben. Figuur 3.10 toont alle kades die een bepaalde reflectiecoëfficiënt hebben. De afwisseling van kleuren geeft de sprong naar een andere reflectiecoëfficiënt aan.

Alle kades in het havenbekken hebben een reflectiecoëfficiënt die varieert van 60% tot 90% en een transmissiecoëfficiënt van 0%. Alleen de golfbrekers hebben een reflectie en transmissiecoëfficiënt groter dan 0%. Voor de waterstanden, waarbij enkele buitendijkse gebieden onder water komen te staan, zijn de reflectiecoëfficiënten van de bijbehorende kades op nul gezet waardoor golven van en naar de ondergelopen gebieden kunnen lopen. De transmissiecoëfficiënt van de golfbrekers neemt toe voor oplopende waterstanden.



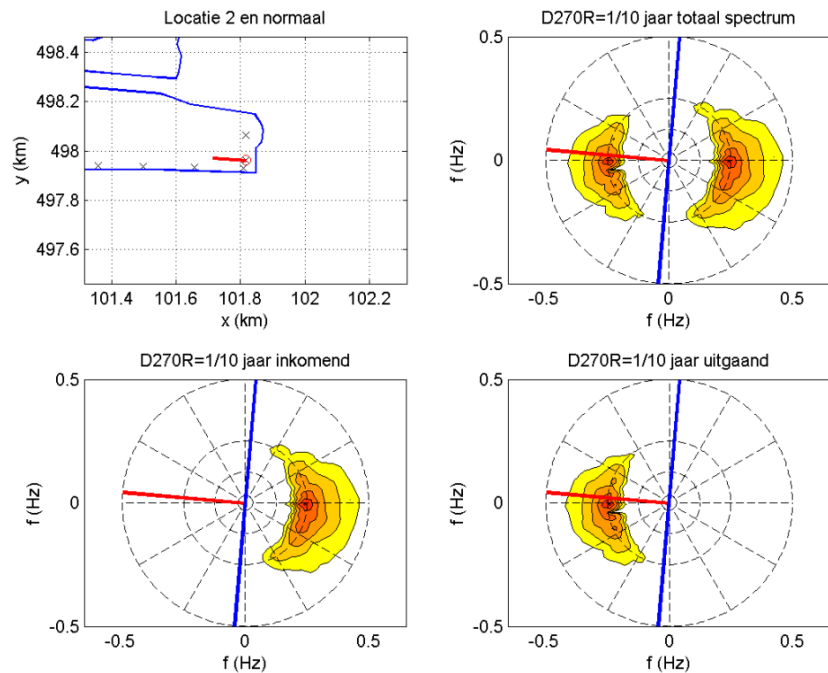
Figuur 3.10: Obstakellijnen van de golfbrekers, het Forteiland, de Nieuwe Zeesluis en alle andere kades.

Figuur 3.11 toont de ruimtelijke variatie van de significante golfhoogte op het aangepaste rekenrooster D02 voor een windrichting van 270° en een terugkeertijd van 10,000 jaar. In deze figuur is duidelijk te zien dat de golfhoogte sterk afneemt in het havenbekken, maar dat ten oosten van het Forteiland de golfhoogte weer gaat toenemen als gevolg van de sterke lokale wind. Dit resultaat suggereert dat bij de Nieuwe Zeesluis de bijdrage van de golfdoordringing te verwaarlozen is. Deze aanname wordt in de volgende paragraaf nader onderzocht.



Figuur 3.11: Ruimtelijke variatie van de significante golfhoogte voor een windrichting van 270° en een terugkeertijd van 10,000 jaar.

Als laatste stap in de bepaling van de maatgevende golfconditie bij de Nieuwe Zeesluis wordt gebruik gemaakt van de 2D-spectrale uitvoer van het SWAN model. Figuur 3.12 toont een voorbeeld van een berekend 2D-golfspectrum. Het 2D-spectrum is hierbij gevisualiseerd als een zogenaamde polair contourdiagram van de golfvariantie als functie van frequentie en richting. In deze figuur neemt de frequentie toe vanuit de oorsprong. De richting vanuit de oorsprong geeft de richting aan waarheen zich een golfcomponent voortplant. In deze figuur is duidelijk het invallende en het gereflecteerde deel te zien. Voor toepassing in ontwerpformule is echter alleen de invallende golfconditie nodig. Deze golfconditie wordt bepaald door eerst het spectrum te splitsen in een invallend en een gereflecteerd deel door een richting te kiezen die haaks staat op de normaal bij de Nieuwe Zeesluis. Deze normaal is in figuur 3.12 weergegeven met een rode lijn. Het benodigde eindresultaat wordt dan verkregen door de significante golfhoogte, spectrale golfperiode en gemiddelde golfrichting te bepalen op basis van het invallend deel van het golfspectrum.



Figuur 3.12: Principes van het splitsen van een 2D-golfspectrum in een invallend en een gereflecteerd deel voor locatie 2 direct voor de beoogde Nieuwe Zeesluis. Berekend voor de 1/100 jaar conditie en een windrichting van 270°N.

3.6 Bepaling gecombineerde golfconditie

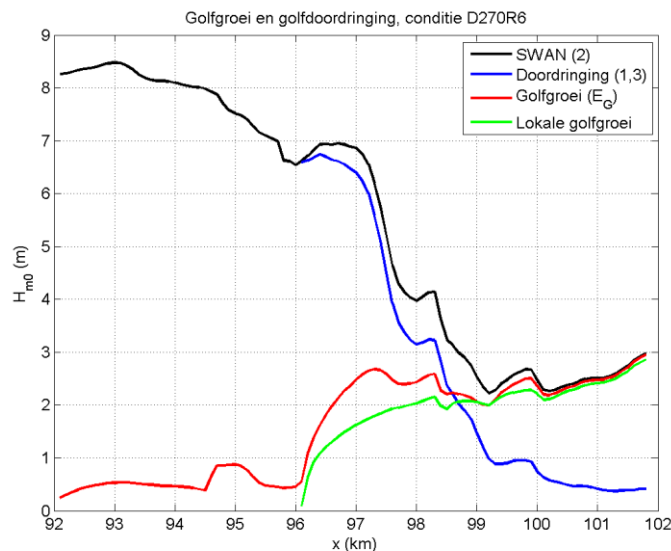
Om voor elke locatie in de haven van IJmuiden de gecombineerde golfconditie te bepalen, moet gebruik gemaakt worden van rekenresultaten van de PHAROS golfdoordringingsberekeningen en van de SWAN golfgroei en voortplantingsberekeningen. Vervolgens moet de methode uit paragraaf 2.2 worden toegepast om de gecombineerde significante golfhoogte H_{m0} en spectrale periode $T_{m-1,0}$ te krijgen.

Omdat het PHAROS rekenrooster kleiner is dan de SWAN D01 of D02 rekenroosters kan de methode uit paragraaf 2.2 niet zonder meer worden gevolgd door in de derde berekening (SWAN zonder wind) de wind in het hele rekendomein uit te zetten. Om een consistente aanpak te krijgen, is in de derde berekening alleen de wind op 0 m/s uitgezet in het gebied dat overeenkomt met het PHAROS rekendomein. Dit vereiste een relatief simpele ingreep in de aansturing van SWAN. In plaats van het opleggen van een constant windveld, met het SWAN commando INPUT WIND, moet nu een ruimtelijk variërend windveld worden opgelegd, waarbij de aanpassing bestaat uit het op 0 m/s zetten van de windsnelheidscomponenten op de roosterpunten die ook in het PHAROS rekendomein liggen.

Voor de IJmuiden schematisaties is het effect van deze aanpak weergegeven in figuur 3.13. Voor deze analyse is alleen gebruik gemaakt van resultaten van het SWAN model, waarbij wordt aangenomen dat de golfdoordringing zoals bepaald door SWAN representatief is voor de golfberekening uitgerekend met het PHAROS model.

De zwarte lijn geeft het resultaat van de SWAN berekening met wind. Hieruit volgt dat de golfhoogte eerst afneemt en voor locatie's met coördinaten $x > 100$ km weer langzaam toeneemt door windgroei. De blauwe lijn geeft de golfdoordringing volgens SWAN aan voor een berekening waarin de wind uitstaat in het PHAROS domein. Duidelijk is te zien dat aan het westelijke eind van het havenbekken de doorgedrongen golfhoogte erg klein is geworden. De geschatte bijdrage van golfgroei (EG, zie formule 5) is weergegeven met de rode lijn. Het verloop van deze lijn geeft aan dat aan het westelijke eind van de haven de geschatte lokale golfgroei nagenoeg gelijk is aan de totale golfhoogte (zwarte lijn). Ter controle is de windgroei in het havenbekken ook bepaald door de wind alleen in het PHAROS domein ($x > 96$ km) aan te zetten. Dit is weergegeven met een groene lijn. Voor $x > 100$ km blijken de doorgetrokken zwarte, , rode en groene lijn met elkaar samen te vallen, waardoor bevestigd wordt dat lokale golfgroei bij het sluizencomplex dominant is.

Op basis van deze constatering is ervoor gekozen om de golfrandvoorwaarden bij de Nieuwe Zeesluis volledig te baseren op de resultaten van de SWAN berekeningen.

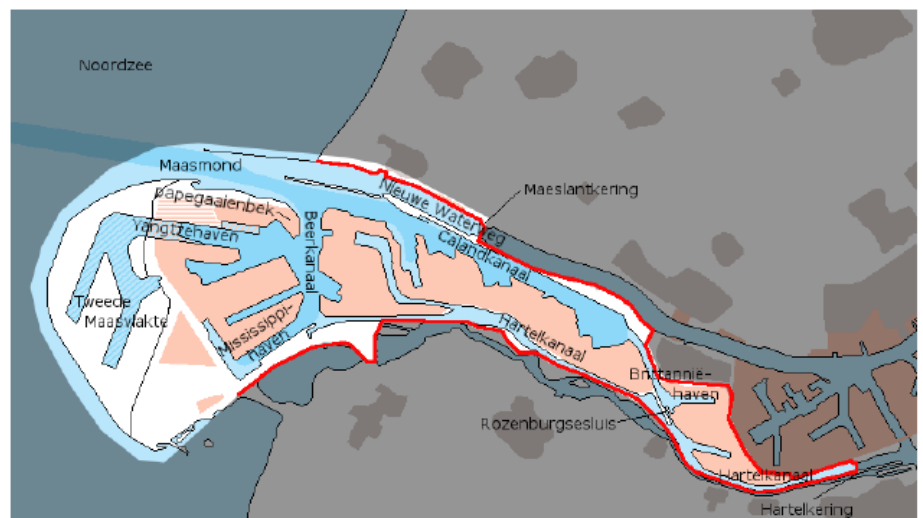


Figuur 3.13. West-oost variatie van de significante golfhoogte uitgesplitst naar doordringing en lokale golfgroei.

4 Europoort

4.1 Inleiding

Het Europoort gebied is een belangrijk deel van de haven van Rotterdam. Het is een complex gebied met een diepe toegangsgeul naar verschillende havenbekkens en enkele nauwe waterwegen zoals de Nieuwe Waterweg, het Calandkanaal, het Beerkanaal en het Hartelkanaal. Het gebied wordt aan oostelijke zijde begrensd door de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg en de Rozenburgsesluis in het Hartelkanaal. Een overzicht van het Europoortgebied is opgenomen in figuur 4.1 (Svašek, 2011).



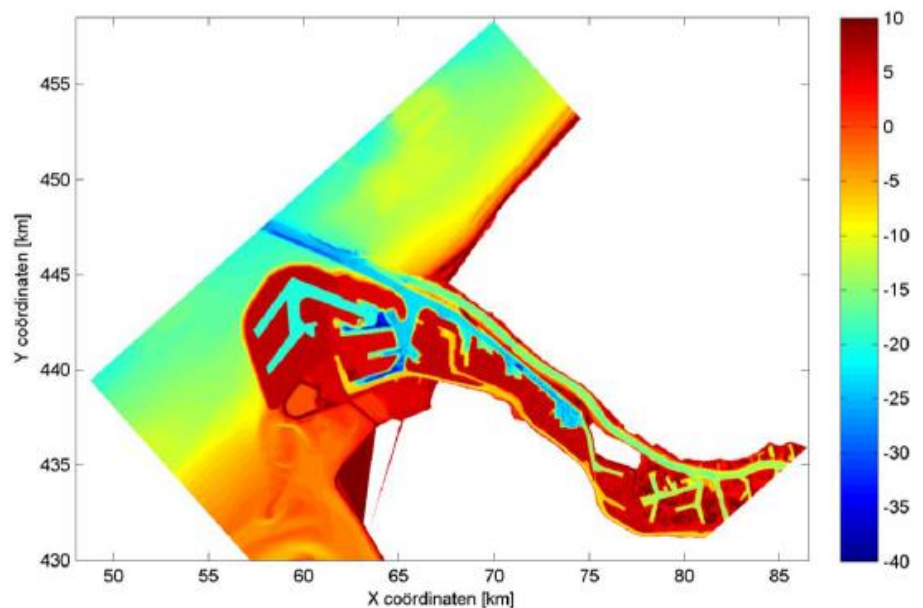
Figuur 4.1: Overzicht van het Europoortgebied. De rode lijnen geven de positie van de primaire waterkeringen aan (Bron, Svašek, 2011).

De golfcondities in het Europoortgebied worden nabij de havenmonding beïnvloed door effecten van golfdoordringing en lokale golfgroei, terwijl westelijk van het Beerkanaal lokale golfgroei dominant is. Door de geometrie van de havenbekkens en waterwegen is het gebied ook gevoelig voorn seiches. In deze bijlage wordt ingegaan op de bepaling van extreme deïningscondities in de Nijlhaven in het westelijk gebied nabij de monding van Europoort. Hierbij is gebruik van het doordringingsmodel HARES en het windgroei model SWAN.

4.2 Gebiedskenmerken

De bodemligging in het Europoort gebied is gegeven in figuur 4.2. Deze bodem is door Svašek [31] gegenereerd op basis van bodemgegevens uit verschillende bronnen. De complexiteit van het Europoortgebied is duidelijk af te lezen aan de grote verscheidenheid van geulen, smalle en bredere waterlopen en veel buitendijksegebieden die bij hoge ontwerpwaterstanden onder water kunnen staan. Voor noord-westelijke en noordelijke wind- en golfrichtingen zullen de golven een sterke invloed ondervinden van de Noorderdam. Omdat deze dam golven bij hoge (ontwerp) waterstanden deels doorlatend is, zal hier rekening gehouden moeten worden met partiële transmissie en extra lokale golfgroei. Door de aanwezigheid van diepe

toegangsgeulen zullen met name in de monding van Europoort variaties in bodemligging aanleiding geven tot het afbuigen van golfenergie door refractie. In het oostelijk deel van het Europoort zal lokale golfgroei dominant worden over de mate van golfdoordringing. Bovendien bestaan de wateren in dit deel van Europoort uit relatief smalle waterbekkens, die bij hoge waterstanden in verbinding kunnen staan met ondergelopen buitendijkse gebieden. Uit bovenstaande beschouwing volgt direct voor het Europoortgebied niet kan worden voldaan aan de voorwaarden voor toepassing van de eenvoudige methode.



Figuur 4.2: Bodemligging van het Europoort model.

4.3 Bepaling deiningscondities in de Nijlhaven

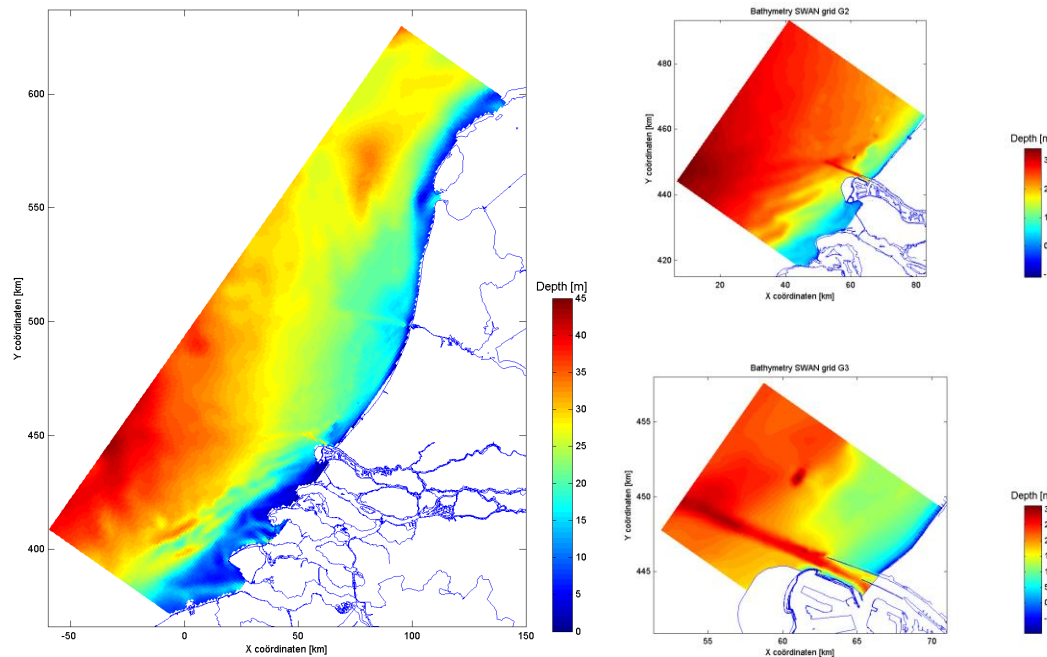
De Nijlhaven ligt direct aan de ingang van de Nieuwe Waterweg en wordt voor golven uit het noordwesten enkel beschermd door de Noorderdam. Deze dam heeft slechts een hoogte van NAP+2m, waardoor er bij extreme waterstanden een aanzienlijk deel van de golven over de dam de Nieuwe Waterweg inkomt.

In het hier beschreven voorbeeld moest een deiningsgolf bij Europlatform ($H_{E10} = 3,0$ m, $T=15$ s, $Dir=330^\circ N$) naar binnen worden gerekend met behulp van numerieke modellen HARES en SWAN. Hierbij is gerekend met een waterstand bij Hoek van Holland van NAP +3,0 m. De opzet van de modellen en de belangrijkste resultaten zijn overgenomen uit [32].

Gezien de geometrie van de geulen, dammen en kades rondom de Nijlhaven zullen effecten van refractie, reflectie, transmissie en diffractie hier een belangrijke rol spelen. Omdat de golfcondities uit lang-periodieke deiningsgolven bestaan, kunnen effecten van lokale golfgroei verwaarloosd worden. Dit betekent dat het toepassen van een golfdoordringingsmodel voor het binnengebied volstaat.

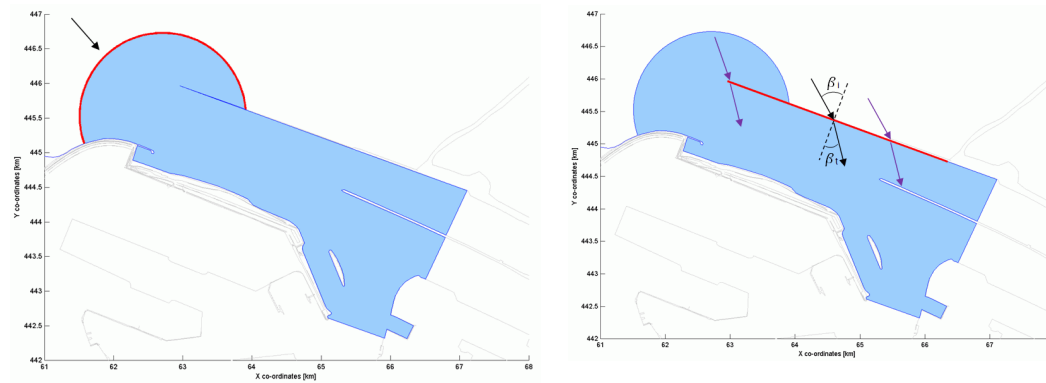
Voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden voor het HARES model is het SWAN model gebruikt. Hierbij zijn drie (geneste) modelgebieden gebruikt, van

grof naar fijn. Het eerste rooster beslaat het deel van de Noordzee langs de Nederlandse kust. Op dit model is vervolgens aangestuurd met wind en golfrandvoorwaarden zodanig dat door windgroei de vereiste golfcondities konden worden gereproduceerd bij het Euro-platform. Vervolgens zijn de resultaten in twee stappen verder verfijnt om bij de Noorderdam de golfcondities nauwkeurig te kunnen afleiden. De bodemligging en omvang van deze rekenroosters zijn in figuur 4.3 weergegeven.



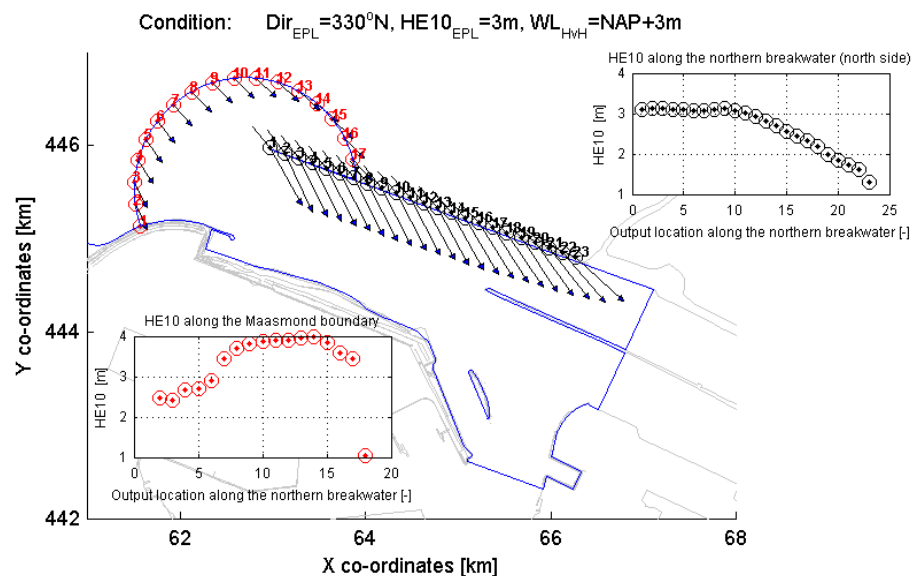
Figuur 4.3: Bodemligging in en bereik van de SWAN rekenroosters

Het fijnste model levert de golfrandvoorwaarden voor het HARES model. Voor de bepaling van de golfcondities in de Nijlhaven moeten zowel de effecten van golfdoordringing door de Maasmond als golftransmissie over de Noorderdam worden bepaald. Om dit nauwkeurig te kunnen doen, zijn twee twee afzonderlijke berekeningen met het HARES model uitgevoerd. In de eerste berekening komen de golven via de Maasmond het modelgebied binnen en in de tweede berekening komen de golven via transmissie over de Noorderdam het modelgebied binnen. Vervolgens zijn de resultaten van beide berekeningen gecombineerd op basis van energie beschouwingen. De omvang van het HARES rekenrooster en de positie van de rand waarop de golfaanvoorwaarden zijn gegeven, zijn weergegeven in figuur 4.4. De rode lijn geeft per schematisatie de golfrand van het HARES model weer.



Figuur 4.4: Overzicht HARES schematisaties. De rode lijnen geven de golfrand aan. Schematisatie voor golfdoordringing (links), schematisatie voor transmissie (rechts).

De SWAN resultaten voor de extreme deiningsconditie langs de beide HARES golfranden zijn weergegeven in figuur 4.5. Voor de golfdoordringingssom zijn de uitvoerpunten en de met berekende significante golfhoogte in rood aangegeven. Voor de transmissiesom zijn de met SWAN berekende significante golfhoogten aan de noordzijde van de Noorderdam met zwart aangegeven. Omdat het interessegebied de Nijlhaven betreft kan voor de bepaling van de representatieve golfconditie voor de Noorderdam alleen gekeken worden naar de SWAN uitvoerpunten 1 t/m 15. De golfconditie aan de buitenzijde van de Noorderdam is hier redelijk constant.

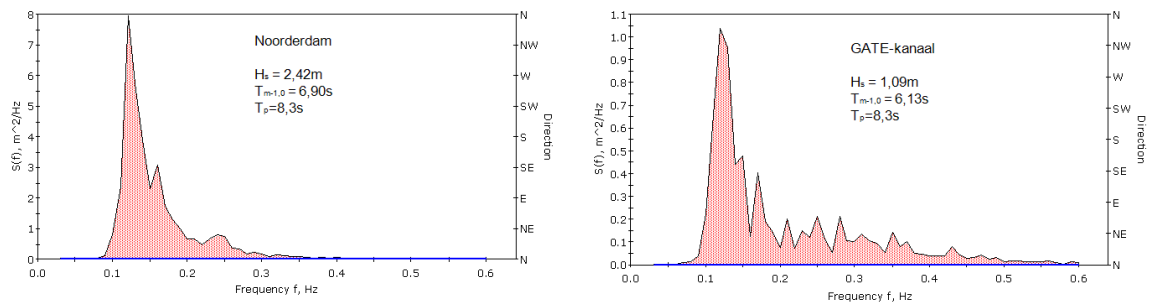


Figuur 4.5: Overzicht van de locatie en golfconditie HE10 op de SWAN uitvoerpunten langs de HARES golfmodelranden. Resultaten voor de havenmond zijn in rood weergegeven, en in zwart voor de Noorderdam.

Bij golftransmissie over havendammen veranderen zowel het golfspectrum als de golfrichting [32]. Om dit proces nader te parameteriseren voor de golftransmissie over de Noorderdam heeft Svašek Hydraulics in de winter van 2008/2009 aan beide kanten van de Noorderdam gedurende enkele maanden

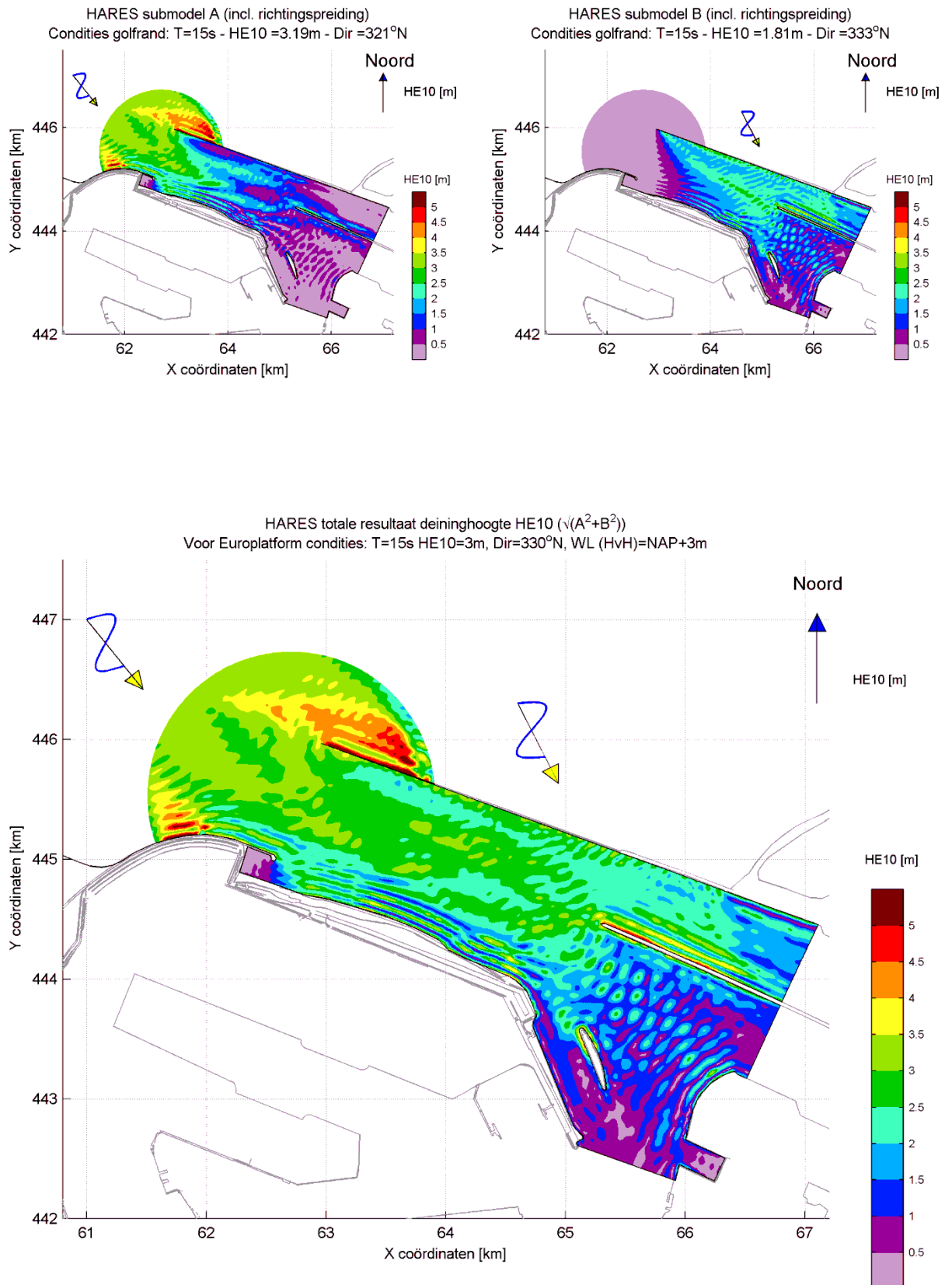
het golfklimaat gemeten met twee golfmeetboeien. De methode van d'Angremond – De Jong [33] bleek een goede methodiek voor de bepaling van de golftransmissie.

Een kenmerkend resultaat van deze meetcampagne is te zien in figuur 4.6. Hierin zijn voor de twee meetpunten aan weerszijden van de Noorderdam de frequentiespectra te zien voor 10 februari 2009 15:00 uur. De getransmitteerde golfspectra en hun richtingverandering zijn vervolgens gebruikt om de randvoorwaarden voor de HARES berekeningen te specificeren waarbij het golfveld per spectrale component is doorgerekend. Hierbij zijn effecten van richtingspreiding meegenomen.



Figuur 4.6: Golfspectra aan de noordzijde van de Noorderdam (links) en ten zuiden van de Noorderdam (rechts), gemeten op 10 februari 2009, 15:00 uur.

Op basis van de HARES berekeningen voor doordringing en golftransmissie is de totale golfdoordringing bij de Nijlhaven bepaald door het optellen van de golfvariantie per spectrale component. De resultaten in termen van significante golfhoogte voor de afzonderlijk modellen en voor het totaal resultaat zijn weergegeven in figuur 4.7.



Figuur 4.7: Ruimtelijke verdeling van de significante golfhoogte in de monding van Europoort berekend met het HARES model. Bijdrage van golfdoordringing (linksboven), bijdrage van golftransmissie over Noorderdam (rechtsboven). Gecombineerde golfhoogte verdeling (onder).

