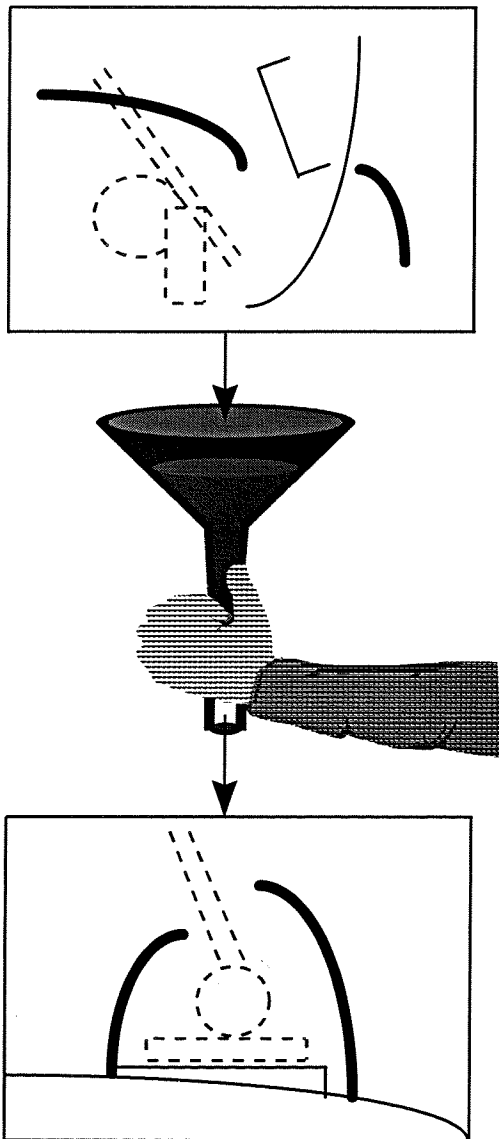


# Havenontwerp Systeem HADES

*Hulpmiddel om binnen korte tijd een ontwerp van de  
natte infrastructuur van een zeehaven globaal uit te werken*

---



Afstudeerwerk van G.P.Bos

TU Delft,  
subfaculteit der Civiele Techniek

Delft, Augustus 1998

# Havenontwerp Systeem HADES

*Hulpmiddel om binnen korte tijd een ontwerp van de  
natte infrastructuur van een zeehaven globaal uit te werken*

Afstudeerwerk van G.P.Bos

TU Delft,  
subfaculteit der Civiele Techniek

Delft, Augustus 1998

## **Havenontwerp Systeem HADES**

*Hulpmiddel om binnen korte tijd een ontwerp van de natte infrastructuur van een zeehaven globaal uit te werken.*

Afstudeerwerk van G.P.Bos

Afstudeercommissie:

Prof.Ir. H. Ligteringen	TU Delft
Ir. R. Groenveld	TU Delft
Dr.Ir. N. Booij	TU Delft
G. Toms, M.Sc.	wl   delft hydraulics

Aan:

Universiteit:	TU Delft
Faculteit:	Civiele techniek geowetenschappen
Subfaculteit:	Civiele techniek
Sectie:	Havens en scheepvaartwegen

Delft, Augustus 1998

# Voorwoord

Voor U ligt het rapport 'Havenontwerp Systeem HADES'. Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van het afstuderen van G.P.Bos. Dit afstuderen is gedaan bij de sectie 'Havens en scheepvaartwegen' aan de subfaculteit der Civiele Techniek, wat een onderdeel is van de Technische Universiteit in Delft.

Het ontwerpen van de natte infrastructuur van een haven kan veel tijd kosten en daarom heeft het bedrijf w/delft hydraulics tezamen met de TU Delft en Maritime Simulation Centre the Netherlands het initiatief genomen om een systeem te ontwikkelen waarmee dit ontwerpproces sneller doorlopen kan worden. Dit rapport vormt het eerste deel van de ontwikkeling van dat systeem.

De dagelijkse activiteiten gedurende de afstudeerperiode hebben plaatsgevonden in de gebouwen van w/delft hydraulics. Hierbij is gebruik gemaakt van faciliteiten die aldaar beschikbaar zijn gesteld. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan reproductiefaciliteiten, schriftelijke informatie en een computer. Verder hebben verscheidene werknemers mij mondeling van informatie en hulp voorzien. Voor het gebruik van deze faciliteiten en deze hulp ben ik zeer erkentelijk.

Graag wil ik op deze plaats mijn afstudeercommissie, bestaande uit prof. Ligteringen, dhr. Groenveld, dhr. Toms en dhr. Booij, bedanken voor de tijd die zij gebruikt hebben om mij te begeleiden en mijn rapport te beoordelen. Dit hebben zij gedaan ondanks dat zij vele andere drukke bezigheden hadden.

Niet in de laatste plaats wil ik op deze plaats nog enkele mensen mijn dank betuigen, die het mij mogelijk hebben gemaakt dit afstudeerwerk te produceren. Niet alleen jullie fysiek hulp heeft mij geholpen, ook de mentale steun heeft mij erdoor heen getrokken. Ik hoop jullie je niet teveel hebben gestoord aan mijn oneindig lang durende afstudeerverhalen en mijn bij tijden mindere humeur. Vanaf nu wordt het beter!

De mensen die ik in het bijzonder wil bedanken voor hun steun en begrip zijn in alfabetische volgorde: Aart, Angela, Auke, Bert, Ed, Gerard, Hedwig, Heiko, Jelle, Lillian, Machteld, Mariette, Marinka, Marjan, Mark, Neelke, Otto, Piet, Raimond en Tiny.

Peter Bos

Delft, Augustus 1998



# Samenvatting

Bij het ontwerpen van een haven spelen vele aspecten een rol en daardoor zijn er veel specialisten bij betrokken. Het afstemmen van de verschillende vakgebieden op elkaar is niet eenvoudig, waardoor optimalisatie van het uiteindelijke ontwerp moeilijk is. Het ontwerpproces is een cyclisch proces, waarbij continu verbeteringen aan de orde zijn. Terugkoppelen naar eerder (door anderen) genomen beslissingen kan echter moeilijk zijn, zodat het creëren van goede havenontwerpalternatieven een tijdrovende bezigheid is.

W|delft hydraulics heeft in samenwerking met de TU Delft en MSCN het initiatief genomen een systeem te ontwikkelen dat de verschillende aspecten integreert, zodat het ontwerpen van een haven meer gestructureerd aangepakt kan worden. Daarmee moet de tijd benodigd voor de ontwikkeling van een goed alternatief voor de natte infrastructuur van een zeehaven bekort worden. Dit systeem moet in de vorm van een computerprogramma aan gebruikers worden aangeboden.

In dit rapport is een eerste opzet gemaakt voor een dergelijk systeem. Het in dit rapport beschreven systeem wordt aangeduid met de naam HADES (HARbour DESign). HADES is geen computerprogramma, de nadruk ligt op de systematische aanpak van het creëren van ontwerpalternatieven.

## Plaats HADES in ontwerpproces

Het ontwerpproces van de natte infrastructuur van een zeehaven begint met een onderzoek naar de eisen, de criteria, de randvoorwaarden en het te gebruiken oplossingsprincipe.

Hierna wordt groot aantal alternatieve oplossingen op basis van expert kennis en creativiteit ontwikkeld. Na een eerste afweging, waarbij ongeveer 10 alternatieven overblijven, worden de oplossingen globaal uitgewerkt.

Bij het uitwerken van een alternatief worden eerst op basis van expert kennis en vuistregels dimensies aan de verschillende afzonderlijke onderdelen binnen het ontwerp gegeven. Het ontwerp wat daarmee ontstaat wordt hierna getoetst op de impact op de omgeving en op zichzelf met behulp van rapid assessment tools. Wanneer het ontwerp niet voldoet wordt het ontwerp aangepast en wederom gecontroleerd. Dit proces van controleren en aanpassen gaat door totdat een optimale haven lay-out is ontstaan.

Na een afweging worden de meest veelbelovende alternatieven (2 à 4 in aantal) met behulp van nauwkeuriger tools gecontroleerd. Het aantal beperkingen binnen deze berekeningen is kleiner, zodat zowel de rekentijd als de nauwkeurigheid van de resultaten groter is.

Na wederom een afweging wordt het meest veelbelovende alternatief gecontroleerd met behulp van zeer gedetailleerde computerprogramma's en fysische modellen.

HADES zal gebruikt worden in de fase waarin een groot aantal alternatieven globaal wordt uitgewerkt. Het aantal terugkoppelingen en het aantal alternatieven zorgt er voor dat deze fase veel tijd kost. Een gestructureerd systeem kan de snelheid van werken vergroten. Door nieuwe, snelle maar nauwkeurige, controletools te ontwikkelen en op te nemen in het HADES-systeem kan bewerkstelligt worden dat ook een deel van de gedetailleerde uitwerking door HADES overgenomen kan worden.

## Structuur HADES

Om tot een structuur voor HADES te komen is er eerst een studie gedaan naar de variabelen waar bij het ontwerp van de natte infrastructuur rekening mee moet worden gehouden. De verschillende variabelen zijn in veel gevallen afhankelijk van elkaar. De dimensies van een variabele kunnen dan niet bepaald worden, wanneer de dimensies van een andere variabele niet bekend zijn.

Het ontwerpproces zal binnen HADES op twee manieren verbeterd worden. Ten eerste wordt getracht het eerste ontwerp te verbeteren, zodat er in deze ontwerpfase minder iteraties plaats hoeven te hebben. Ten tweede worden de controleberekeningen nauwkeuriger uitgevoerd, zodat in vervolgfases het aantal iteraties beperkt kan blijven.

Het eerste ontwerp zal verbeterd worden door het ontwerp stap voor stap volgens een vast stramien in het systeem in te voeren. Met het overzicht van de afhankelijkheden is hiervoor een optimale volgorde bedacht, waarbij er geen variabele afhankelijk is van een later te bepalen variabele.

Het stappenplan bij het gebruik van HADES is nu de volgende: Er wordt begonnen met het invoeren van de randvoorwaarden, de eisen en de criteria. Hierna wordt een eerder bedacht oplossingsprincipe stap voor stap in het systeem ingevoerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van vuistregels die in het HADES-systeem zijn opgenomen. Direct aansluitend wordt gecontroleerd of alle afhankelijkheden daadwerkelijk in het ontwerp zijn opgenomen.

Hierna komt de gebruiker op een centrale plaats binnen het HADES-systeem van waaruit hij de verschillende nieuw te ontwikkelen controletools op kan starten. Na het controleren van het ontwerp op een bepaald aspect (kosten, golfindringing, sedimenttransport, nautiek, capaciteit, diepte) wordt teruggekoppeld naar de centrale plaats.

## **CHarON**

Er is in het kader van deze studie een tool ontwikkeld voor de bepaling van de golfhoogten in de haven, waarmee de golfbrekerconfiguratie geoptimaliseerd kan worden. Deze tool, die in de vorm van een computerprogramma aangeboden wordt, wordt aangeduid met de naam CHarON (Computerprogram for Harbour Oscillation).

De berekening van de golfhoogte in de haven als gevolg van de golven bij de ingang(en) van de haven geschiedt op basis van de theorie van Sommerfeld, waarmee diffractie en reflectie tegen wanden bepaald kan worden. Vanuit de ingang wordt rechtstreeks, of via een reflecterende wand de golfhoogte in een punt binnen de haven berekend.

Een vergelijking met het voor soortgelijke situaties te gebruiken programma DIFFRAC leert dat de beide berekeningsmethoden soortgelijke resultaten geven. Ook de berekeningstijd is vergelijkbaar. Echter de tijd benodigd voor het invoeren of aanpassen van een specifieke situatie is kleiner bij het gebruik van CHarON dan bij DIFFRAC.

Voor praktische toepassing van CHarON in HADES dient het programma verder ontwikkeld te worden. Frequentiespreiding, richtingsspreiding en refractie zijn belangrijke verschijnselen voor de golfhoogte binnen een haven en deze verschijnselen kunnen niet meegenomen worden binnen CHarON. Verder is het programma nog niet geschikt om golfhoogten in bassins achter reflecterende wanden te berekenen.

## **Casestudies**

Het ontwikkelde HADES-systeem, inclusief de golfindringingstool CHarON, is getoetst met behulp van een tweetal casestudies.

De eerste case behelst een bestaande haven, die kampt met een golfindringingsprobleem. Door een verhoging in de bathymetrie vlak achter de golfbreker ontstaan door refractie te hoge golfhoogten bij de kades.

Met behulp van CHarON zijn een drietal alternatieve uitbreidingen van de golfbreker getoetst en volgens de resultaten die CHarON geeft, is een golfbrekeruitbreiding die juist de ondiepte achter de golfbreker afschermt de meest optimale.

In de tweede case dient een nieuwe haven ontworpen te worden. Voor deze containerhaven is één oplossingsprincipe uitgewerkt. Eerst is volgens het stappenplan en met behulp van vuistregels het

ontwerp stap voor stap ingevoerd, waarbij alle dimensies van de afzonderlijke onderdelen binnen de haven zijn bepaald. Daarna is de golfbrekerconfiguratie geoptimaliseerd met behulp van CHarON.

### **Conclusies HADES**

HADES is een goed hulpmiddel waarmee de ontwerper een havenontwerp globaal uit kan werken. De ontwerper zal echter zelf het werk moeten doen, het systeem ondersteunt hem slechts bij het doorlopen van het ontwerpproces.

De gestructureerde aanpak en het gebruik van checklists stimuleert de ontwerper vanaf het begin van het ontwerpproces bewust over de verschillende delen van de haven en het geïntegreerde geheel na te denken.

Bij de ontwikkeling van de controlemodules moet rekening worden gehouden met het feit dat op dit moment veel tijd verloren gaat met het invoeren van de randvoorwaarden en de situatie in de verschillende programma's. De tools die gebruikt worden tijdens het optimaliseringsproces van een havenontwerpalternatief moeten daarom binnen HADES geïntegreerd worden.





# Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
-----------	------------------	----------

## Deel A: Probleemanalyse HADES

<b>2.</b>	<b>Inleiding probleemanalyse HADES</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>Ontwerpproces zeehaven</b>	<b>5</b>
3.1	Probleemsignalering	6
3.2	Probleemanalyse	6
3.3	Verzamelen randvoorwaarden	8
3.4	Ontwikkeling alternatieven	11
3.5	Globale uitwerking alternatieven	12
3.6	Afweging globale alternatieven	12
3.7	Gedetailleerde uitwerking alternatieven	13
3.8	Afweging gedetailleerde alternatieven	17
3.9	Controle geselecteerd ontwerp	17
3.10	Stappenplan ontwerpproces	17
<b>4.</b>	<b>Plaats HADES in ontwerpproces</b>	<b>19</b>
4.1	Probleemstelling	19
4.2	Afbakening ontwerpfasen	19
4.3	Doelstelling	22
4.4	In- en uitvoer	22
4.5	Randvoorwaarden en uitgangspunten	22

## Deel B: Structuur HADES

<b>5.</b>	<b>Inleiding structuur HADES</b>	<b>25</b>
<b>6.</b>	<b>Ontwerpvariabelen en afhankelijkheden</b>	<b>27</b>
6.1	Inleiding ontwerpvariabelen en afhankelijkheden	27
6.2	Buitenvaargeul	29
6.3	Binnenvaargeul	30
6.4	Draaibassins	31
6.5	Havenbassins	32
6.6	Kades	33
6.7	Golfbrekers	34
6.8	Acceptatie risico	36
6.9	Acceptatie vertraging	36
6.10	Vensters	37
6.11	Verkeersregulering	38
6.12	Afhankelijkheden	38
<b>7.</b>	<b>Ontwikkeling structuur</b>	<b>41</b>
7.1	Verbeteren ontwerpproces	41
7.2	Verbeteren initieel ontwerp	42
7.3	Structuur stap voor stap invoeren	43
7.4	Controle afhankelijkheid	46
7.5	Verbeteren controleberekeningen	47
7.6	Weergave structuur	48

---

## Deel C: CHarON

<b>8.</b>	<b>Inleiding CHarON</b>	<b>53</b>
<b>9.</b>	<b>Probleemanalyse CHarON</b>	<b>55</b>
9.1	Relatie CHarON-HADES	55
9.2	Golfindringing	55
9.3	Doelstelling	56
9.4	Randvoorwaarden en uitgangspunten	56
<b>10.</b>	<b>Berekening golfhoogte</b>	<b>59</b>
10.1	DiffRACTie	59
10.2	Interferentie	62
10.3	Toepassing berekening in CHarON	64
<b>11.</b>	<b>Opbouw programma</b>	<b>67</b>
11.1	Stappen voor de gebruiker	67
11.2	Stappen bij de berekeningen	69
<b>12.</b>	<b>Testen</b>	<b>73</b>
12.1	DIFFRAC	73
12.2	Uitvoering testen	75
<b>13.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen CHarON</b>	<b>83</b>
13.1	Conclusies CHarON	83
13.2	Aanbevelingen voor de ontwikkeling van CHarON	83

## Deel D: Praktische toepassing en conclusies

<b>14.</b>	<b>Inleiding praktische toepassing en conclusies</b>	<b>87</b>
<b>15.</b>	<b>Case 1: Aanpassing bestaande haven</b>	<b>89</b>
15.1	Beschrijving situatie	89
15.2	Gebruik HADES voor haven	92
<b>16.</b>	<b>Case 2: Nieuw aan te leggen haven</b>	<b>99</b>
16.1	Beschrijving situatie	99
16.2	Gebruik HADES	102
<b>17.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen HADES</b>	<b>111</b>
17.1	Conclusies HADES	111
17.2	Aanbevelingen voor de ontwikkeling van HADES	111

<b>Referenties</b>	<b>113</b>
<b>Lijst van figuren</b>	<b>115</b>
<b>Lijst van tabellen</b>	<b>117</b>
<b>Woordenlijst</b>	<b>119</b>

## **Bijlagen**

<b>A1:</b>	<b>Randvoorwaarden</b>
<b>A2:</b>	<b>Vuistregels</b>
<b>A3:</b>	<b>Controle ontwerp</b>
<b>B1:</b>	<b>Ontwerpvariabelen en afhankelijkheden</b>
<b>C1:</b>	<b>Formulering golflengte</b>
<b>C2:</b>	<b>Theorie diffractie</b>
<b>C3:</b>	<b>Programma listing CHarON</b>
<b>C4:</b>	<b>Resultaten testen</b>
<b>D1:</b>	<b>CHarON voor case 1</b>
<b>D2:</b>	<b>VOLGORDE voor case 2</b>
<b>D3:</b>	<b>CHarON voor case 2</b>

# 1. Inleiding

Bij het ontwerpen van de natte infrastructuur van een zeehaven spelen vele aspecten een rol en zijn vele specialisten betrokken. De integratie van deze vakgebieden is niet eenvoudig, waardoor optimalisatie van het uiteindelijke ontwerp moeilijk is. Het ontwerpproces is een cyclisch proces, waarbij continue verbeteringen aan de orde zijn. Terugkoppelen naar eerder (door anderen) genomen beslissingen kan echter moeilijk zijn, zodat het creëren van goede havenontwerpalternatieven een tijdrovende bezigheid is.

Het Waterloopkundig Laboratorium (w|delft hydraulics) heeft het initiatief genomen een systeem te ontwikkelen dat de verschillende aspecten integreert. Dit systeem moet in de vorm van een computerprogramma aan gebruikers worden aangeboden (Dss Havens). Technische Universiteit Delft (TUD) en Maritime Simulation Centre the Netherlands (MSCN) hebben aangegeven te willen participeren in dit project.

Het doel van dit rapport is het maken van een opzet voor de ontwikkeling van een systeem, waarmee de tijd, benodigd voor de ontwikkeling van een ontwerp voor de natte infrastructuur van een haven, bekort kan worden.

Het systeem, beschreven in dit rapport, zal aangeduid worden met de naam 'HADES' (HARbour DESign). Er bestaat een onderscheid tussen het w|delft hydraulics-project 'Dss Havens' en het in dit rapport beschreven systeem. HADES zal namelijk niet als computerprogramma gepresenteerd behoeven te worden. De nadruk binnen het systeem zal liggen op een systematische aanpak van het ontwerpen van een haven. HADES en de manier waarop het tot stand is gekomen, zal later een adviesfunctie kunnen vervullen bij het ontwikkelen van de Dss Havens-software.

De opzet voor HADES, die in dit rapport beschreven wordt, bestaat uit drie delen.

Allereerst zal er in deel A een studie gedaan worden naar de plaats binnen het ontwerpproces, waar een gestructureerde aanpak tijdswinst kan opleveren. Uit deze studie zal blijken welke fasen binnen het ontwerpproces HADES zal vervangen. Hieruit zal resulteren welke in- en uitvoer het systeem zal moeten hebben.

Wetende welke invoer tot welke uitvoer getransformeerd moet worden, zal in deel B een structuur voor HADES ontwikkeld worden. Deze structuur zal aangeven welke stappen er binnen HADES gevolgd moeten worden.

In deel C zal een onderdeel van deze structuur meer gedetailleerd uitgewerkt worden. Er is voor gekozen de golfindringing uit te werken en als computerprogramma te presenteren.

Om de werking van het systeem te illustreren en de plaats van het golfindringingscomputerprogramma binnen HADES aan te geven zal er in deel D een tweetal casestudies uitgevoerd worden. Uit deze casestudies volgen enkele conclusies over HADES en aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling van HADES.



**Deel A:  
Probleemanalyse HADES**



## 2. Inleiding probleemanalyse HADES

Zoals in de algemene inleiding van dit rapport is beschreven, is het ontwerpen van de natte infrastructuur van een haven een tijdrovende bezigheid. Een gestructureerde aanpak zou de benodigde tijd kunnen verkorten.

In dit deel van dit rapport wordt getracht af te bakenen in welke fasen binnen het ontwerpproces van de natte infrastructuur van een zeehaven het gebruik van een gestructureerd systeem (HADES) de meeste tijdswinst op kan leveren. Wanneer dit bekend is, worden tevens de doelstellingen en de beperkingen van HADES aangegeven.

Om een onderbouwde keuze te kunnen maken voor de fasen waarin HADES als hulpmiddel gebruikt kan worden, is het nodig meer te weten over het ontwerpproces van een haven. Daarom zal er eerst een studie gedaan worden naar het ontwerpproces. Resultaten van deze studie worden beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport.

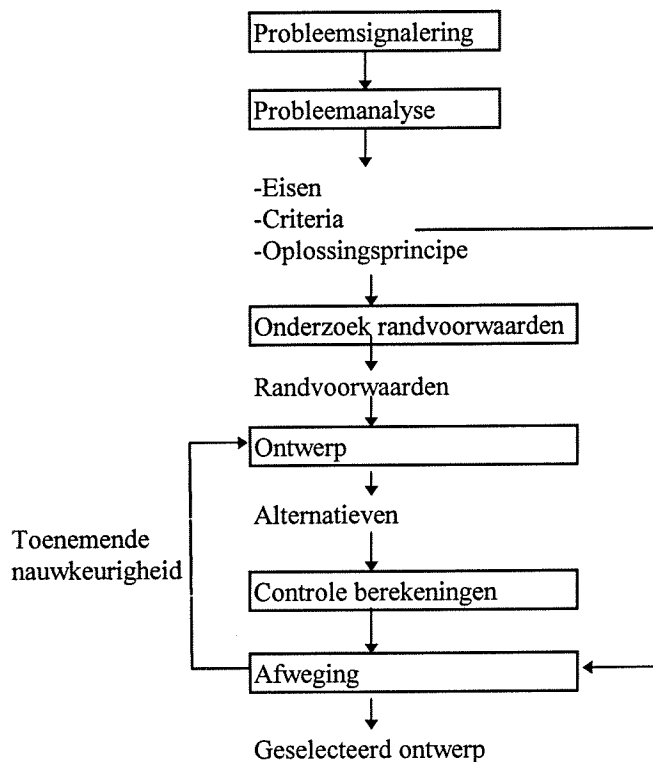
In hoofdstuk 4 zal afgebakend worden tot welke ontwerpfasen HADES zich zal beperken en zullen verdere beperkingen worden aangegeven. Dit hoofdstuk vormt daarmee de daadwerkelijke probleemanalyse van HADES.



### 3. Ontwerpproces zeehaven

Het ontwerpproces van de natte infrastructuur van een zeehaven kent dezelfde principes als elk ander ontwerpproces. Het is een iteratief proces, waarbij continue verbeteringen aan het ontwerp worden doorgevoerd. Naarmate het proces vordert, blijven er minder alternatieve oplossingen over en worden de onzekerheden kleiner.

Dit wordt weergegeven in figuur 3.1.



*Figuur 3.1: Stroomdiagram ontwerpproces*

Het ontwerpproces van de natte infrastructuur van een haven kent, zoals genoemd, dezelfde onderverdeling. Echter in het iteratieproces is een aantal specifieke stappen te onderscheiden, te weten:

- Probleemsignalering
- Probleemanalyse
- Verzamelen randvoorwaarden
- Ontwikkeling alternatieven
- Globale uitwerking alternatieven
- Afweging globale alternatieven
- Gedetailleerde uitwerking alternatieven
- Afweging gedetailleerde alternatieven
- Controle geselecteerd ontwerp

De verschillende stappen zullen in dit hoofdstuk kort beschreven worden.

### 3.1 Probleemsignalering

Een ontwerpproces begint bij de signalering van een probleem. Bij het ontwerp van een haven is dit probleem altijd een capaciteitsprobleem.

- Er is geen haven, terwijl er wel behoefte is aan goederendoorvoer van water op land.
- Er is een haven, maar de capaciteit ervan is te klein voor de huidige of toekomstige goederenstroom.
- Er wordt een verschuiving van goederensoort verwacht (olie, bulk, containers, enz.). De haven, zoals die op dit moment bestaat, is niet geschikt om de verwachte goederenstroom over te slaan.

Dit capaciteitsprobleem kan verschillende oorzaken hebben.

- De industrie in het achterland ontwikkelt zich dermate, dat er behoefte is aan meer of andere doorvoer.
- Het goederenaanbod in het achterland is dermate groot, dat er behoefte is aan meer of andere doorvoer.
- Er moet meer goederenstroom aangetrokken worden om de concurrentiepositie van de haven en de industrie in het achterland op niveau te houden of te brengen.

### 3.2 Probleemanalyse

In de fase van de probleemanalyse worden de eisen opgesteld, waaraan de oplossing dient te voldoen. Tevens worden criteria geformuleerd aan de hand waarvan in latere fasen verschillende oplossingsalternatieven afgewogen zullen worden. Verder wordt een keuze gemaakt voor het oplossingsprincipe van het probleem.

#### Eisen en criteria

De eisen bestaan uit maximale of minimale waarden voor verschillende variabelen. Hieraan móet ieder ontwerp voldoen.

Aan criteria daarentegen wordt in meer of mindere mate voldaan. Wanneer meerdere alternatieven aan de (technische) eisen voldoen, bepalen de criteria welk alternatief het 'beste' is. In de afweging wordt bepaald in welke mate de alternatieven voldoen aan de criteria.

Om te voorkomen dat de persoonlijke voorkeur van de ontwerper invloed heeft op de bepaling welk alternatief het beste is, worden de criteria en hun belang al in deze fase geformuleerd.

De eisen kunnen van verschillende aard zijn.

- Benodigde capaciteit van de haven
- Toegestane individuele down-time voor schepen
- Toegestane golfhoogte in de haven
- Haven moet geschikt zijn voor bepaalde scheepstypen
- Risico-acceptatie
- enz.

De belangrijkste criteria zijn vaak:

- Aanlegkosten
- Onderhoudskosten
- Risico
- Vertragingen (down-time)
- Milieugevolgen
- Gevolgen voor omwonende burgers
- Gevolgen voor industrie

### Oplossingsprincipe

Het maken van een keuze voor een bepaald oplossingsprincipe vormt een proces op zichzelf. Allereerst moeten de mogelijke alternatieve oplossingsprincipes in kaart gebracht worden. Een gedegen analyse van de situatie en de gevolgen van de verschillende alternatieven gaat hierna aan de keuze voor een principe vooraf.

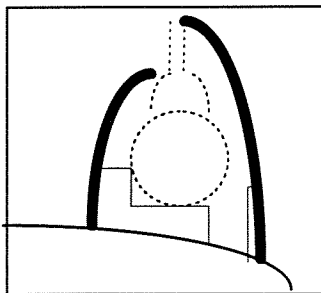
Onderzocht moet worden wat de ingreep voor invloed heeft op bijvoorbeeld het sedimenttransport, het milieu en het uitzicht voor mensen vanaf de wal.

Een afweging wordt gemaakt tussen de sterke en zwakke punten van de verschillende mogelijkheden. Deze keuze kan uitgesteld worden naar een later tijdstip. De verschillende principes worden dan naast elkaar uitgewerkt in vervolgfases. De keuze kan dan goed onderbouwd gedaan worden. Het probleem kan globaal gezien op een aantal manieren opgelost worden.

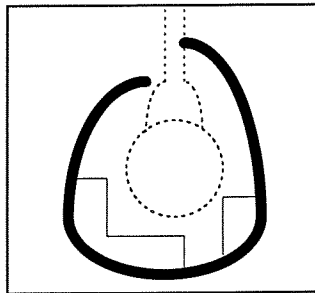
- Er wordt niets gedaan. Het verlies aan concurrentiepositie wordt geaccepteerd of de goederen worden via een andere modaliteit aangevoerd (trein, binnenvaart, enz.).
- De situatie in de haven wordt aangepast. De haven wordt effectiever ingedeeld en gebruikt. Verkeersregulering, dieper baggeren van bassins en vaargeulen, ander overslagmaterieel, of een andere indeling van de havenbassins kan leiden tot een vergroting van de capaciteit.
- De bestaande haven wordt uitgebreid.
- Er wordt een nieuwe haven ontworpen.

Een uitbreiding van een zeehaven of het creëren van een nieuwe haven kan op een aantal manieren gerealiseerd worden.

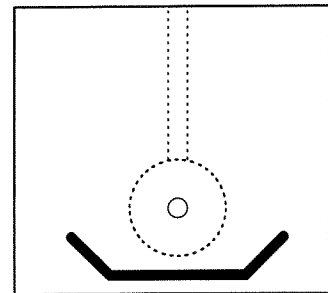
- Verlengen of aanleggen van golfbrekers leidt tot een haven aan de kust.
- Aanleggen of verlengen van offshore golfbrekers leidt tot een offshore haven.
- Aanleggen van een Single Bouy Mooring (zie figuur 3.2).



*Figuur 3.2a: Kusthaven*



*Figuur 3.2b: Offshore haven*



*Figuur 3.2c: SBM*

Voorbeelden van sterke punten en zwakke punten van deze drie mogelijkheden zijn:

*Kusthaven:*

- + Er hoeft geen oeververbinding gemaakt te worden.
- + Wanneer er veel ruimte aanwezig is, hoeft er geen land gereclameerd te worden.
- + Er is betrekkelijk ondiep water aanwezig, zodat de golfbrekers relatief goedkoop uitgevoerd kunnen worden.
- Er is betrekkelijk ondiep water aanwezig, zodat er voor voldoende diepte in de geulen relatief veel gebaggerd moet worden.
- Wanneer er geen of weinig ruimte aanwezig is, moet er ruimte gecreëerd worden.
- Er kan veel overlast voor omwonenden of industrie ontstaan.

*Offshore haven:*

- + Er is relatief diep water aanwezig, zodat er weinig of niet gebaggerd hoeft te worden.
- + Er is geen overlast voor industrie of omwonenden.
- + Er is geen ruimtegebrek.
- Er is een oeververbinding nodig, wat kostbaar is en gevoelig voor ongelukken.
- Door de aanwezigheid van diep water, is de kostprijs van de golfbrekers hoog.
- Al het benodigde land moet gereclameerd worden.

*SBM:*

- + Overslag door middel van een SBM kan bij grotere golfhoogten gebeuren, zodat er geen of weinig geld besteed hoeft te worden aan golfbrekers.
- + De aanlegkosten zijn relatief laag.
- + Er is weinig invloed op het milieu, het sedimenttransport en het uitzicht vanaf de wal.
- Een SBM is alleen geschikt voor overslag van olie en gas.
- Er moet een pijplijn naar de kust worden aangelegd, waar regelmatig onderhoud aan gepleegd moet worden.
- De down-time is over het algemeen groot.

### 3.3 Verzamelen randvoorwaarden

Alle data, die benodigd zijn tijdens het ontwerp van de haven worden in deze fase gezocht.

De verkregen data kunnen al zo nauwkeurig zijn dat ook het uiteindelijke ontwerp hiermee gemaakt kan worden. Een kenmerk van een randvoorwaarde is dat deze niet verandert tijdens het ontwerpproces. De ontwerper heeft geen invloed op de randvoorwaarden, ze worden opgelegd door de omgeving of door de opdrachtgever.

In bijlage A1 worden de benodigde randvoorwaarden en de wijze waarop ze bepaald kunnen worden uitgebreider beschreven. Hier volgt een overzicht.

#### Geofysica

Met geofysica wordt hier de bodem bedoeld voordat er wordt ingegrepen. Hierin zijn verwerkt de bodemsoort, de bathymetrie (het verloop van de hoogte over het oppervlak) en het verloop van de grondlagen over de diepte. De verkregen gegevens worden gebruikt om de hoeveelheid baggerwerk te bepalen en de benodigde fundering van de golfbrekers vast te stellen.

De grondsoorten en het verloop hiervan kunnen bepaald worden door middel van monsterneming, sonarmeting en het maken van sonderingen. De bathymetrie kan worden bepaald door vanuit een schip sonarmetingen uit te voeren.

### **Ontwerpschip**

Het ontwerpschip is het schip met de ongunstigste afmetingen dat de haven kan aandoen. De ontwerpvariabelen worden op de afmetingen van dit schip gedimensioneerd. Verschillende schepen kunnen voor verschillende dimensies maatgevend zijn.

Het ontwerpschip wordt bepaald door een analyse uit te voeren naar het scheepsaanbod in de toekomst, op basis van het scheepsaanbod in het verleden.

### **Scheepsaanbod**

Het onderzoek naar het scheepsaanbod behelst de bepaling van de verwachte verkeersintensiteit, de soort lading en de dimensies van de schepen. Met de resultaten van dit onderzoek worden mede de dimensies van de variabelen bepaald. Een voorbeeld is de bepaling van het aantal benodigde vaarbanen in de toegangseul. Tevens resulteert de benodigde capaciteit uit dit onderzoek.

Door ontwikkelingen in het verleden te extrapoleren naar de toekomst en daarbij rekening te houden met ontwikkelingen op de wereldmarkt, de haven zelf en het achterland, kunnen relatief betrouwbare voorspellingen over het scheepsaanbod in de toekomst gedaan worden.

### **Massadichtheid water**

De massadichtheid van het water is belangrijk voor de diepgang van de schepen. De dichtheid is afhankelijk van de temperatuur van het water en van het zoutgehalte.

Aangezien de dichtheid redelijk constant is in plaats en in tijd voldoet het nemen van enkele monsters om voldoende gegevens over de dichtheid van het water in de buurt van de haven te verkrijgen.

### **Golfveld**

Met het golfveld worden alle golven bedoeld die in een bepaalde tijd in de omgeving van (de te bouwen) haven verschijnen. De optredende golven worden plaatselijk op diep water opgewekt door de wind (zeegang) of ze komen na een lange voortplantingstijd uit andere delen van de wereld (deining). Deze windgolven hebben perioden van ongeveer 1 tot 20 seconden. Een golfveld wordt beschreven door de kans op voorkomen van individuele golven. Golfhoogten en -perioden hebben namelijk een zeer onregelmatig karakter in de tijd en in plaats.

Met behulp van gegevens over optredende golven worden de golfbrekers ontworpen. Schepen die aanleggen in de haven of die laden of lossen kunnen dit slechts doen bij bepaalde maximale golfhoogten. De golfbrekers moeten ervoor zorgen dat de golfhoogten deze waarden niet overschrijden, zodat de bewegingen van de schepen beperkt blijven.

De constructies binnen de haven worden zo ontworpen dat zij voldoende sterk zijn om de golfkrachten tijdens extreme omstandigheden te weerstaan. Voor de bepaling van de capaciteit van de haven zijn vooral de gebruikscondities van belang.

Golven worden gemeten met boeien, die hun eigen beweging en daarmee de beweging van het wateroppervlak registreren, met radar, door middel van elektrische weerstandsmeting of door visuele meting.

Vaak worden golven gemeten op diep water, op enige afstand van de aan te leggen haven. Met computerprogramma's, zoals SWAN en WATRON kunnen de golven ter plaatse van de haven bepaald worden.

## **Stroming**

Stroming hangt nauw samen met het getijde. Het getijde is de grootste veroorzaker van stroming in kustgebieden. Stroming ter plaatse van de haven kan ook veroorzaakt worden door uitstroom van water uit de monding van een rivier. Stromingen veroorzaken sedimenttransport en daarmee een eventuele verandering van de kustlijn of de bathymetrie. Verder beïnvloeden stromingen de manoeuvreereigenschappen van schepen.

De stroming kan vanaf de wal gemeten worden met een radar, de stroming kan gemeten worden met een propellormeter, de stroming kan akoestisch gemeten worden of de stroming kan bepaald worden uit het verloop van de waterstand in de tijd. Bij de bepaling uit de waterstanden wordt in tegenstelling tot de andere methoden een beeld van de stroming over een heel oppervlak verkregen. Bij de andere methoden wordt plaatselijk gemeten en om een volledig beeld te verkrijgen zullen er daarom zeer veel metingen uitgevoerd moeten worden. Bij de bepaling uit de waterstand moet een rekenmodel zoals Delft3D gebruikt worden.

## **Windveld**

De wind beïnvloedt het manoeuvreergedrag van schepen. Windvlagen hebben een zeer onregelmatig karakter en het windveld wordt daarom beschreven met behulp van statistieken over de kans van optreden van een windvlaag uit een bepaalde richting en met bepaalde snelheid.

De waterhoogte op een bepaalde plaats wordt gedeeltelijk bepaald door de wind. Doordat de wind over het water wrijft vertoont de waterspiegel een helling. In de richting van de wind neemt de waterhoogte daarom toe.

Meteorologische instituten hebben vaak al windstatistieken voorradig, zodat plaatselijk meten vaak niet nodig is. Metingen worden uitgevoerd met loodrecht op de wind draaiende propellers. Uit de draaisnelheid en de richting van de propellor worden de windstatistieken bepaald.

## **Getijde**

Getijden veroorzaken waterhoogteverschillen en stromingen. De waterhoogten bepalen samen met de diepgang van schepen de ontwerpdiepte van de vaargeulen.

In een bepaald gebied is vaak het getijde al bekend uit metingen. Met behulp van het gestandaardiseerde getij in Greenwich kan het getijgedrag op de plaats van de aan te leggen haven bepaald worden.

## **Tijdschaal**

Tijd heeft invloed op de technologische ontwikkelingen die invloed kunnen hebben op de haven. Tevens heeft de tijd invloed op de waterspiegelstijging veroorzaakt door het smelten van ijs in de wereld veroorzaakt door de opwarming van de aarde. De ontwerplevensduur van de haven moet ook bepaald worden.

De waterspiegelstijging is op elke plaats op aarde hetzelfde en schattingen hierover zijn dus bekend. De ontwikkeling van overslag- en bouwtechnieken kan op dezelfde wijze geschat worden als de ontwikkeling van het scheepsaanbod.

Toekomstvoorspellingen gelden over het algemeen slechts voor een periode van 30 jaar. Het is niet economisch om een haven voor zo'n korte periode aan te leggen. De haven moet daarom zo worden aangelegd dat later aanpassingen aan de haven gedaan kunnen worden, zodat de levensduur verlengd kan worden.



### **Lokatie**

De haven moet ingepast worden in een omgeving. Achterlandverbindingen, ruimte, beschikbare materialen en de kustlijn moeten optimaal gebruikt worden.

Geografische kaarten van de omgeving zijn vaak beschikbaar. Verder kan door het inzetten van plaatselijk personeel goed ingespeeld worden op lokale gewoonten.

### **Droge infrastructuur van een zeehaven**

Onder de droge infrastructuur wordt alle infrastructuur en worden alle infrastructurale voorzieningen bedoeld, die op het vaste land liggen.

De droge infrastructuur en de natte infrastructuur kunnen eigenlijk niet los van elkaar ontworpen worden. Ze hangen zeer met elkaar samen. In dit verslag wordt echter de droge infrastructuur als randvoorwaarde beschouwd, omdat de droge infrastructuur gemakkelijker aangepast kan worden aan de natte dan andersom. Verder zijn de verschillende onderdelen van de droge infrastructuur minder kapitaalintensief dan die van de natte infrastructuur. Door de droge en de natte infrastructuur met dezelfde randvoorwaarden, criteria en eisen te ontwerpen ontstaat een redelijke afstemming tussen beide havenonderdelen.

### **Informatie**

Met informatie wordt hier de informatievoorziening aan schepen bedoeld. Goede informatievoorziening ten aanzien van meteorologische omstandigheden, voorrangssituaties en de plaats van varende schepen en vaargeulen kan de capaciteit van een haven vergroten. Door een optimalisatie van het gebruik van de vaarwegen en een verkleining van de afwijkingen van de vaarkoers van schepen kunnen baggerkosten beperkt worden.

Door de keuze voor het systeem waarmee de schippers van informatie voorzien worden als randvoorwaarde te beschouwen kan er tijdens het ontwerp van de haven al rekening mee gehouden worden. De keuze voor een bepaald systeem is niet afhankelijk van het ontwerp van de haven en kan dus tijdens het gehele ontwerpproces hetzelfde blijven.

## **3.4 Ontwikkeling alternatieven**

Aan hand van de eisen, die in de probleemanalyse zijn geformuleerd, wordt een groot aantal alternatieven ontwikkeld. Met behulp van methodische procedures, zoals bijvoorbeeld de brain-storm, kan tot een zeer groot aantal alternatieve oplossingen gekomen worden.

### **Brain-storm**

Een brain-storm sessie werkt als volgt:

Het onderwerp wordt door het ontwerpteam in enkele losstaande delen onderverdeeld. Elk persoon in de groep tekent of beschrijft over elk onderdeel elk idee dat in hem opkomt. Dit wordt individueel gedaan, de ontwerpers mogen niet beïnvloed worden door andere ontwerpers. De ideeën worden in deze fase niet rationeel bekeken. Elk idee, mogelijk of onmogelijk, mag worden beschreven. Na bepaalde tijd worden alle ideeën naast elkaar gelegd en wordt het geheel door de gehele groep geëvalueerd. De verschillende delen kunnen gecombineerd worden tot ontwerpalternatieven.

Een groot deel van de op deze manier verkregen ideeën wordt meteen op basis van expert kennis verworpen. De ideeën kunnen niet aan de eisen voldoen, het kan meteen duidelijk zijn dat de kosten te

hoog zullen zijn, of het kan meteen duidelijk zijn dat ontwerpen technisch of praktisch niet uitvoerbaar zijn.

Het gebruik van procedures als de brain-storm waarborgt, dat de ontwerpers hun creativiteit volledig benutten en dat niet slechts rationeel naar het probleem gekeken wordt. Er kunnen ongebruikelijke, maar bruikbare, ontwerpalternatieven ontstaan.

De ontwerpen bestaan in deze fase nog slechts uit lijnen, die de plaats van de verschillende onderdelen binnen de haven schematiseren. Dimensies worden later aan de onderdelen toegekend.

### **3.5 Globale uitwerking alternatieven**

De alternatieven die overblijven (10 à 12), worden in deze fase uitgewerkt. Na deze globale uitwerking moet er een eerste afweging gemaakt kunnen worden. Het doel van deze fase is het verkrijgen van alternatieven waarvan verondersteld kan worden dat ze aan de eisen voldoen. Tevens moeten de alternatieven zo aangepast worden, dat ze zo goed mogelijk aan de criteria voldoen.

Eerst wordt de lay-out verder uitgewerkt. Er wordt in deze fase in tegenstelling tot de vorige fase rationeel naar de alternatieven gekeken. Op basis van 'expert kennis' krijgen de vaargeulen een richting en worden de verschillende onderdelen naast elkaar getekend. Met expert kennis wordt bedoeld dat een of meer deskundigen uitsluitend op basis van hun kennis en ervaring keuzen maken.

Daarna worden numerieke waarden aan de verschillende dimensies van de variabelen toegekend. Dit gebeurt aan de hand van vuistregels, waarvan er een aantal in bijlage A2 worden beschreven. Vuistregels zijn opgesteld door deskundigen op basis van ervaringen en theoretische achtergronden. Ze kunnen algemeen toegepast worden, maar nemen daarom niet de specifieke situatie in ogenschouw.

Hierna wordt op basis van 'rapid assessment' of expert kennis een schatting gemaakt van de impact van de alternatieven. Rapid assessment tools zijn hulpmiddelen voor berekeningen, die snel resultaten verschaffen. Deze resultaten hebben echter geen grote nauwkeurigheid. Ter wille van de snelheid worden er altijd vereenvoudigingen toegepast.

Door middel van controleberekeningen worden de alternatieven aan de eisen en criteria getoetst. De eisen en criteria hoeven in deze fase nog niet zeer streng te zijn. Vaak kan worden volstaan met het gebruik van vuistregels (bijlage A2) die tijdens deze fase van het ontwerpproces als eis kunnen gelden.

Wanneer uit de controleberekeningen blijkt dat alternatieven niet aan de eisen of niet voldoende aan de criteria voldoen, worden zij aangepast, om daarna opnieuw gecontroleerd te worden. In de praktijk moet er vaak met de verschillende onderdelen van het ontwerp geschoven worden om tot een optimale lay-out te komen. In deze fase is het aantal iteratiestappen daarom groot.

### **3.6 Afweging globale alternatieven**

De ontwerpalternatieven, die aan de eisen voldoen, (4 à 8) worden op basis van de vastgestelde criteria afgewogen. De ontwerpen voldoen alle meer of minder aan de criteria. Nooit voldoet er een ontwerp in de gewenste mate aan alle criteria. Door middel van bijvoorbeeld een 'multi criteria evaluatie' wordt bekeken welke alternatieven het meest in de buurt komen van het doel (een oplossing, die perfect voldoet aan alle criteria).

Een multi criteria evaluatie is een methode waarmee op gestructureerde wijze een afweging gemaakt kan worden tussen verschillende alternatieven. Het voordeel van zo'n gestructureerde methode (er bestaan er meer) is dat, omdat er meer rationeel naar een ontwerp wordt aangekeken, de persoonlijke voorkeur van de ontwerper grotendeels uitgeschakeld wordt. De opdrachtgever kan betrokken worden bij het bepalen van de wegingsfactoren, zodat deze invloed heeft op het uiteindelijke resultaat. Tevens kan er duidelijk worden aangegeven waarom een bepaald alternatief de voorkeur geniet.

Sterke punten van alternatieven worden concreet gemaakt door de afzonderlijke punten voor de afzonderlijke criteria. Het wordt daarom ook snel duidelijk waar alternatieven verbeterd zouden moeten worden.

Bij een multi criteria evaluatie wordt aan elk criterium, zoals dat opgesteld is in de probleemanalyse, een mate van belang toegekend (een wegingsfactor). Elk alternatief wordt getoetst aan elk criterium. De punten, die een alternatief krijgt voor elk criterium, worden gewogen opgeteld. Uit het totale puntenaantal voor elk alternatief kunnen conclusies worden getrokken.

	criterium 1	Wegingsfactor	Totaal punten	criterium 2	Wegingsfactor	Totaal punten	Enz.	Totaal aantal
		criterium 1	criterium 1		criterium 2	criterium 2		gewogen punten
Alternatief A	6	0.1	0.6	8	0.5	4	3	7.6
Alternatief B	8	0.1	0.8	8	0.5	4	2	6.8
Alternatief C	10	0.1	1	1	0.5	0.5	4	5.5
enz.	..	0.1	..	..	0.5	..	..	..

Tabel 3.1 : Voorbeeld multi criteria evaluatie

Eventueel kan bekeken worden of alternatieven verbeterd kunnen worden. Hiertoe wordt teruggekoppeld naar de uitwerkingsfase en wordt het ontwerp aangepast. Twee tot vier alternatieven blijven na deze fase over.

### 3.7 Gedetailleerde uitwerking alternatieven

De meest veelbelovende alternatieven worden gedetailleerder uitgewerkt en gecontroleerd op golfindringing, nautische eisen, sedimenttransport, capaciteit van de haven en stromingen. Het doel van deze fase is het verkrijgen van een klein aantal alternatieven die zodanig zijn uitgewerkt, dat er tussen hen een onderbouwde keuze voor het te bouwen ontwerp gemaakt kan worden.

De controleberekeningen worden niet meer op basis van rapid assessment uitgevoerd, maar modelleringsprogramma's en simulaties worden gebruikt. Eventueel kunnen de ontwerpen enigszins worden aangepast, zodat zij beter voldoen aan de criteria. In de vorige fase zijn de ontwerpen al geoptimaliseerd, maar desondanks zullen er nog een aantal iteratiestappen gemaakt moeten worden.

In het volgende staan enkele hulpmiddelen beschreven, die bij de controleberekeningen gebruikt kunnen worden. In bijlage A3 worden zij verder uitgewerkt, hier volgt slechts een overzicht. De hulpmiddelen worden weliswaar hier beschreven, het onderscheid voor het gebruik van de verschillende hulpmiddelen in de verschillende fasen is niet zo duidelijk. Het kan nodig blijken te zijn een controle al nauwkeuriger uit te voeren of het kan nodig blijken te zijn een nieuw optimaliseringsproces op gang te brengen waarbij een minder nauwkeurig hulpmiddel gebruikt wordt. Terwille van de overzichtelijkheid worden de hulpmiddelen (die bij w/delft hydraulics gebruikt worden) hier in dezelfde paragraaf beschreven.

## **Golfindringing**

De berekening van het golfveld in de haven is nodig omdat schepen hun acties (laden, lossen, aanmeren, manoeuvreren, afgemeerd liggen) slechts bij beperkte golfhoogte kunnen uitvoeren. Met vuistregels kan bepaald worden of aan de eisen voldaan wordt.

### *Methode Wiegel*

Een voorbeeld van een rapid assessment tool voor de berekening van golfindringing is de methode Wiegel.

Bij de methode Wiegel wordt een geschaalde standaard overtrek op de getekende lay-out van de haven gelegd. Op de overtrek zijn lijnen getekend van uniforme golfhoogte. De golfhoogten in de haven kunnen na vermenigvuldigen met de inkomende golfhoogte worden afgelezen van de overtrek. Reflectie, refractie en wrijving worden bij deze methode niet meegenomen.

### *Spiraal van Cornu*

De spiraal van Cornu dient hetzelfde doel en is op dezelfde theorie gestoeld als de methode Wiegel. De methoden kennen ook dezelfde beperkingen. Er kan bij deze methode uit een standaard spiraalfiguur na schaling de golfhoogte in een punt op bepaalde afstand van de opening tussen de golfbrekers worden bepaald.

### *DIFFRAC*

Dit computerprogramma geeft redelijk snel resultaten, maar verwaarloost onder andere de diepte-involed op de golven. Het wordt gebruikt om om 4 à 6 ontwerpen te controleren en te verbeteren.

### *PHAROS*

Met het computerprogramma PHAROS kan zeer nauwkeurig de golfhoogte op elke plek in de haven bepaald worden. Het implementeren van een model en het doorrekenen ervan kost echter veel tijd, zodat het vooral gebruikt wordt om nog slechts 1 à 3 ontwerpen te controleren.

## **Golfreactie afgemeerde schepen**

Met bekende golfhoogten in de haven kan beoordeeld worden of de haven zijn functie voldoende vervult. Wanneer de golfhoogten te hoog zijn moeten schepen wachten en ontstaat down-time.

### *Vuistregels*

Er bestaan vele vuistregels die aangeven of een bepaald schip, bij golven met bepaalde golfhoogten, richtingen en perioden, kan werken (bijlage A2). Deze worden vooral in eerdere fasen van het ontwerpproces gebruikt om de ontwerpen te controleren.

### *BAS*

Met het computermodel BAS worden de bewegingen van een afgemeerd schip gesimuleerd. Hieruit worden tros- en fenderkrachten bepaald. De resultaten worden vaak slechts in de laatste fasen gebruikt. De detaillering van trossen en fenders gebeurt namelijk pas in de laatste fase van het ontwerpproces. Verder dient een gedetailleerd kadeontwerp ingevoerd te worden, wat in vroege fasen nog niet beschikbaar is.

## **Stromingen**

De berekening van stromingen is nodig om het sedimenttransport en daarmee de verandering aan de bathymetrie en de kustlijn te kunnen berekenen. Tevens is stroming van belang voor de manoeuvreerbaarheid van schepen.

### *TRISULA*

TRISULA is een modelleringsprogramma, dat onderdeel is van Delft2D/Delft3D. Vele invloeden op de stroming kunnen worden meegenomen met dit programma, zoals de Coriolis kracht, dichtheidsverschillen en turbulentie. Er bestaat zowel een 2-dimensionale versie als een 3D-versie. Met

de 2D-versie kunnen sneller, maar minder nauwkeurig resultaten verkregen worden dan bij de 3D - versie en de 2-dimensionale versie wordt daarom ook op een eerder tijdstip tijdens het ontwerpen gebruikt.

### **Sedimenttransport**

Sedimentatie in vaargeulen vermindert de beschikbare diepte. Het sediment zal weggebaggerd moeten worden, waar kosten mee gepaard gaan. Voor de ecologie, het milieu en de bebouwing op het land is het belangrijk dat de kustlijn zo min mogelijk verandert. De aanleg van een haven kan echter grote impact op deze kustlijn hebben.

#### *UNIBEST*

Het computerprogramma UNIBEST bestaat uit een aantal modules die elk een aspect van de invloed van sedimenttransport op de kust kunnen berekenen. Er is een module die het langtransport berekent, één voor de berekening van de kustlijnverandering, één die de duinerosie bepaalt en een module die het tijdafhankelijke dwarstransport (loodrecht op de kust) bepaalt. Het programma kan door de snelheid van verkrijgen van resultaten al redelijk snel in het ontwerpproces toegepast worden.

#### *SUSTIM*

SUSTIM is een computermodel dat gebruikt wordt om voor een geselecteerd ontwerp te controleren hoe het sediment zich gedraagt rond harde objecten, zoals pijpleidingen.

#### *SILTAC*

Dit modelleringsprogramma wordt in de fasen waar nog weinig nauwkeurigheid verlangd wordt, ingezet om de sedimentatie in vaargeulen te bepalen.

#### *SILTHAR*

Met dit computerprogramma kan worden berekend hoe groot de sedimentatie in de havenbassins wordt. Het programma berekent alleen kwantitatief de hoeveelheid sediment in het totale bassin uitgaande van het sedimenttransport bij de ingang van het bassin. Er wordt een aantal invloeden gescheiden gepresenteerd, zodat duidelijk is op welke manier het ontwerp verbeterd kan worden. Het programma is daarmee geschikt om meerdere alternatieven te verbeteren.

### **Manoeuvreeerbaarheid schepen**

Baggerkosten van vaargeulen zijn vaak een belangrijke kostenpost bij de aanleg van een haven. In eerste instantie worden de dimensies bepaald aan de hand van vuistregels, die niet de specifieke situatie in ogenschouw nemen. Het kan daarom economisch zijn te controleren of het ontwerp met andere dimensies ook voldoet.

#### *SHIPMA*

Met deze fast-time simulator kan bepaald worden welke manoeuvres schepen maken in de ontworpen vaargeul bij bepaalde omstandigheden. De manoeuvreereigenschappen worden voor drie of vier alternatieven getoetst aan vuistregels. Met deze resultaten kan bepaald worden wat de down-time ten gevolge van de klimatologische omstandigheden zal zijn.

#### *Scheepssimulator*

Met een scheepssimulator kan een ontworpen vaargeulenstelsel getoetst worden. De gehele situatie wordt hierbij in een computer ingevoerd, waarna een toekomstige gebruiker het stelsel door kan varen. De gebruiker van de simulator heeft daarbij het idee dat hij de vaargeulen in werkelijkheid door vaart. Een scheepssimulator is een real-time simulator, wat inhoudt dat de simulatietijd net zo groot is als de werkelijke tijd. Het beoordelen van het ontwerp gebeurt op basis van de ervaringen van de gebruiker. Het invoeren van de situatie in en het gebruiken van de simulator is duur en kost veel tijd, zodat het gebruik van een simulator slechts in de laatste fase van het ontwerpproces economisch is. MSCN is in het bezit van een aantal scheepssimulators.

## **Diepte vaargeulen**

De vuistregels voor de diepte van vaargeulen volgen uit een deterministische beschouwing. Deze waarden zijn vaak niet de meest economische waarden.

### *HARAP*

Met het computerprogramma HARAP wordt de kans op bodemcontact bepaald tijdens het doorvaren van een schip van de vaargeul, bij bepaalde omstandigheden. Het programma wordt vooral in de laatste fase van het ontwerpproces gebruikt, omdat het opzetten van een model arbeidsintensief is en de resultaten over het algemeen geen invloed hebben op de lay-out van de vaargeulen.

## **Capaciteit havenonderdelen en haven als geheel**

Zoals eerder is beschreven is de reden om een haven aan te leggen of te verbeteren het gebrek aan capaciteit. Elk onderdeel van een haven heeft een bepaalde capaciteit (uitgedrukt in down-time), maar de afzonderlijke down-times zijn opgeteld niet de totale down-time van een haven.

### *Wachttijdtheorie*

Met de wachttijdtheorie kan handmatig aan de hand van verdelingsfuncties voor tussenaankomsttijd en overslagtijd van schepen bepaald worden wat de gemiddelde wachttijd in een haven zal worden. De methode is niet geschikt om gebruikt te worden in stelsels waar meerdere wachttijden elkaar opvolgen en wordt daarom slechts gebruikt in beginfasen van het ontwerpproces.

### *PROSIM*

Met het modelleringsprogramma PROSIM kan de gemiddelde wachttijd in de gehele haven bepaald worden. Een groot aantal schepen doorloopt hierbij het systeem. Van elk schip wordt opgeslagen wat zijn wachttijden waren en hieruit wordt de gemiddelde wachttijd bepaald. Het bouwen van een model bij deze fast-time simulatie kost veel tijd en daarom wordt het programma slechts in de laatste fase van het ontwerpproces voor het geselecteerde ontwerp toegepast.

## **Ontwerp dwarsdoorsnede golfbrekers**

De stabiliteit van het materiaal in rubble mound golfbrekers kan gecontroleerd worden met empirische formules, zoals die van Hudson en die van Van der Meer.

### *BREAKWAT*

De formules van Van der Meer zijn ingevoerd in het computerprogramma BREAKWAT. Doordat de computer het rekenwerk uitvoert, is er hiervoor minder tijd benodigd.

### *Fysische modellen*

Met een schaalmodel in een laboratorium kan waarheidsgetrouw de stabiliteit van de golfbreker gecontroleerd worden. Het bouwen van een schaalmodel is echter kostbaar, zodat dat slechts in de laatste fase van het ontwerpproces economisch is.

## **Golven op een helling**

Computerprogramma's voor de berekening van de ontwikkeling van golven (zoals SWAN en WATRON) nemen het gedrag van brekende golven niet in detail in de beschouwing mee. Voor de stabiliteit van het materiaal in golfbrekers is dit echter wel belangrijk.

### *ODIFLOCS*

Dit computerprogramma berekent het gedrag van golven bij ondiep water. Er zit een aantal vereenvoudigingen in de berekening, maar omdat de resultaten slechts in de latere fasen voor het detailontwerp van de golfbrekers van belang zijn, wordt het programma pas laat in het ontwerpproces ingezet.

#### *SKYLLA*

Het modelleringsprogramma SKYLLA heeft hetzelfde toepassingsgebied als ODIFLOCS. Het programma bezit echter minder vereenvoudigingen wat de rekentijd veel langer maakt en de resultaten nauwkeuriger. Het programma kent een dermate lange rekentijd dat het meestal niet wordt ingezet bij de berekening van de stabiliteit van stenen op een helling van golfbrekers.

### **3.8 Afweging gedetailleerde alternatieven**

Aan de hand van de criteria, die in de probleemanalyse-fase opgesteld zijn, wordt het 'beste' alternatief uitgekozen. Hierbij kan wederom een gestructureerde evaluatiemethode gebruikt worden, zoals de multi criteria evaluatie. Eventueel worden sterke punten van verschillende alternatieven gecombineerd of worden alternatieven opnieuw verbeterd.

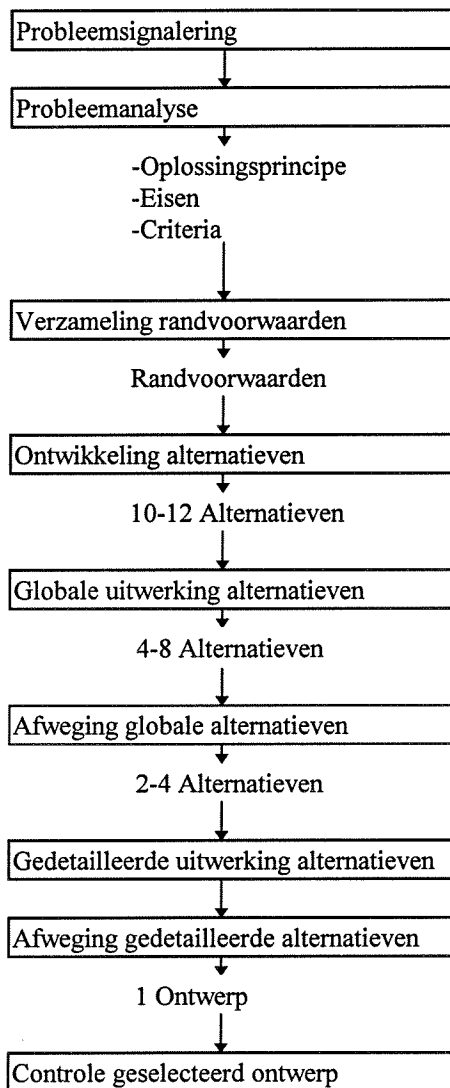
### **3.9 Controle geselecteerd ontwerp**

Het geselecteerde ontwerp kan nu gecontroleerd worden. Met real-time simulaties en zeer nauwkeurige modelleringsprogramma's worden de controles opnieuw uitgevoerd. Het ontwerp kan hierna nogmaals aangepast en verbeterd worden, wanneer de controles niet volledig het gewenste resultaat geven. In hoofdstuk 3.7 en bijlage A3 worden enkele hulpmiddelen voor de controles beschreven.

Het ontwerp van de natte infrastructuur van de haven is nu gereed. Het kan hierna worden ingebouwd in het masterplan van de omgeving. Het masterplan behelst het geheel van infrastructuur en bebouwing in een groot gebied (bijvoorbeeld een land). Achterlandverbindingen, woningen, industrie en bijvoorbeeld natuur kunnen waar nodig en mogelijk worden aangepast aan de veranderde situatie. Wanneer de opdrachtgever zijn goedkeuring geeft, kunnen bestektekeningen gemaakt worden, aan de hand waarvan de haven gebouwd kan gaan worden.

### **3.10 Stappenplan ontwerpproces**

Het ontwerpproces van een haven, zoals dat in dit hoofdstuk beschreven is, kan worden samengevat in een stappenplan. Figuur 3.3 geeft dit stappenplan. Bedacht moet worden dat er terugkoppelingen naar vorige fasen plaats kunnen hebben en dat daarmee het onderscheid tussen de verschillende fasen enigszins vervaagt.



*Figuur 3.3: Stappenplan ontwerpproces*



## 4. Plaats HADES in ontwerpproces

In het vorige hoofdstuk is beschreven hoe het ontwerpproces van de natte infrastructuur van een zeehaven er uit ziet. In dit hoofdstuk zal aangegeven worden in welke fasen hiervan het havenontwerp systeem HADES een functie kan vervullen.

### 4.1 Probleemstelling

In de algemene inleiding van dit rapport is de volgende alinea opgenomen:

*'Bij het ontwerpen van de natte infrastructuur van een zeehaven spelen vele aspecten een rol en zijn vele specialisten betrokken. De integratie van deze vakgebieden is niet eenvoudig, waardoor optimalisatie van het uiteindelijke ontwerp moeilijk is. Een ontwerpproces is een cyclisch proces, waarbij continu verbeteringen aan de orde zijn. Terugkoppelen naar eerder (door anderen) genomen beslissingen kan echter moeilijk zijn, zodat het creëren van goede havenontwerpalternatieven een tijdrovende bezigheid is.'*

Deze alinea wordt in de studie naar het ontwerpproces onderbouwd. Uit deze studie blijkt onder andere dat er veel verschillende randvoorwaarden verzameld moeten worden. Bij het optimaliseren van de verschillende alternatieven moet met elk aspect rekening gehouden worden. Zoals beschreven is, bestaan er veel computerprogramma's die het ontwerpproces ondersteunen. Deze computerprogramma's behandelen echter alle een afzonderlijk gedeelte van het ontwerp. Wanneer uit een controle blijkt dat er een aanpassing gedaan moet worden, zullen alle andere aspecten ook opnieuw gecontroleerd moeten worden. Vooral deze terugkoppelingen zorgen ervoor dat het ontwerpproces veel tijd in beslag neemt.

Uit deze beschouwing volgt de probleemstelling:

*Bij het ontwerpen van de natte infrastructuur van een zeehaven zijn dermate veel disciplines betrokken, en moeten dermate veel iteratieslagen gemaakt worden, dat het creëren van een optimaal ontwerp veel tijd kost.*

### 4.2 Afbakening ontwerpfasen

Op deze plek zal voor elke fase van het ontwerpproces bekeken worden of het gebruik van een gestructureerde aanpak tijdswinst kan opleveren.

#### **Probleemsignalering**

De probleemsignalering is geen fase waarin werk wordt verzet of waar veel tijdsverlies mee gepaard gaat. Het eerder onderkennen van een probleem kan wel nuttig zijn. Daarmee kan voorkomen worden dat er achter de feiten aangelopen wordt en er te weinig tijd beschikbaar is om het ontwerpproces nauwkeurig te doorlopen. Dit komt de kwaliteit van het uiteindelijke ontwerp niet ten goede. Het onderkennen van het probleem is echter onderdeel van geheel andere studies en daarom zal HADES in deze fase niet van nut kunnen zijn.

## **Probleemanalyse**

Tijdens de probleemanalyse worden de eisen en criteria opgesteld. Deze eisen en criteria zijn voor elke situatie anders. Er kan een checklist opgesteld worden waarin een aantal standaard eisen en criteria vermeld staan. Een gevaar hierbij is echter dat er niet meer over de specifieke situatie met de specifieke problemen wordt nagedacht. Er wordt voor gekozen deze fase niet te standaardiseren in HADES.

De keuze voor een oplossingsprincipe is, zoals eerder vermeld, een proces op zichzelf. Een onderzoek naar de situatie, de kosten en andere criteria gaat aan de (politieke) keuze voor een oplossingsprincipe vooraf. Vaak worden de verschillende oplossingsprincipes eerst uitgewerkt om de keuze onderbouwd te kunnen maken. Meerdere oplossingsprincipes kunnen naast elkaar uitgewerkt worden in vervolgfases. Bij deze uitwerkingen wordt een groot deel van het vervolg van het ontwerpproces doorlopen. Het heeft daarom geen nut voor deze fase een keuze voor het gebruik van HADES te maken.

## **Verzamelen randvoorwaarden**

Deze fase behandelt de specifieke situatie op de plaats van de te ontwerpen haven. Deze moet bekend zijn voordat het ontwerpen daadwerkelijk kan beginnen.

Het verkrijgen van de randvoorwaarden gebeurt over het algemeen op de plaats zelf. Dit is beschreven in hoofdstuk 3. De benodigde data worden in het veld verkregen.

## **Ontwikkeling alternatieven**

Het creëren van originele alternatieven is vooral een creatief proces. Een gestructureerd systeem kan niet creatief gemaakt worden. Het structureren van deze fase zou de creativiteit uit het ontwerpproces weghalen. Voor de fase waarin alternatieven ontwikkeld worden, kan HADES daarom niet geschikt gemaakt worden.

## **Globale uitwerking alternatieven**

De globale uitwerking van alternatieven en de toetsing aan de eisen en criteria kan zeer arbeidsintensief zijn.

Ten eerste kan het toekennen van numerieke waarden aan de verschillende variabelen veel tijd kosten. De ontwerper moet geschikte vuistregels vinden (bijlage A2) en moet de rekensommen die daarbij gebruikt worden handmatig uitvoeren. Door het iteratieve karakter van het ontwerpproces moeten deze sommen verschillende malen worden uitgevoerd. Met het structureren van deze vuistregels zou veel tijd gewonnen kunnen worden.

De alternatieven worden tijdens deze fasen uitgewerkt en gecontroleerd. Na controle kan het alternatief weer worden aangepast en weer worden gecontroleerd. Bedacht moet worden dat verschillende aspecten gecontroleerd worden. Het ontwerp kan voor een bepaald aspect voldoen, maar voor een ander aspect niet. Na aanpassing moeten alle aspecten wederom gecontroleerd worden.

Het uitvoeren van de controles neemt veel tijd in beslag. De reden hiervoor is vooral dat voor elke controle een andere tool of vuistregel gebruikt wordt.

Het gebruik van HADES in deze fase lijkt zeer nuttig.

## **Afweging globale alternatieven**

De criteria voor deze fase zijn al in een eerdere fase opgesteld, evenals de wegingsfactoren die erbij horen. Het invullen van een evaluatietabel kost over het algemeen weinig tijd. Het gebruik van HADES in deze fase is daarom overbodig.

### Gedetailleerde uitwerking alternatieven

De gedetailleerde uitwerking en controles worden over het algemeen met behulp van computermodelleringen uitgevoerd (zie bijlage A3 van dit rapport). Bij deze modelleringen worden nauwkeurige resultaten verlangd. Het uitvoeren van deze modelleringen kost vaak veel tijd. Het invoeren van de specifieke situatie is hierbij het meeste werk. Wanneer een ontwerp niet voldoet, moet het ontwerp worden aangepast en moeten alle aspecten opnieuw gecontroleerd worden. In het huidige ontwerpproces is het aantal iteraties te groot om de gewenste snelheid te verkrijgen.

Deze fase van het ontwerpproces neemt veel tijd in beslag en HADES zal daarom in deze fase van nut moeten zijn, bijvoorbeeld door alle controlemodellen te integreren. Slechts éénmaal hoeft dan een model ontwikkeld te worden die de specifieke situatie in kaart brengt. Zoals in bijlage A3 beschreven wordt, wordt dit bij een aantal computerprogramma's al gedaan.

### Afweging gedetailleerde alternatieven

Zoals bij de afweging van de globale alternatieven beschreven is kost het afwegen relatief weinig tijd. Het gebruik van HADES is daarom niet nodig in deze fase.

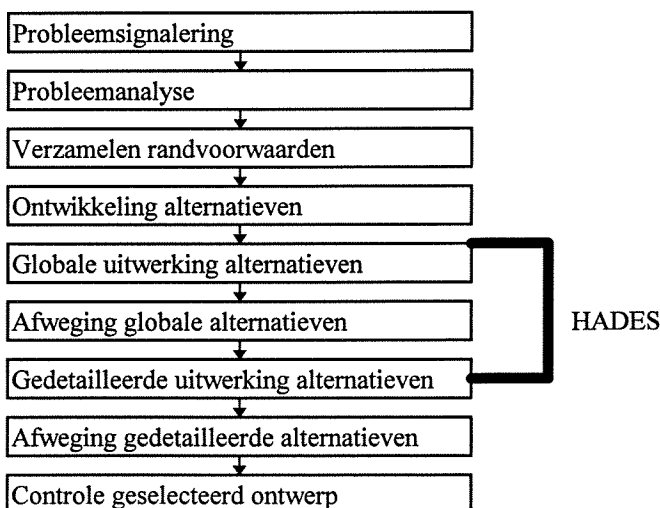
### Controle geselecteerd ontwerp

De controles in de laatste fase van het ontwerpproces kunnen onder andere met real time simulaties en fysische modellen worden uitgevoerd. Bij deze controles kost het uitvoeren van de simulaties de meeste tijd. Verder zijn de te gebruiken programma's dermate ver ontwikkeld dat het integreren van deze programma's te veel tijd lijkt te kosten.

### Conclusie fasen waarin HADES gebruikt kan worden

HADES zal gebruikt worden in de iteratieve fasen waarin de ontwerpen globaal en gedetailleerd worden uitgewerkt.

Figuur 4.1 verduidelijkt dit bovenstaande. De markering van HADES stopt halverwege het blokje van de gedetailleerde uitwerking omdat een deel van de controles die nu daar plaatsvinden in HADES uitgevoerd kunnen gaan worden en een deel niet.



*Figuur 4.1 : Plaats HADES in ontwerpproces*

## 4.3 Doelstelling

Naar aanleiding van het voorgaande wordt de doelstelling voor HADES:

*Het doel is de ontwikkeling van een Havenontwerp Systeem waarmee de ontwerpfase, waarin de globale uitwerking van alternatieven plaatsvindt, snel kan worden doorlopen.*

## 4.4 In- en uitvoer

Voordat HADES gebruikt gaat worden, zijn de randvoorwaarden, de criteria voor de afwegingen tussen ontwerpalternatieven en de eisen aan het ontwerp al bepaald. De ontwerpalternatieven zijn ontwikkeld, maar nog niet uitgewerkt.

De randvoorwaarden bestaan uit nauwkeurige data, die ook in latere fasen gebruikt gaan worden. De gehele omgeving is hier al nauwkeurig mee in kaart gebracht.

De eisen aan het ontwerp zijn ook al nauwkeurig geformuleerd. Zij worden gepresenteerd door concrete getallen.

De criteria en het gewicht van die criteria in de afweging zijn ook al precies geformuleerd in concrete getallen.

Na het gebruik van HADES moeten de alternatieven zodanig zijn uitgewerkt dat er een afweging tussen hen plaats kan vinden. Na deze afweging mogen 3 à 4 alternatieven overblijven. Deze moeten later nog nauwkeuriger gecontroleerd worden. Na het gebruik van HADES moet het aantal benodigde iteratieslagen echter beperkt blijven.

## 4.5 Randvoorwaarden en uitgangspunten

In het voorgaande zijn een aantal beperkingen voor HADES aangenomen. In deze paragraaf zal worden uitgelegd waarom deze beperkingen bestaan. Tevens worden enkele andere beperkingen beschreven. Deze beperkingen zijn vooral opgenomen om de hoeveelheid werk te beperken. Er kan zo in relatief korte tijd een werkende versie van HADES beschikbaar komen. In latere fasen kunnen de zaken die nu als beperking gelden, ingebouwd worden in HADES.

### **Natte infrastructuur van een zeehaven**

HADES beperkt zich tot de natte infrastructuur van een zeehaven. Het ontwerp van de natte infrastructuur kan niet los gezien worden van het ontwerp van de droge infrastructuur (zie hoofdstuk 3.3). Bij het ontwerpen van de droge infrastructuur worden echter andere disciplines aangesproken dan bij de natte infrastructuur. Door de droge infrastructuur als randvoorwaarde aan te nemen is het mogelijk een ontwerp te maken voor de natte infrastructuur.

In een zeehaven spelen andere disciplines een rol dan in een haven in het binnenland. Er komen bijvoorbeeld grotere schepen aan, met andere manoeuvreereigenschappen. De beschrijvingen in dit rapport richten zich daarom slechts op een soort haven en er is voor gekozen de zeehaven verder uit te werken.

### **Grootste kostenposten**

HADES beperkt zich tot het ontwerp van de grootste kostenposten, te weten de kades, de vaargeulen en de golfbrekers.

Het belangrijkste criterium in de afweging tussen alternatieven is vrijwel altijd het kostenplaatje. Zaken die een verwaarloosbare invloed hebben op de totale kosten kunnen gemakkelijk aangepast worden, zonder dat de afweging tussen alternatieven daardoor verandert.

### **Rapid Assessment Tool**

Het doel van HADES is het verkrijgen van tijdwinst. Daarom mogen de berekeningen binnen HADES niet te veel tijd kosten. Uitgebreidere en nauwkeurigere berekeningen zullen in latere ontwerpfasen plaats moeten vinden.

### **Elke zeehavens in de wereld**

HADES moet behulpzaam kunnen zijn bij het ontwerp van elke zeehaven in de wereld.

Het programma moet zo veel aspecten bezitten en kunnen uitschakelen dat elke haven, ongeacht de kustlijn, grootte van de schepen, soort golfbrekers en elke andere randvoorwaarde, ontworpen en aangepast moet kunnen worden. Hiermee krijgt het programma een breed toepassingsgebied. Tevens zit elk aspect dan in het programma, zodat alle aspecten ook daadwerkelijk meegenomen worden in een individueel project.

### **Computerprogramma**

Het doel van HADES is het versnellen van het ontwerpproces door middel van een gestructureerde aanpak. De nadruk ligt daarom in eerste instantie op die gestructureerde aanpak. Een computerprogramma rekt sneller dan een mens dat kan en daarom kan het later implementeren van het systeem in een computerprogramma de snelheid van het doorlopen van het ontwerpproces nog extra verhogen. Het systeem moet daarom zo ontwikkeld worden dat het later gemakkelijk toepasbaar gemaakt kan worden in een computerprogramma.



**Deel B:  
Structuur HADES**

## 5. Inleiding structuur HADES

In deel A van dit rapport is aangegeven welke invoer binnen HADES verwerkt moet worden tot welke uitvoer. In dit deel zal onderzocht worden welke stappen daarvoor binnen HADES genomen moeten worden. Het resultaat van deze studie is een structuur voor HADES.

Uit de studie naar het ontwerpproces blijkt dat het tijdverlies vooral veroorzaakt wordt door het grote aantal iteraties en doordat de uitvoering van de controleberekeningen lang duurt. Er zal daarom worden geprobeerd het ontwerpproces op deze twee punten te verbeteren.

Om het ontwerpproces te verbeteren zal er eerst meer bekend moeten zijn over hetgeen ontworpen moet worden. Daarom wordt er eerst een onderzoek naar de onderdelen van de natte infrastructuur beschreven in hoofdstuk 6.

Het grote aantal iteraties wordt onder andere veroorzaakt door het feit dat veel ontwerpvariabelen afhangen van elkaar. De dimensies van verschillende variabelen kunnen niet bepaald worden zonder dat dimensies van andere variabelen bekend zijn. Wanneer dit voor die specifieke variabelen omgekeerd ook opgaat, moet er eerst een aanname gedaan worden voor de dimensie van één van de twee variabelen. Na het dimensioneren van beide variabelen moet de aanname gecontroleerd en eventueel aangepast worden.

In hoofdstuk 6 worden de verschillende ontwerpvariabelen afzonderlijk beschreven, terwijl ze in een haven geïntegreerd ontworpen moeten worden. Daarom is in het volgende hoofdstuk het resultaat van een studie opgenomen waarin de onderlinge afhankelijkheden beschreven worden.

In hoofdstuk 7 wordt met behulp van de kennis uit hoofdstuk 6 en de kennis over het ontwerpproces uit het vorige deel van dit rapport de structuur van HADES ontwikkeld.





## 6. Ontwerpvariabelen en afhankelijkheden

### 6.1 Inleiding ontwerpvariabelen en afhankelijkheden

In dit hoofdstuk worden puntsgewijs de belangrijkste ontwerpvariabelen in een zeehavenontwerp beschreven. Ontwerpvariabelen zijn de onderdelen van een haven waar de ontwerper tijdens het ontwerpproces zijn eigen invulling aan kan geven. Dit in tegenstelling tot randvoorwaarden, die door de omgeving of de opdrachtgever worden opgelegd en die de ontwerper tijdens het ontwerpproces niet kan veranderen.

Het doel is uiteindelijk om een geïntegreerd beeld te verkrijgen. Om dat te bereiken wordt echter eerst van elk apart onderdeel aangegeven welk doel het binnen de haven dient. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt door de afhankelijkheden tussen de verschillende variabelen aan te geven, de onderlinge samenhang duidelijk gemaakt.

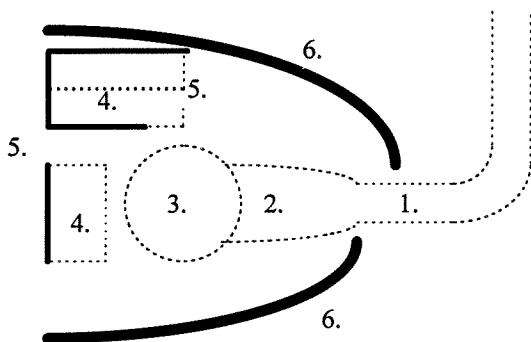
De beschrijvingen graven dieper dan noodzakelijk voor de eerste fasen van het ontwerpproces en dus HADES. In eerste fasen van het ontwerpproces wordt omwille van het gemak en de snelheid een aantal vereenvoudigingen toegepast. De beschrijvingen hier geven zo veel mogelijk zaken aan waar een ontwerper tijdens het gehele ontwerpproces rekening mee kan houden gegeven. In de toepassing voor HADES zullen de vereenvoudigingen toegepast worden.

De beschrijvingen hier zijn een samenvatting van hetgeen in bijlage B1 beschreven is.

#### Overzicht fysieke ontwerpvariabelen

De beschouwing beperkt zich net als bij HADES tot de grootste kostenposten, te weten, de vaargeulen, de kades en de golfbrekers. Bij de beschrijvingen is uitgegaan van kusthavens. De beschrijvingen van de verschillende onderdelen zijn voor havens aan de kust, offshore havens en SBM's analoog, echter bepaalde onderdelen zijn niet van toepassing voor offshore havens of SBM's. De lezer wordt geacht dit zelf te interpreteren.

In figuur 6.1 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste fysieke variabelen die onderdeel uitmaken van de natte infrastructuur van een zeehaven.



*Figuur 6.1: Fysieke ontwerpvariabelen*

1. *Buitenvaargeul*
  - Breedte*
  - Diepte*
  - Lay-out*
2. *Binnenvaargeul*
  - Breedte*
  - Diepte*
  - Lay-out*
3. *Draaibassin*
  - Diameter*
  - Diepte*
  - Plaats*
4. *Havenbassin*
  - Breedte*
  - Diepte*
  - Lay-out*
5. *Kade*
  - Type kade*
  - Lengte*
  - Lay-out*
6. *Golfbreker*
  - Type*
  - Dimensies*
  - Lay-out*

### **Niet-fysieke ontwerpvariabelen**

Naast deze fysieke ontwerpvariabelen bestaan er tevens enkele niet-fysieke ontwerpvariabelen. Niet-fysieke ontwerpvariabelen zijn onderdelen in een havenontwerp die in het fysieke uiterlijk en de lay-out niet aanschouwd kunnen worden.

De te behandelen variabelen zijn :

*Acceptatie risico*  
*Acceptatie vertraging*  
*Vensters*  
*Verkeersregulering*

De niet-fysieke ontwerpvariabelen worden hier als ontwerpvariabelen beschouwd omdat ze kunnen veranderen tijdens het ontwerpproces. In beginfasen van het ontwerpproces worden de acceptatie vertraging en acceptatie risico vaak echter als een eis beschouwd. Wanneer het ontwerp verder ontwikkeld is, kan de norm in overleg met de opdrachtgever verworpen worden en kan er onderbouwd een afweging gemaakt worden tussen kosten voor fysieke ontwerpvariabelen en de acceptatie van risico en vertraging.

De niet-fysieke ontwerpvariabelen worden altijd tezamen met fysieke (geld kostende) variabelen bepaald. Het gebruik van de niet-fysieke ontwerpvariabelen kan een reductie opleveren in de kosten voor de fysieke variabelen. Het gebruik ervan gaat echter wel vaak gepaard met verlies aan capaciteit van de haven, of verlies aan gemak voor de schepen.

De genoemde variabelen zullen in dit hoofdstuk kort besproken worden.

## 6.2 Buitenvaargeul

De buitenvaargeul heeft als doel de schepen naar de haven te leiden. De waterdiepte in de omgeving van een haven is vaak niet voldoende om schepen veilig te kunnen laten aankomen en vertrekken. Om de haven toegankelijk te maken, wordt er een vaargeul gebaggerd waarin de waterdiepte wel voldoende is.

De kosten voor de buitenvaargeul bestaan uit de baggerkosten. De baggerkosten zijn afhankelijk van de hoeveelheid baggerwerk en de kosten per eenheid baggerwerk, die afhankelijk zijn van de lokatie.

### Breedte

Schepen varen over een grotere breedte dan de breedte van het schip zelf. Dit wordt onder andere veroorzaakt door dwarskrachten, zoals die veroorzaakt worden door de stroming van het water en door de wind. Een schip moet tegen die kracht in opsturen om een tegenkracht te creëren. Door die opstuurhoek vaart het schip niet evenwijdig aan zijn eigen as en gebruikt het een grotere breedte dan zijn eigen breedte.

Een andere reden dat een schip een grotere breedte nodig heeft, is dat de schipper het schip niet over de ideale lijn weet te sturen. De mate waarin afwijkingen ontstaan is afhankelijk van de capaciteiten van de schipper, het uitzicht van de navigator, de positie-informatie die de schipper krijgt en de manoeuvreerbaarheid van het schip.

Bij de berekening van de benodigde breedte van een vaarbaan in een vaargeul wordt uitgegaan van een basisbreedte. Deze is afhankelijk van de scheepskarakteristiek manoeuvreerbaarheid. Stroming, wind, golven, snelheid van het schip, het bodemtype en de overdiepte hebben invloed op de manoeuvreerbaarheid van een schip.

Het aantal vaarbanen in een enkele vaargeul wordt vooral bepaald door de verkeersintensiteit. Een eventuele tweede vaarbaan hoeft vaak niet op het grote ontwerpschip gedimensioneerd te worden, omdat de kans klein is dat twee grote ontwerpschepen elkaar ontmoeten of passeren. In voorkomende gevallen zullen schepen moeten wachten, of snelheid moeten minderen. Er zal een afweging gemaakt moeten worden tussen kosten van extra baggeren en overlast voor schepen, die moeten wachten.

Tussen de vaarbaan en de wand van de vaargeul en tussen de verschillende vaarbanen moeten veiligheidsafstanden aangehouden worden. Ook voor de grootte van die veiligheidsstroken moet een afweging gemaakt worden. Het gaat hierbij tussen extra kosten voor baggeren en de acceptatie van risico. Het risico wordt groter naarmate schepen gevaarlijkere lading vervoeren en de wand uit harder materiaal bestaat.

### Diepte

De diepte van de vaargeul wordt bepaald door diepgang van het ontwerpschip (statisch en dynamisch), de grondeigenschappen en de hoogte van het water.

De hoogte van het water wordt bepaald door het getijde. De laagste waterstand gedurende een getijdencyclus kan gekozen worden als ontwerpwaterhoogte, maar er kan ook voor gekozen worden een getijdevenster in te stellen. Schepen moeten dan vaker wachten, maar de hoeveelheid baggerwerk blijft beperkt.

Een schip heeft stilliggend een diepgang die bepaald wordt door de hoeveelheid lading, het scheepstype en de dichtheid van het water. Wanneer een schip vaart heeft hij een grotere diepgang. Een schip verdringt namelijk bij het varen het water aan zijn voorzijde. Doordat het water gaat stromen zakt de waterspiegel en het schip zakt daarin mee. Dit effect wordt groter naarmate de scheepssnelheid ten

opzichte van het water groter is en naarmate het water moeilijker weg kan stromen. Het water stroomt moeilijk weg bij kleine overdiepte en bij een aan de zijanten afgesloten kanaal.

Golven zorgen ervoor dat een schip op en neer gaat bewegen. De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van de periode en de hoogte van de golven en de eigenfrequentie van het schip. Wanneer de golven dezelfde frequentie hebben als de eigenfrequentie van het schip gaat de beweging van het schip resoneren met de golven. Een groot schip merkt weinig van golven met een korte periode.

Baggeren gebeurt onder water. Het is daarom moeilijk zonder afwijkingen te baggeren. Op sommige plaatsen zal de bodem na het baggeren enigszins hoger liggen dan op andere plekken. Na verloop van tijd wordt de gebaggerde geul opgevuld met sediment, omdat de stroomsnelheden van het water, door de toegenomen diepte, lager zijn. Het baggeren moet daarom regelmatig herhaald worden. Bij een harde bodem is het risico groter en daarom moet er bij een harde bodem meer veiligheid en dus meer diepte gebaggerd worden.

### **Lay-out**

De buitenvaargeul begint aan de zeezijde op een punt waar de diepte van de bodem net zo groot is als de diepte in de buitenvaargeul. Verder baggeren heeft dan geen nut meer. Het is zinvol zo snel mogelijk dit punt te bereiken in verband met het minimaliseren van de baggerkosten. Om die reden is het ook zinvol zo veel mogelijk de diepere plekken in de bathymetrie van de bodem te volgen.

Er moeten zo weinig mogelijk bochten in de vaargeul ontworpen worden omdat bochten nautisch moeilijke plekken zijn.

Aan de zeezijde moet de richting van de vaargeul dezelfde zijn als die van waaruit schepen komen en vertrekken. Aan de zijde van de haven moet de richting van de geul afwijken van de golfrichting in verband met de golfindringing in de haven. Omdat schepen minder gemakkelijk te manoeuvreren zijn wanneer de golven zijdelings aankomen, mag de richting van de geul echter niet teveel afwijken van de golfrichting.

De buitenvaargeul stopt aan de havenzijde per definitie waar de binnenvaargeul begint, dus waar de golfbrekers beginnen.

## **6.3 Binnenvaargeul**

De binnenvaargeul dient om schepen zodanig te laten afremmen dat zij veilig naar hun plaats van bestemming binnen de haven kunnen varen.

In de buitenvaargeul moeten schepen een bepaalde snelheid houden om bestuurbaar te blijven. Binnen de golfbrekers moeten de omstandigheden zodanig zijn dat schepen kunnen afremmen. Vaak worden sleepboten vastgemaakt aan het schip om het schip bestuurbaar te kunnen laten afremmen. Het aanhaken van sleepboten kan niet gedaan worden bij hoge golven. De binnenvaargeul ligt daarom vrijwel altijd binnen de golfbrekers.

De kosten van de binnenvaargeul zijn van dezelfde zaken afhankelijk als die van de buitenvaargeul.

### **Breedte**

De breedte van de binnenvaargeul is van dezelfde zaken afhankelijk als de breedte van de buitenvaargeul. Er moet echter wel rekening worden gehouden met het feit dat de snelheid van de schepen lager is, dat de stroming en de golven lager zijn en dat de kans op en het gevolg van

ongelukken groter zijn. Verder moeten sleepboten aan het begin van de vaargeul om de schepen heen manoeuvreren, waar ruimte voor nodig is.

Wanneer schepen met hun voorsteven tussen de golfbrekers liggen maar met hun achtersteven nog niet zijn de krachten op de achtersteven groter dan die op de voorsteven. Het schip kan daardoor meer scheefligging krijgen. De breedte moet daarop aangepast worden.

### **Diepte**

In de binnenvaargeul is minder diepte benodigd dan in de buitenvaargeul, omdat de snelheden van de schepen lager zijn, evenals de stroming van het water en de golven. Wel bestaat er meer risico.

### **Lay-out**

De binnenvaargeul moet lang genoeg zijn om schepen te laten afremmen. Sleepboten moeten aanhaken aan het schip en het schip moet daarna op eigen kracht afremmen. De sleepboten zorgen voor de bestuurbaarheid.

De binnenvaargeul begint aan de zeezijde waar de golfbrekers stoppen en waar dus de buitenvaargeul begint. Aan de havenzijde eindigt de binnenvaargeul in een draaibassin.

De binnenvaargeul mag niet grenzen aan kades in verband met het risico op ongelukken. De richting van de binnenvaargeul moet dezelfde zijn als die van de buitenvaargeul. Het is niet gebruikelijk bochten in de binnenvaargeul of in de overgang van binnen- naar buitenvaargeul aan te leggen.

## **6.4 Draaibassins**

Draaibassins worden gebruikt om schepen de mogelijkheid te bieden te draaien, zodat zij in de richting van hun bestemming binnen de haven kunnen varen. Dit draaien gebeurt bij zeer lage snelheden en vaak met behulp van sleepboten.

De kosten van de draaibassins worden net als bij de binnen- en buitenvaargeul gevormd door de baggerkosten.

### **Diameter**

Het draaibassin is vaak rond van vorm. Bij aanwezigheid van stroming in de haven (bijvoorbeeld bij een ligging aan de mond van een rivier) kan een ellips toegepast worden om afdrijven van schepen tijdens het draaien te compenseren.

De benodigde diameter van een draaibassin hangt in eerste instantie af van het ontwerpschip, met name van de manoeuvreerbaarheid en de lengte van dat schip.

Stroming, wind en golven kunnen de benodigde diameter vergroten.

Er kunnen meerdere draaibassins in een haven voorkomen. Het gebruik van elk draaibassin beperkt zich tot de schepen die hun bestemming hebben achter een bepaald draaibassin. Het ontwerpschip voor een draaibassin verschilt daarom per draaibassin.

Bij grote verkeersintensiteiten kan de diameter vergroot worden. Bij grotere diameters is de tijd die schepen in het bassin aanwezig zijn om te manoeuvreren kleiner dan bij kleine diameters. Het draaibassin is eerder weer vrij voor het volgende schip.

### **Diepte**

Dezelfde beschouwingen over diepte als die beschreven bij de diepte van de binnenvaargeul gelden voor het draaibassin. De snelheden van de schepen in de draaibassins zijn wel zeer klein, zodat de dynamische diepgang een kleine rol speelt. Bij het manoeuvreren zijn de risico's wel groter dan bij recht varen.

### **Plaats**

Het eerste draaibassin sluit aan op de binnenvaargeul. Dit eerste draaibassin heeft een centrale plaats in de haven.

Op elke plaats waar schepen significant van de gevolgde richting af moeten wijken, wordt een draaibassin geplaatst.

Het draaibassin moet bij voorkeur niet grenzen aan kades waar schepen laden of lossen, in verband met de risico's.

Schepen in het draaibassin zijn zeer gevoelig voor wind, golven en stroming. Het draaibassin moet dus goed beschermd worden tegen deze invloeden.

Manoeuvreren in een draaibassin neemt enige tijd in beslag. Verkeersstromen kunnen daardoor verstoord worden en vertragingen kunnen ontstaan. Deze vertragingen kunnen voorkomen worden door meerdere draaibassins achter elkaar te plaatsen. Het eerste bassin wordt daarmee ontlast. Een tweede oplossing is om, wanneer er voldoende ruimte is, het draaibassin naast de doorgaande vaargeul te positioneren. Met een juiste verkeersregulering kan de verkeersstroom in het draaibassin geoptimaliseerd worden.

## **6.5 Havenbassins**

De havenbassins zijn bedoeld om schepen veilig te laten afmeren aan de kade en hen veilig te laten wegvaren.

De kosten van de havenbassins bestaan net als bij de andere vaargeulen uit baggerkosten.

### **Breedte**

De breedte in een havenbassin moet voldoende zijn om schepen veilig te laten aanmeren. Botsingen met de kade en met aan de kade liggende schepen moeten vermeden worden. Naast de eigen breedte van het specifieke schip dat zijn bestemming heeft in het havenbassin, wordt de breedte bepaald door de breedte van schepen die aan weerszijden aan de kades liggen, de benodigde manoeuvreerruimte voor sleepboten, wind en de mate waarin schepen scheefliggen tijdens het manoeuvreren.

Tijdens het aanleggen van schepen aan de kade zijn slechts zeer kleine golfhoogten toegestaan. Voor de benodigde breedte hoeft geen rekening met golven en stroming gehouden te worden, omdat het ontwerp van de bassins zodanig moet zijn dat er dermate weinig golfindringing en stroming in de bassins aanwezig is, dat dit niet maatgevend zal zijn.

### **Diepte**

De diepte in havenbassins wordt op dezelfde manier bepaald als die in de binnenvaargeul. Het gebruik van getijdenvensters is echter niet toegestaan in havenbassins, omdat schepen altijd moeten kunnen

verblijven in de havenbassins. In verband met de lage vaarsnelheden behoeft er weinig rekening gehouden te worden met de dynamische diepgang van schepen.

### **Lay-out**

De lay-out van de havenbassins hangt af van de lay-out van de kades. De ruimte die overblijft tussen de kades wordt gedefinieerd als havenbassins. In de havenbassins is wel enige manoeuvreerruimte nodig. Schepen die afmeren, laden of lossen moeten beschermd zijn tegen golven. De criteria voor de hoogte van deze golven zijn strenger dan die voor de toegangseul. De havenbassins moeten zo gepositioneerd worden dat stroming niet voorkomt.

De havenbassins moeten gemakkelijk toegankelijk zijn vanuit het draaibassin. Ze moeten zo veel mogelijk zonder bochten te bereiken zijn vanuit dit bassin en kunnen dus het best loodrecht op het draaibassin georiënteerd zijn.

Bij lange havenbassins (> 1000m.) moeten schepen kunnen keren. Er moet ofwel een draaibassin aan het einde van het havenbassin aangelegd worden, ofwel het havenbassin moet breed genoeg zijn om schepen te kunnen laten keren.

## **6.6 Kades**

De kades zijn bedoeld om schepen te laten aanliggen. Aan de kades kan met de faciliteiten aan de droge zijde van de kade een schip geladen of gelost worden. Bepaalde kades hebben de functie van wachtplaats. Er moeten daar faciliteiten zijn om mensen van boord te laten gaan.

De beschrijving van de kades beperkt zich tot de lengte van kades en de plaats van kades. Op de constructieve aspecten van kades en de diepte wordt hier niet ingegaan. Verder gelden de beschrijvingen van de kades voor zowel offshore havens als havens aan de kust. SBM's worden hier niet behandeld.

De kosten van de kades zijn afhankelijk van de lengtes van de kades en het type kade. Verder is de lokale diepte van belang en de bouwlocatie.

### **Type**

Het type van de kade is volledig afhankelijk van het scheepstype dat er moet laden en lossen.

Containerschepen worden geladen en gelost aan een kademuur die doorloopt over de gehele lengte van het schip. Afhankelijk van de lengte van de schepen en de lengte van de kade kan een variabel aantal schepen tegelijk aan de kade aanleggen.

Olie- en gastankers kunnen geladen of gelost worden aan een jetty in de haven. Een jetty geeft ruimte voor één schip tegelijk om aan te leggen ongeacht de lengte van de schepen. Olie-tankers kunnen ook buiten de haven geladen en gelost worden aan een Single Buoy Mooring.

Bij bulk carriers wordt het laden en lossen aan verschillende kades gedaan. Een kade waaraan schepen geladen worden, loopt niet door over de gehele lengte van het schip. Via een beweegbare lopende band kan het gehele schip geladen worden. Slechts één schip tegelijk kan aan zo'n kade aanleggen. Het lossen gebeurt aan een kade die doorloopt over de hele lengte van het schip. Een installatie die geplaatst is op een evenwijdig aan het schip lopende rails, lost het schip.



## Lengte

Afhankelijk van het type schip dat moet laden en lossen, worden doorlopende kademuren of kades waar slechts één schip tegelijk aan kan leggen ontworpen.

Aan een kade kan slechts één scheepstype aanleggen. Het beladingsmaterieel is altijd maar voor één ladingscategorie geschikt. Verschillende scheepstypen worden dus gescheiden.

Het aantal kades of de totale kadelengte is afhankelijk van de intensiteit van de scheepsaankomsten en de tijd die schepen aan een kade moeten liggen om te laden of lossen.

Rekening moet worden gehouden met pieken en dalen in de aankomsten van schepen per seizoen, per dag en per week.

De tijd die schepen aan een kade moeten liggen, heeft een spreiding. Het is niet een vaste tijd die voor elk schip en elk tijdstip hetzelfde is.

Er moet een economisch optimum gevonden worden voor het aantal kades of de totale lengte van de kades. Er moet een keuze gemaakt worden tussen extra aanlegplaatsen met overslagmaterieel en wachttijden voor schepen.

Voor kades waar slechts één schip tegelijk aan kan leggen, wordt een vast aantal kades aangelegd. Wanneer er gevaarlijke stoffen worden overgeslagen, moet de afstand tussen varende schepen en de kade relatief groot zijn.

De benodigde afstand tussen afgemeerde schepen bestaat vooral uit de afstand die nodig is om aan te leggen en weg te varen. Het ontwerpschip moet aan elke kade kunnen aanleggen. De afstand tussen twee kades moet hierop gedimensioneerd worden. Aangezien de kans op twee grenzende ontwerpschepen klein is, kan de veiligheidsafstand eventueel enigszins beperkt worden.

Voor kades die moeten doorlopen over de gehele lengte van het schip, wordt een totale kadelengte aangelegd die voldoende is voor het gehele scheepsaanbod.

De totale kadelengte is verdeeld in een aantal stukken. Geprobeerd moet worden met minimale kadelengte een zo groot mogelijk aantal schepen te kunnen laden en lossen.

Door een goede verkeersregulering kan de capaciteit van kades geoptimaliseerd worden.

Tussen afgemeerde schepen moet een bepaalde veiligheidsafstand aangehouden worden.

## Lay-out

Kades waaraan gevaarlijke stoffen worden overgeslagen moeten zo ver mogelijk van vaarwegen worden aangelegd. De kades moeten zo aangelegd worden dat de schepen met de boeg in de richting van de golven liggen. De stroming en de wind moeten ook zo veel mogelijk in die richting geleid worden. De verschillende kadetypen, de benodigde lengtes van kades, veiligheidsafstanden en de lay-out van de rest van de haven in rekening brengend, moet de ontwerper zijn ervaring en creativiteit gebruiken om tot een optimale lay-out van de kades te komen.

## 6.7 Golfbrekers

Golfbrekers om een haven heen kunnen meerdere doelen hebben:

- 1) Reduceren golfhoogten, zodat schepen in rustig vaarwater kunnen manoeuvreren, aanleggen, laden en lossen.
- 2) Reduceren baggeren, door het sedimenttransport uit de haven en vaargeulen te houden.
- 3) Stroomlijnen stromingen.
- 4) Een kadefunctie vervullen, door de golfbreker zo vorm te geven dat de achterzijde gebruikt kan worden als kademuur.

De kosten van golfbrekers zijn afhankelijk van de lengte, de dwarsdoorsnede met de materialen die gebruikt worden en de lokatie. De lokatie bepaalt de eenheidsprijs van het materiaal en de kosten voor het construeren van de golfbreker.

### **Type**

Er bestaan een groot aantal verschillende soorten golfbrekers, elk met een eigen toepassingsgebied. De belangrijkste hiervan zullen hier kort beschreven worden.

Bij de *rubble mound golfbreker* moeten de zware stenen in de bovenlaag de krachten voortkomend uit de golven weerstaan. De zware stenen worden ondersteund door stenen die naar de bodem toe steeds kleiner worden. De golfbreker kan relatief goedkoop worden uitgevoerd en er is veel ervaring met deze manier van het bouwen van golfbrekers. De constructie neemt echter wel veel ruimte in beslag.

De *monoliet golfbreker* is een gewichtsconstructie die op de bodem van de zee geplaatst wordt. De monoliet constructie verbruikt weinig materiaal en ruimte en is snel te bouwen. De constructie is echter wel duur en moet op slappe bodems goed gefundeerd worden. De constructie is gevoelig voor zettingen in de grond.

De sterke eigenschappen van bovenstaande twee typen kunnen gecombineerd worden in een *samengestelde golfbreker*.

Bij de *bermgolfbreker* wordt zeer veel steenmateriaal op de zeebodem gestort. Door de invloed van golven, stroming en dergelijke ontstaat na enige tijd een evenwichtsprofiel, dat de krachten voortkomend uit het golfveld kan weerstaan. De grootste golven worden gebroken, maar er wordt wel veel overtopping toegestaan. Na een zware storm kan het weggeslagen materiaal gemakkelijk aangevuld worden. Verder is de constructie goedkoop, maar neemt het wel veel ruimte in.

### **Dimensies**

De beschermlaag van de rubble mound golfbreker bestaat, zoals gezegd uit rotsblokken. Het gewicht van elk blok moet groot genoeg zijn om de golf- en zwaartekrachten te kunnen weerstaan. Elk blok moet dus statisch stabiel zijn. Door blokken in elkaar te klitten kunnen meerdere stenen gedeeltelijk als één steen acteren. Hiermee kan een totale gewichtsbesparing gecreëerd worden. Er zijn verschillende betonblokken ontworpen die door speciale vormen een grote klitcapaciteit hebben.

De kruinhoogte dient zo ontworpen te worden dat de golfhoogten in de haven klein genoeg blijven. Enige overtopping is vaak wel toegestaan.

Aangezien de grote rotsen in de beschermlaag het duurste materiaal vormen wordt de kern van de golfbreker met kleiner materiaal uitgevoerd. Hierbij moeten de blokken in de onderlaag tijdens de bouw, bij rustige golfomstandigheden, stabiel zijn. De grootte van het materiaal verloopt in lagen. Te klein materiaal kan namelijk door de poriën van de grotere blokken door wegspoelen, wat ten koste gaat van de stabiliteit van de golfbreker. Om deze reden is vaak onder de golfbreker een filter als tussenlaag tussen de kleinste blokken in de golfbreker en het materiaal in de bodem aangebracht.

De beschermlaag hoeft niet helemaal naar de bodem door te lopen. Kleinere blokken kunnen de kleinere krachten bij de bodem ook opnemen. De teen die daarbij ontstaat, heeft ook de functie de bovenlaag te ondersteunen. De teen kan in horizontale richting verlengd worden. Dit heeft dan als reden dat de grootste golven eerder breken. De beschermlaag hoeft dan minder energie op te nemen en kan met kleinere blokken worden uitgevoerd.

De breedte van de golfbreker wordt bepaald door de hoogte van de golfbreker en de helling. Deze is afhankelijk van de hoek van inwendige wrijving van het gebruikte materiaal. Een minder steile helling verbetert de stabiliteit van de blokken in de beschermlaag. In bepaalde gevallen wordt de breedte van

de golfbreker groter ontworpen dan noodzakelijk is voor de stabiliteit van de blokken. Dit wordt gedaan om het gewicht van de golfbreker te verdelen over een groter oppervlak, zodat de ondergrond beter in staat is het gewicht van de golfbreker te dragen.

### **Lay-out**

De golfbrekers moeten zo gepositioneerd worden dat zij aan alle gestelde doelen voldoen. De belangrijkste hiervan is het voorkomen van golfindringing. De golfbrekers moeten zo kort mogelijk gehouden worden om de kosten te beperken. De gehele haven moet binnen de golfbrekers beschermd liggen. In een opening tussen de golfbrekers moet een vaargeul gesitueerd zijn waar schepen de haven binnen kunnen varen.

## **6.8 Acceptatie risico**

Risico wordt gedefinieerd als het produkt van de kans op schade en de schade zelf. Risico is nooit geheel uit te sluiten, het is alleen terug te brengen tot een acceptabel niveau. Er bestaat altijd een kans op schade. Door maatregelen te nemen, bijvoorbeeld door de kruinhoogte van golfbrekers zeer hoog te maken, kan de kans op schade klein gemaakt worden. Dit brengt echter vaak kosten met zich mee.

Schade kan bestaan uit schade aan schepen, schade aan goederen, schade aan milieu, schade aan landmaterieel, overlijden van mensen (zeer onacceptabel), schade aan industrie en huizen op land en vertraging voor schepen doordat vastgelopen schepen de vaargeulen versperren. Wat acceptabel is, is een keuze van de ontwerper, of een keuze die genormeerd is door externen zoals de lokale overheid.

Door verkeersreguleringen, instellen van vensters en acceptatie van vertragingen kan het risico op een acceptabel niveau gehouden worden zonder de kosten te hoog te laten worden.

De mate waarin risico geaccepteerd wordt, is afhankelijk van de lokatie, omdat er op elke lokatie andere normen kunnen gelden. Tevens blijkt uit de lokatie of er veel schade kan optreden aan de bebouwing en het leven om de haven heen. Verder is de acceptatie van het risico afhankelijk van het scheepsaanbod.

## **6.9 Acceptatie vertraging**

In een haven ontstaan altijd wachttijden voor schepen. Deze wachttijden kunnen op verschillende plaatsen in de haven ontstaan, bijvoorbeeld tijdens het laden en lossen, tijdens getijdevensters, bij voorrangssituaties en bij het bezwijken van de golfbrekers.

Bepaalde vertragingen zullen altijd een minimale tijd vergen. Deze wachttijden worden bijvoorbeeld veroorzaakt door weersomstandigheden. Op deze minimale wachttijden heeft de ontwerper geen invloed. Vele wachttijden die kunnen ontstaan voor schepen in een haven kan de ontwerper echter wel beïnvloeden. Zo kan de ontwerper bijvoorbeeld besluiten een getijdevenster in te stellen.

De tijden dat er niet gevaren, geladen of gelost kan worden, terwijl schepen hier wel gereed voor zijn, wordt down-time genoemd. Deze down-time moet op een acceptabel niveau blijven. Hierbij moet zowel gedacht worden aan de gemiddelde down-time als de down-time voor een individueel schip.

De mate waarin vertragingen geaccepteerd worden, is afhankelijk van de lay-out van de vaargeul en die van de haven. Wanneer er namelijk wachtplaatsen zijn aangelegd in de haven of in de vaargeul is het gemakkelijker om in te spelen op vertragingen.

Te veel down-time in een haven zorgt voor een verlies aan concurrentiepositie. De concurrentiepositie van een haven kan nog verder verslechterd worden als de kosten voor wachtende schepen erg hoog zijn. Lage aanlegkosten van een haven kunnen ook leiden tot lage havengelden, welke schepen moeten betalen voor het gebruik van de haven.

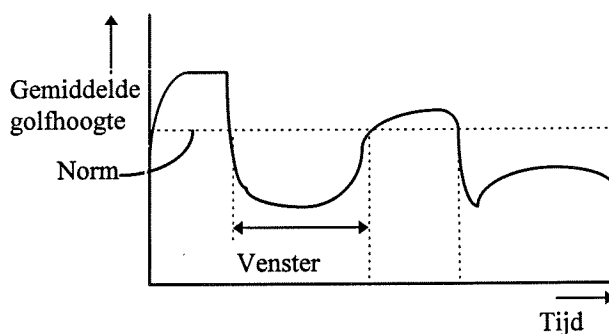
De individuele down-time van een schip mag niet te hoog worden en aan de totale gemiddelde down-time van alle schepen die de haven aandoen worden ook eisen gesteld. In drukke seizoenen kan de down-time heel hoog worden, terwijl door de invloed van de rustige seizoenen de jaarlijkse gemiddelde down-time aan de eisen voldoet.

Voor bepaalde schepen is de down-time in een haven slechts een marginaal deel van de totale duur van zijn vaartocht. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer het laden en lossen van een schip erg lang duurt, of wanneer er grote afstanden worden afgelegd.

Wanneer het scheepsaanbod groot is, kan een aantal wachtende schepen positief werken voor de bezettingsgraad, de tijd die een onderdeel per tijdseenheid effectief wordt benut, van de verschillende onderdelen van de haven.

## 6.10 Vensters

Vensters verbieden bepaalde schepen het gebruik van vaargeulen of faciliteiten bij bepaalde omstandigheden. Buiten het venster mogen schepen geen gebruik maken van het onderdeel van de haven waar het venster op van toepassing is (zie figuur 6.2).



*Figuur 6.2 : Voorbeeld van een venster*

Vensters kunnen bijvoorbeeld worden ingesteld voor omstandigheden zoals lage waterstanden (getijdevenster), sterke stroming (stromingsvenster), harde wind en hoge golven. Schepen kunnen ook geboden worden hun snelheid te beperken in een vaargeul (snelheidsvenster).

Vensters zorgen voor een besparing op de kosten en een verlaging van het risico. Vensters zorgen echter wel voor een vergroting van de down-time binnen een haven. Tussen deze drie variabelen moet een afweging gemaakt worden om de dimensies van een venster te bepalen. Een vergroting van een venster leidt tot een vergroting van de dimensies van een ontwerpvariabele. Een voorbeeld hiervan is dat wanneer een getijdevenster vergroot wordt, de vaargeul dieper gebaggerd zal moeten worden.

## 6.11 Verkeersregulering

Door het reguleren van de verkeersstromen kan een capaciteitswinst binnen de haven ontstaan. De verkeersregulering uit zich in voorrangregels en informatieverschaffing daaromtrent aan de schippers. De wijze waarop de informatie aan de schippers gegeven kan worden, is een randvoorwaarde waar de ontwerper geen invloed op heeft. Bij het ontwerpen van de haven kan de ontwerper wel voorrangregels bedenken om daarmee zijn ontwerp te optimaliseren.

Er kunnen wat betreft de down-time in een haven eisen bestaan die aangeven wat de vertraging voor een individueel schip mag zijn en er kunnen eisen bestaan voor de totale gemiddelde down-time in een haven, wat een maat is voor de capaciteit. Voorrangregels kunnen de wachttijden voor een individueel schip vergroten, maar bij een juist verkeersreguleringsontwerp ontstaat een verlaging van de totale gemiddelde down-time in een haven.

De mate waarin de verkeersstromen gereguleerd dienen te worden, hangt af van de lay-out van de haven. Wanneer er in de haven veel ruimte aanwezig is, leidt de verkeersstroom zichzelf. Bij grote verkeersintensiteit is er een grotere kans dat de verkeersstroom regulering behoeft.

## 6.12 Afhankelijkheden

De afhankelijkheden van de ontwerpvariabelen die in dit hoofdstuk zijn besproken, worden gegeven door een drietal tabellen. Tabel 6.1 geeft de afhankelijkheden van ontwerpvariabelen van andere ontwerpvariabelen aan. In tabel 6.2 zijn de afhankelijkheden van ontwerpvariabelen van randvoorwaarden weergegeven. De variabelen die de kosten van de verschillende onderdelen bepalen, worden gegeven in tabel 6.3.

In deze tabellen zijn net als in de beschrijvingen van de ontwerpvariabelen alle afhankelijkheden waar een ontwerper rekening mee kan houden gegeven. In de eerste beginfasen van het ontwerpproces wordt een groot aantal van deze afhankelijkheden verwaarloosd.

De tabellen dienen van boven naar beneden gelezen te worden. De getallen boven in de tabellen representeren de ontwerpvariabelen die in de eerste tabel in de eerste kolom van boven naar beneden gegeven zijn. Als voorbeeld wordt de afhankelijkheid van de eerste kolom in de eerste tabel hier in woorden besproken. De breedte van de buitenvaargeul is afhankelijk van de diepte van de buitenvaargeul, de lay-out van de buitenvaargeul, van de acceptatie van risico en vertragingen en van vensters.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1. Breedte buitenvaargeul															X				
2. Diepte buitenvaargeul	X	X	X																
3. Lay-out buitenvaargeul	X	X				X											X		
4. Breedte binnenvaargeul																			
5. Diepte binnenvaargeul				X	X														
6. Lay-out binnenvaargeul			X	X	X			X				X			X		X		X
7. Diameter draaibassin								X											
8. Plaats draaibassin						X	X			X					X				X
9. Breedte havenbassins										X									
10. Lay-out havenbassins						X		X	X			X			X				X
11. Type kades												X							
12. Lay-out kades						X			X	X		X	X	X	X		X		X
13. Type golfbrekers													X	X	X				
14. Dimensies golfbrekers														X	X				
15. Lay-out golfbrekers			X			X	X					X	X	X					
16. Acceptatie risico	X	X		X	X			X	X			X		X					X
17. Acceptatie vertragingen	X	X	X	X	X		X	X				X		X	X				X
18. Vensters	X	X		X	X														
19. Verkeersregulering								X											

Tabel 6.1 : Afhankelijkheden tussen ontwerpvariabelen

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Bathymetrie	X	X	X	X	X	X							X	X					
Ontwerpschip	X	X	X	X	X	X	X		X			X						X	
Scheepsaanbod	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X			X	X		X
Waterdichtheid		X			X									X					
Golfveld	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X				
Stromingen	X	X	X	X	X		X	X		X			X	X	X				
Windveld	X	X	X	X	X		X	X	X					X					
Getijde		X			X								X	X					
Tijd		X			X								X	X				X	
Lokatie		X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X		
Droge infrastructuur		X			X														
Informatie	X			X															

Tabel 6.2 : Afhankelijkheden ontwerpvariabelen van randvoorwaarden

	Baggerkosten buitenvaargeul	Baggerkosten binnenvaargeul	Baggerkosten draaibassins	Baggerkosten havenbassins	Kosten kades	Kosten golfbrekers
Breedte buitengeul	X					
Diepte buitengeul	X					
Lay-out buitengeul	X					
Breedte binnengeul		X				
Diepte binnengeul		X				
Lay-out binnengeul		X				
Diameter draaibassin			X			
Diepte draaibassin			X			
Breedte havenbassin				X		
Diepte havenbassin				X		
Lay-out havenbassin				X		
Lay-out kades					X	
Type golfbreker						X
Lay-out golfbreker						X
Dimensies golfbreker						X
Bathymetrie	X	X	X	X	X	X
Lokatie	X	X	X	X	X	X

Tabel 6.3 : Afhankelijkheden kosten



## 7. Ontwikkeling structuur

In hoofdstuk 4 is beschreven op welke plaatsen het ontwerpproces verbeterd kan worden. In dit hoofdstuk zal worden aangegeven op welke manier HADES dat zal moeten gaan doen. Dit hoofdstuk is op de volgende manier opgebouwd. Eerst wordt in paragraaf 7.1 aangegeven op welke manier HADES verbeteringen in het ontwerpproces aanbrengt. De oplossing bestaat uit twee onderdelen. Deze worden in 7.2 en 7.5 uitgewerkt. Het eerste deel van de oplossing (7.2) bestaat uit twee onderdelen die in de paragrafen 7.3 en 7.4 worden uitgewerkt. Paragraaf 7.6 verwerkt de beschreven oplossingen in een structuur.

### 7.1 Verbeteren ontwerpproces

Figuur 7.1 geeft weer hoe traditioneel de uitwerking plaats heeft van een havenontwerpalternatief. Dit is het deel van het ontwerpproces waar HADES zich op richt.

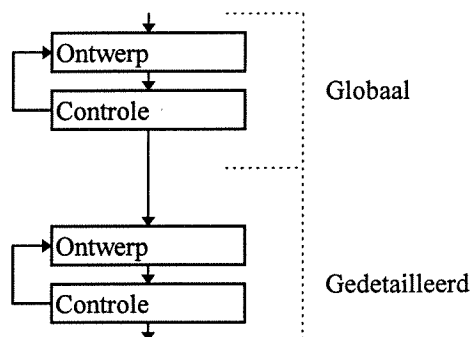
Het ontwerpproces zal op twee manieren verbeterd worden.

Ten eerste wordt getracht het eerste ontwerp te verbeteren. Doordat het eerste ontwerp beter is, kan het aantal iteratiestappen beperkt blijven.

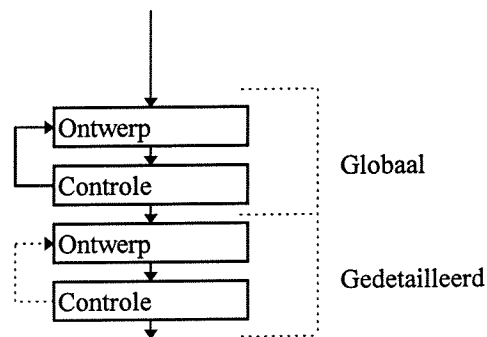
Het verbeteren van het initiële ontwerp zal gebeuren door de verschillende ontwerpvariabelen meer gestructureerd te beschouwen. In paragraaf 7.2 wordt behandeld hoe dit plaats zal vinden.

Ten tweede worden de controles in de globale uitwerkingsfasen door middel van nieuw te ontwikkelen rapid assessment tools nauwkeuriger, maar ook sneller gedaan, zodat het in de gedetailleerde uitwerkingsfase te controleren ontwerp al beter aan de eisen en criteria voldoet en er daar minder terugkoppelingen gemaakt behoeven te worden. Dit wordt verder uitgewerkt in paragraaf 7.5.

Figuur 7.2 geeft weer hoe het ontwerpproces bij het gebruik van HADES er uit moet zien. Hoe verder een blokje naar beneden getekend staat, hoe gedetailleerder hierbij het ontwerp is.



*Figuur 7.1: Traditioneel ontwerpproces*



*Figuur 7.2: Ontwerpproces in HADES*



## 7.2 Verbeteren initieel ontwerp

Het verbeteren van het eerste ontwerp dat in HADES wordt ingevoerd, zal op twee manieren gebeuren. Ten eerste zullen de ontwerpvariabelen stap voor stap volgens een gestructureerd systeem in HADES ingevoerd worden. Ten tweede zullen er tijdens en na het volledig invoeren van een ontwerp een aantal controles plaatshebben, die ogenblikkelijk een aantal incorrecties in het ontwerp detecteren.

### Stap voor stap invoeren van ontwerponderdelen

Wanneer eerst het gehele ontwerp in het systeem ingevoerd wordt waarna de controles plaatsvinden, zal het ontwerp op vele plaatsen niet voldoen. De gebruiker zal alle mankementen moeten verbeteren, maar na het verbeteren zal het ontwerp wederom op een aantal plaatsen niet voldoen. De ontwerper kan door het grote aantal variabelen waar hij tegelijk naar moet kijken het overzicht verliezen. Het aantal iteratieslagen zal daarom groot zijn.

Er wordt daarom voor gekozen het ontwerp stap voor stap volgens een door HADES opgelegd stramien in te voeren. Het systeem draagt zorg voor het overzicht en controleert het ontwerp al doende op incorrecties. Wanneer het ontwerp op een moment tijdens het invoeren niet voldoet, kan direct worden teruggekoppeld naar het bewuste deel van het ontwerp dat niet voldoet. De ontwerper krijgt daardoor niet te maken met een keur aan incorrecties, maar kan zich volledig richten op een klein onderdeel.

Tijdens het invoeren kunnen met vuistregels direct de dimensies aan de verschillende variabelen worden toegekend. Doordat de vuistregels in HADES gestructureerd zijn weergegeven (bijlage A2), behoeft de ontwerper geen tijd te verliezen aan het opzoeken van deze vuistregels.

Zoals uit hoofdstuk 6 blijkt zijn vele ontwerpvariabelen van elkaar afhankelijk. De dimensies van de verschillende variabelen kunnen alleen bepaald worden als de dimensies van andere variabelen al bekend zijn. Er moet geprobeerd worden een volgorde van invoeren van de variabelen te vinden, waarbij er geen, of zo weinig mogelijk terugkoppelingen gemaakt hoeven te worden. Deze volgorde wordt in paragraaf 7.3 verder uitgewerkt.

### Controles

Tijdens het stap voor stap invoeren van het ontwerp en direct er na moet een aantal controles plaatshebben. Er worden hier drie soorten controles bedoeld. De controles van de impact van de haven volgen in een later stadium.

- **Afhankelijkheid**

Er bestaan bepaalde afhankelijkheden tussen ontwerpvariabelen en deze móeten ook in het ontwerp zitten. Voor een deel vindt deze controle plaats tijdens het stap voor stap invoeren van het ontwerp. De vaste volgorde van invoeren en de vuistregels houden namelijk al rekening met de afhankelijkheden. Na het invoeren van de ontwerpvariabelen vindt een controle plaats die het gehele ontwerp nogmaals bekijkt. Dit wordt verder behandeld in paragraaf 7.4.

- **Volledigheid**

Alle aspecten moeten in het ontwerp aanwezig zijn. Doordat er een vaste volgorde van invoeren is, is er al gegarandeerd dat er geen onderdelen vergeten worden.

- **Fysische haalbaarheid**

Verschillende onderdelen in het ontwerp gebruiken een bepaalde ruimte. Zij mogen elkaar niet overlappen. Deze controle vindt plaats tijdens het invoeren van de ontwerpvariabelen. Er wordt bij het invoeren van een nieuwe variabele gewaarschuwd dat de dimensies van de nieuwe variabele een al

- **Diepte draaibassins**

De diepte van de draaibassins kan op dezelfde wijze bepaald worden als de diepte van de binnenvaargeul.

- **Plaats draaibassins**

Aan de buitenzijde van **havenbassins** liggen draaibassins. De **diameter van het draaibassin** is benodigd om het ruimtebeslag in rekening te brengen.

- **Breedte havenbassins**

Met vuistregels kan de benodigde breedte van de havenbassins bepaald worden. Hiertoe zijn de breedtes en lengtes van de schepen (*scheepsaanbod* en *ontwerpschip*) nodig en tevens moet bekend zijn of er sleepboten gebruikt worden (*lokatie*). Verder moet de **lay-out van de kades** bekend zijn, zodat bekend is of er aan twee zijden aangelegd wordt.

- **Diepte havenbassins**

De diepte van de havenbassins kan bepaald worden uit de statische diepgang van het *ontwerpschip*.

- **Lay-out havenbassins**

Wanneer de **breedte van de havenbassins** en de **lay-out van de kades** bekend zijn, ligt de lay-out van de havenbassins vast.

- **Type kade**

Aan de hand van het *scheepsaanbod* kan een kadetype (kademuur of kadepier) bepaald worden.

- **Kadelengtes en kaderichtingen**

Uit het *scheepsaanbod* en de *scheepsgroottes* wordt een aantal kades of een totale kadelengte bepaald. Tevens worden de **tussenruimtes** bepaald. Hiervoor is ook de **acceptatie van vertraging** van belang. Vooral uit de ligging van de kustlijn (*lokatie*) kan de richting bepaald worden.

- **Lay-out kades**

Met behulp van de *lokatie*, de *droge infrastructuur*, het **aantal kades** en de **richting** van de kades kan een lay-out van de kades getekend worden.

- **Type golfbreker**

Uit het *golfveld*, de *bathymetrie*, de waterstand (*getijde*) en de *bouwtijd* wordt het type golfbreker gekozen. Uit de **lay-out van de kades** blijkt of de golfbrekers als kademuur gebruikt moeten worden.

- **Lay-out golfbrekers**

De golfbrekers worden om de gehele **haven** heengelegd. Alle onderdelen moeten dus binnen de golfbrekers liggen. De golfbrekers lopen door tot het begin van de binnenvaargeul. De uiteinden van de golfbrekers worden zo gepositioneerd, dat de richting van de opening niet dezelfde is als de *golfrichting*. Ook de *stromingsrichting* moet afwijken van de openingsrichting tussen de golfbrekers.

- **Dimensies golfbrekers**

De verschillende dimensies volgen vooral uit het *golfveld*. De andere randvoorwaarden die van belang zijn, zijn de *lokatie*, in verband met de beschikbaarheid van beton en stenen, de waterstand (*getijde*), de *stroming* en de *bathymetrie*.

Het bovenstaande wordt samengevat in tabel 7.1.

ingevoerde variabele overlappen. Deze controle moet plaatsvinden na elke verandering in het ontwerp, dus ook na een iteratieslag.

## 7.3 Structuur stap voor stap invoeren

In hoofdstuk 6 van dit rapport zijn de ontwerpvariabelen besproken. Tevens zijn de afhankelijkheden hiertussen bepaald. Deze afhankelijkheden behoeven niet allemaal beschouwd te worden in de conceptontwerpfase. Eerst wordt hier per variabele een overzicht gegeven van de afhankelijkheden die wel beschouwd worden en daarna wordt de optimale volgorde van invoeren van de verschillende variabelen bepaald. Hierbij wordt geprobeerd de volgorde zo te maken dat zo weinig mogelijk aannames gedaan hoeven te worden.

De ontwerpvariabelen zijn in de beschrijving dikgedrukt, de randvoorwaarden schuin.

- **Breedte buitenvaargeul**

De breedte van de buitenvaargeul kan met vuistregels bepaald worden. Van belang zijn de manoeuvreerbaarheid van het *ontwerpschip*, die mede afhankelijk is van de snelheid van het schip (**lay-out buitenvaargeul**), de *wind*, de *stroming*, de *golven*, de *informatie* en de **diepte van de buitenvaargeul**, de breedte van het ontwerpschip, het risico, dat afhankelijk is van de hardheid van de bodem (*bathymetrie*) en het *scheepsaanbod* en het aantal vaarbanen dat afhankelijk is van het scheepsaanbod.

- **Diepte buitenvaargeul**

Een eerste schatting voor de diepte van de buitenvaargeul kan gedaan worden met behulp van simpele vuistregels. Hiervoor moet kennis bestaan over de diepgang van het *ontwerpschip*, het *golfveld* en de *bathymetrie*.

- **Lay-out buitenvaargeul**

Voor het tekenen van de lay-out van de buitenvaargeul moet de richting van de aankomende schepen bekend zijn om de richtingen van de vaargeul te bepalen (*scheepsaanbod*). Voor de bepaling van deze richting zijn ook de *bathymetrie*, de *golven*, *stromingen* en *wind* nodig. De buitenvaargeul moet aansluiten op het beginpunt van de **binnenvaargeul**. De bathymetrie moet verder bekend zijn omdat de vaargeul zo veel mogelijk door de diepste gedeeltes heen geleid moet worden. De **diepte van de buitenvaargeul** moet daarom ook bekend zijn.

- **Breedte binnenvaargeul**

Met vuistregels kan een eerste schatting gedaan worden over de breedte van de binnenvaargeul. Hiertoe moet het aantal vaarbanen bepaald worden (*scheepsaanbod*, **acceptatie vertraging**), de breedte die per vaarbaan benodigd is (*ontwerpschip*, sleepboten (*lokatie*) en de tussenafstanden (*scheepsaanbod*, *bathymetrie*). De manoeuvreerbaarheid van de schepen is minder van belang bij het gebruik van sleepboten.

- **Diepte binnenvaargeul**

De diepte van de binnenvaargeul kan op dezelfde wijze bepaald worden als de diepte van de buitenvaargeul. De snelheden, golven en stromingen zullen echter lager zijn, zodat de vuistregels lagere dieptewaarden zullen geven.

- **Lay-out binnenvaargeul**

De benodigde lengte van de binnenvaargeul moet als eerste bepaald worden uit het *ontwerpschip* en het gebruik van sleepboten. Hierna moet uit de **plaats van het draaibassin** het einde van de binnenvaargeul gedefinieerd worden. De richting volgt uit de richting waaruit schepen komen (*scheepsaanbod*), de **lay-out van de kades en de havenbassins** en de **lay-out van de buitenvaargeul**.

- **Diameter draaibassins**

Met behulp van vuistregels kan bepaald worden welke diameters de verschillende draaibassins moeten hebben. Hiertoe moet het *ontwerpschip* voor elk draaibassin bekend zijn. Uit gegevens over de *lokatie* en het ontwerpschip kan bepaald worden of sleepboten gebruikt worden.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1. Breedte buitenvaargeul																		X
2. Diepte buitenvaargeul	X		X															
3. Lay-out buitenvaargeul	X																	
4. Breedte binnenvaargeul																		
5. Diepte binnenvaargeul																		
6. Lay-out binnenvaargeul			X						X									X
7. Diameter draaibassin									X									
8. Diepte draaibassin																		
9. Plaats draaibassin						X												X
10. Breedte havenbassins												X						
11. Diepte havenbassins																		
12. Lay-out havenbassins						X			X									X
13. Type kades														X				
14. Lay-out kades						X				X		X			X			X
15. Type golfbreker																X		X
16. Dimensies golfbreker																		
17. Lay-out golfbreker																	X	

Tabel 7.1 : Afhankelijkheden binnen HADES

Er wordt, omwille van de overzichtelijkheid voor de gebruiker, voor gekozen om de variabelen, die bij een onderdeel van de haven horen, bij elkaar te behandelen. Dus wanneer de buitenvaargeul behandeld wordt, worden de diepte, de breedte en de lay-out bepaald en pas daarna wordt een ander onderdeel behandeld.

Het lijkt het meest logisch om óf van de kust naar de zee óf andersom te werken. Wanneer vanaf de kust naar de zee gewerkt wordt, moet de volgorde zijn:

- |                     |                     |                  |
|---------------------|---------------------|------------------|
| 1. Kades ⇒          | 2. Havenbassins ⇒   | 3. Draaibassin ⇒ |
| 4. Binnenvaargeul ⇒ | 5. Buitenvaargeul ⇒ | 6. Golfbrekers   |

Een probleem bij deze volgorde is dat de lay-out van de binnenvaargeul afhankelijk is van de lay-out van de buitenvaargeul. Vooral de richting van de buitenvaargeul is hierbij van belang.

Wanneer van de zee naar de kust gewerkt wordt moet de volgorde zijn:

- |                     |                     |                  |
|---------------------|---------------------|------------------|
| 1. Buitenvaargeul ⇒ | 2. Binnenvaargeul ⇒ | 3. Draaibassin ⇒ |
| 4. Havenbassins ⇒   | 5. Kades ⇒          | 6. Golfbrekers   |

Bij deze volgorde is het probleem dat de plaats van de binnenvaargeul afhankelijk is van de lay-out van de kades, het draaibassin en de havenbassins. Tevens is de plaats van het beginpunt van de buitenvaargeul (kustzijde) afhankelijk van de plaats van de binnenvaargeul.

Er wordt voor gekozen om op twee punten tegelijk te beginnen. Er wordt zowel aan de kustzijde als aan de zeezijde begonnen met het dimensioneren van de ontwerpvariabelen. De twee aparte delen van de haven worden later in elkaar geschoven.

Aan de zeezijde wordt begonnen met de buitenvaargeul, gevolgd door de binnenvaargeul. Van deze delen worden alle dimensies bepaald, behalve de plaatsing in de omgeving. Doordat deze niet ontworpen wordt, is de lay-out van de buitenvaargeul ook niet afhankelijk van de lay-out van de binnenvaargeul. Deze afhankelijkheid vloeide namelijk voort uit het feit dat de plaats van de buitenvaargeul bepaald moest worden.

Aan de kustzijde wordt begonnen met de kades, gevolgd door de havenbassins en het draaibassin. Alle dimensies hiervan worden bepaald. Er wordt afgesloten met het ontwerpen van de golfbrekers om de haven heen.

Voor het eerste deel kan begonnen worden met het kiezen van het type kade. Deze keuze is slechts afhankelijk van randvoorwaarden. De lay-out van de kades is slechts afhankelijk van het type kade. Deze kan daarom hierna bepaald worden. Hierna moeten de dimensies van de havenbassins bepaald worden. Het draaibassin is namelijk wel afhankelijk van het havenbassin en dat geldt niet andersom. De breedte en de diepte van de havenbassins zijn slechts afhankelijk van het type kade en randvoorwaarden en deze variabelen kunnen daarom eerst bepaald worden. De lay-out kan met een bekende breedte ook gevonden worden. De breedte en de diepte van het draaibassin kunnen ook door rekening te houden met de randvoorwaarden gevonden worden. De plaats van het draaibassin is nu slechts afhankelijk van bekende variabelen. De volgende volgorde wordt gevonden:

- |                          |                           |                            |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1. Type kade ⇒           | 2. Lay-out kades ⇒        | 3. Breedte havenbassins ⇒  |
| 4. Diepte havenbassins ⇒ | 5. Lay-out havenbassins ⇒ | 6. Diameter draaibassins ⇒ |
| 7. Diepte draaibassins ⇒ | 8. Plaats draaibassins ⇒  |                            |

De lay-out van de buitenvaargeul en die van de binnenvaargeul zijn van elkaar afhankelijk omdat zij op elkaar moeten aansluiten. De richting en de dimensies van de buitenvaargeul worden echter onafhankelijk van de binnenvaargeul bepaald. Zij worden vooral bepaald door randvoorwaarden, zoals de wind, stroming, golven en de richting waar schepen naar toe varen. Deze zijn allen bekend. De plaats waar de buitenvaargeul stopt aan de havenzijde is nog niet bekend. Wanneer de twee delen van de haven aan elkaar gekoppeld worden, kan deze met behulp van randvoorwaarden bepaald worden. De dimensies van de binnenvaargeul kunnen in willekeurige volgorde ontworpen worden.

- |                              |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 9. Diepte buitenvaargeul ⇒   | 10. Lay-out buitenvaargeul ⇒ | 11. Breedte buitenvaargeul ⇒ |
| 12. Breedte binnenvaargeul ⇒ | 13. Diepte binnenvaargeul ⇒  | 14. Lay-out binnenvaargeul ⇒ |

De golfbrekers zijn afhankelijk van de gehele haven en worden daarom als laatste bepaald. Dit gebeurt pas nadat de twee delen in elkaar geschoven zijn. Aangezien de beide andere variabelen afhankelijk zijn van het type golfbreker wordt het type als eerste bepaald. De dimensies zijn wel afhankelijk van de lay-out en dit geldt niet andersom. Daarom wordt eerst de lay-out bepaald en wordt afgesloten met de dimensies.

- |                        |                           |                           |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 15. Type golfbrekers ⇒ | 16. Lay-out golfbrekers ⇒ | 17. Dimensies golfbrekers |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|

Het eerste deel van de haven is het deel dat aan de kust vastligt. Het tweede deel zijn de vaargeulen. Met dit tweede deel kan worden geschoven qua plaats. Deze kan in het eerste deel geschoven worden, waarbij alle overgebleven afhankelijkheden in ogenschouw genomen worden (zoals het feit dat de vaargeul niet vlak naast een havenbassin mag liggen en dat de vaargeul moet aansluiten op het draaibassin).

## 7.4 Controle afhankelijkheid

De controle voor de afhankelijkheden wordt binnen HADES voorgesteld als een checklist. Met behulp van deze lijst kan gecontroleerd worden of bepaalde havenonderdelen wel aan elkaar grenzen, of juist niet. Het voordeel van de lijst is dat de ontwerper rekening houdt met alle afhankelijkheden en dat hij nogmaals kritisch naar het ontwerp kijkt.

De lijst zelf kan opgesteld worden voor een standaardhaven. Bepaalde delen van de lijst zullen niet van toepassing zijn op bepaalde havens. De numerieke waarden die bij de onderdelen van de lijst horen,

volgen uit de eisen die al voor het gebruik van HADES zijn vastgesteld. De te gebruiken onderdelen van de lijst en de numerieke waarden die erbij horen moeten tijdens het gebruik van HADES bepaald worden.

Een voorbeeld van zo'n lijst is hieronder gegeven. Deze lijst is niet volledig. In een later stadium zal meer onderzoek naar deze lijst gedaan moeten worden.

- Kades mogen niet dicht bij vaargeulen liggen.
- Schepen aan kades moeten voldoende tussenruimte hebben.
- Schepen aan kades moeten voldoende tussenruimte hebben met een zijmuur.
- Kades mogen niet te dicht bij elkaar liggen.
- De buitenvaargeul moet zowel qua richting als plaats aansluiten op de binnenvaargeul.
- Bochten in de buitenvaargeul mogen niet te dicht bij de haveningang liggen.
- Boogstralen van bochten mogen niet te klein zijn.
- Bochten mogen niet te dicht bij elkaar liggen.
- De richting van de buitenvaargeul moet afwijken van de golfrichting.
- De richting van de buitenvaargeul mag niet teveel afwijken van de richting van de golven.
- Dwarsstroming moet vermeden worden in vaargeulen.
- De opening tussen de golfbrekers moet net zo groot zijn als de breedte van de buitenvaargeul aldaar.
- De golfbrekers moeten doorlopen tot het einde van de binnenvaargeul.
- Er mogen geen bochten in de binnenvaargeul liggen.
- De binnenvaargeul moet aansluiten op een draaibassin.
- Elk havenbassin moet aansluiten op een draaibassin.
- Op elke plaats waar schepen binnen de haven van richting moeten veranderen, moet een draaibassin liggen.

## 7.5 Verbeteren controleberekeningen

De controles voor de impact van een haven worden in de globale uitwerkingsfasen uitgevoerd met behulp van vuistregels en rapid assessment tools. Bij het gebruik van vuistregels worden alle onderdelen van de haven apart bekeken. De rapid assessment tools kennen vele beperkingen en vereenvoudigingen van de situatie. Daardoor moeten er in volgende fasen nog een aantal iteraties plaatsvinden. In die fasen worden computerprogramma's gebruikt waarvan het gebruik redelijk veel tijd in beslag neemt.

Om het proces te verbeteren moeten er nieuwe rapid assessment tools ontwikkeld worden. Deze tools worden ingezet in een fase waarin het ontwerp geoptimaliseerd wordt. Er moet vaak geïtereerd worden en de controles moeten daarom vaak uitgevoerd worden. Daarom moeten de tools vooral snel resultaten geven. De resultaten moeten redelijk nauwkeurig zijn, nauwkeuriger dan de resultaten die nu met vuistregels verkregen worden. Er moet echter wel gerealiseerd worden dat na het gebruik van HADES een fase volgt waarin nogmaals controles plaatsvinden.

Het doel is dus de ontwikkeling van tools, die vooral snel resultaten geven. Er wordt om dit te bereiken ten aanzien van deze tools een aantal aanbevelingen gedaan.

- Geïntegreerd controlepakket  
Alle controles vinden plaats met hetzelfde programma. De situatie hoeft dan maar één keer ingevoerd te worden. Tevens hoeft de situatie niet voor elke controle aangepast te worden na een iteratieslag. Dit gebeurt dan automatisch binnen het programma.

- **Aparte controleberekeningen**

De verschillende controles moeten onafhankelijk van elkaar uitgevoerd worden. Er hoeft tijdens het optimaliseren van een onderdeel van het ontwerp geen tijd verloren te worden met de berekening van andere aspecten.

- **Handmatig vereenvoudigen**

De gebruiker moet zelf aan kunnen geven in welke mate hij snelheid laat prefereren boven nauwkeurigheid. De tool moet alle aspecten kunnen meenemen, maar zo zijn gebouwd dat aspecten ook verwaarloosd kunnen worden. Naarmate het proces vordert, wordt de nauwkeurigheid groter.

## **Type controles**

Er wordt aangeraden in deze fase de volgende controles uit te voeren.

- **Golfindringing**

Bekeken moet worden of de golven tijdens het afmeren, tijdens het varen en tijdens het laden en lossen niet te hoog zullen worden. In deel C van dit rapport wordt deze controle verder uitgewerkt.

- **Stromingen**

De stromingen zijn van belang voor de manoeuvreerbaarheid van de schepen, voor de krachten op afgemeerde schepen en voor het sedimenttransport.

- **Sedimenttransport**

De controles voor het sedimenttransport zijn van belang om te controleren of de invloed van de haven op de kust niet te groot is en of er daarbij maatregelen benodigd zijn. Verder is het sedimenttransport van belang voor de aanslibbing in vaargeulen.

- **Capaciteit**

Een haven wordt ontworpen omdat er een capaciteitsprobleem is. De controle van de gerealiseerde capaciteit is dus van groot belang. Hierbij moet de controle kunnen plaatsvinden voor de gehele haven en voor de aparte onderdelen hierin.

- **Kosten**

De belangrijkste kosten bestaan uit de kosten voor het bouwen van de golfbrekers, het bouwen van de kades en het baggeren van de vaargeulen. De kosten zijn vooral van belang bij de afweging tussen verschillende alternatieven.

- **Manoeuvreerbaarheid schepen**

Schepen moeten snel en gemakkelijk kunnen manoeuvreren in de haven. De lay-out van de vaargeulen moet daarom hier gecontroleerd worden. De invloeden van wind, golven, stromingen, diepte van de vaargeulen beïnvloeden de manoeuvreerbaarheid.

- **Diepte vaargeulen**

Bij de controle van de diepte wordt gecontroleerd wat de kans is op bodemcontact van een schip. De kans hierop kan getoetst worden met de eerder bepaalde waarde voor de acceptatie van risico.

## **7.6 Weergave structuur**

HADES bestaat uit een aantal gespecificeerde onderdelen. Ze worden in de structuur weergegeven door middel van modules. Een module is een afgezonderd gedeelte van het systeem, waar een specifiek aantal handelingen wordt uitgevoerd. De modules kunnen afzonderlijk worden aangeroepen binnen

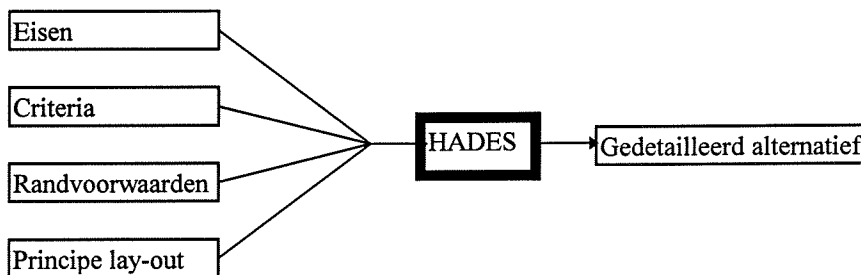
HADES en afzonderlijk worden ontwikkeld. Verschillende modules kunnen op meerdere plaatsen binnen het proces aangeroepen worden.

De in de vorige paragrafen beschreven oplossingen zijn delen van HADES. Zij worden hieronder eerst apart behandeld. Tezamen met enkele nog niet in dit hoofdstuk behandelde delen vormen zij de totale structuur van HADES. De paragraaf wordt afgesloten met deze structuur, die wordt weergegeven in de vorm van een stappenplan.

### Invoer en uitvoer

In hoofdstuk 4 van dit rapport is beschreven bij welke fasen binnen het ontwerpproces HADES behulpzaam moet kunnen zijn.

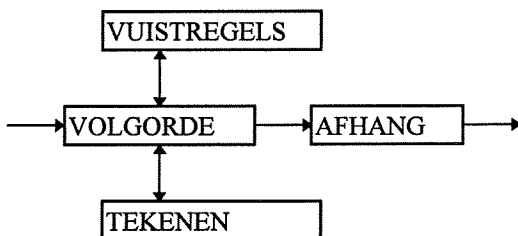
De invoer en uitvoer van HADES, die daar beschreven is wordt hier in diagramvorm nogmaals weergegeven (figuur 7.3).



*Figuur 7.3 : In- en uitvoer HADES*

### Structuur invoer ontwerpvariabelen

Figuur 7.4 geeft de structuur weer voor de invoer van de ontwerpvariabelen.



*Figuur 7.4 : Invoer ontwerpvariabelen*

Tijdens het doorlopen van VOLGORDE worden VUISTREGELS en TEKENEN continu aangeroepen. Na het volledig invoeren van het ontwerp wordt AFHANG aangeroepen. Wanneer uit de controles blijkt dat de afhankelijkheden niet volledig in het ontwerp zitten, wordt niet teruggekoppeld, maar wordt het ontwerp veranderd via CENTRAAL.

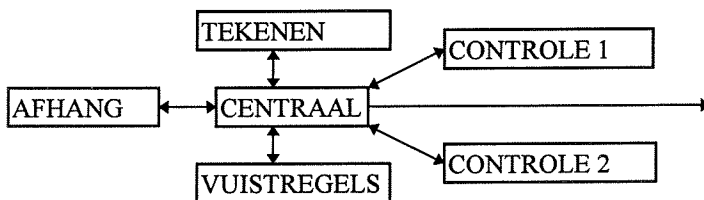


### Iteratief verbeteren ontwerp

Tijdens dit proces worden de controles uitgevoerd. Wanneer na een controle blijkt dat het ontwerp niet voldoet, kan teruggekoppeld worden naar de tekenfase, waarin het ontwerp aangepast wordt. Er is geen duidelijk onderscheid te maken binnen de structuur van dit optimaliseringsproces tussen verschillende maten van nauwkeurigheid. Het ontwerp evalueert naar een ontwerp, dat aan de wensen van de gebruiker voldoet.

Midden in het proces ligt de module CENTRAAL, van waaruit gekozen kan worden voor een handeling. Ook AFHANG kan gekozen worden in deze fase.

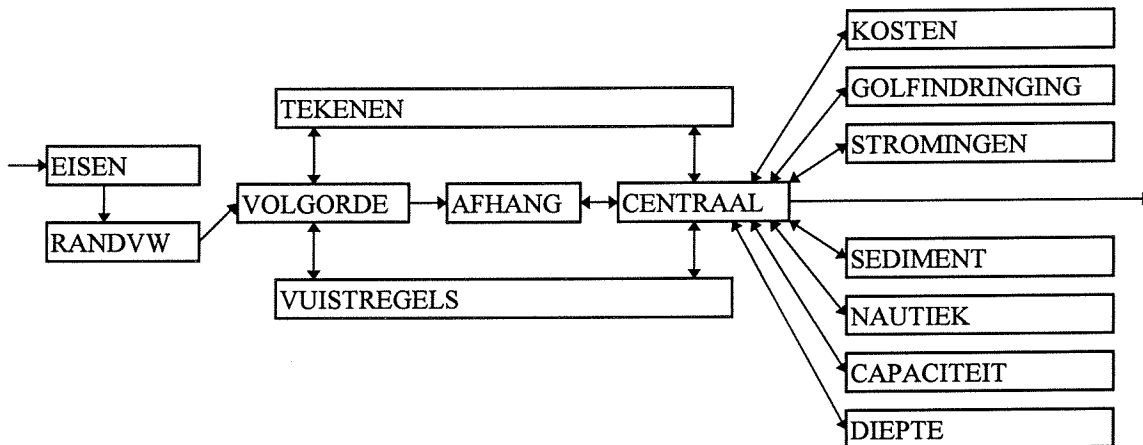
De structuur is getekend in figuur 7.5.



Figuur 7.5 : Iteratief verbeteren ontwerp

### Stappenplan

Het resulterende stappenplan wordt weergegeven in figuur 7.6. De lijnen stellen stappen voor. Wanneer er meerdere lijnen vertrekken uit een module kunnen er meerdere stappen gekozen worden.

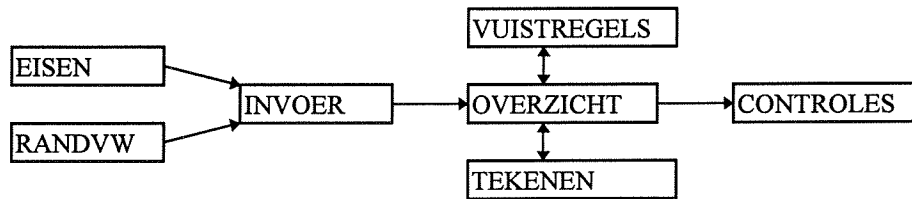


Figuur 7.6 : Stappenplan HADES

### Informatiestromen

Er is voor gekozen de informatie-uitwisseling en de door de gebruiker te volgen stappen te scheiden. Dit is gedaan ten behoeve van de overzichtelijkheid.

De informatiestromen binnen HADES zijn weergegeven in figuur 7.7.



**Figuur 7.7:** Informatiestromen

De enige plaatsen waar informatie wordt opgeslagen zijn de modules INVOER en OVERZICHT. De enige plaatsen waar de situatie kan veranderen, zijn VUISTREGELS en TEKENEN. In VUISTREGELS kunnen dimensies veranderen en in TEKENEN de lay-out. INVOER kan gebruikt worden om meerdere alternatieven te ontwerpen in dezelfde situatie.

### Overzicht modules

De volgende modules komen voor in HADES:

- **EISEN**

In de module EISEN worden alle eisen ingevoerd. De module zal zelf vragen om invoer zodat de eisen overzichtelijk ingevoerd worden. Onderzoek bij projecten die al uitgevoerd zijn moeten gebruikelijke eisen opleveren.

- **RANDVW**

In de module RANDVW worden alle randvoorwaarden ingevoerd. Alle randvoorwaarden die nodig zijn in het ontwerpproces worden stuk voor stuk ingevoerd. De module zal zelf vragen om invoer, zodat er geen randvoorwaarden vergeten kunnen worden.

- **INVOER**

De module INVOER is een database waarin alle randvoorwaarden en eisen worden opgeslagen. Met het gebruik van deze module kunnen meerdere alternatieven uitgewerkt worden. De informatie hoeft slechts eenmaal ingevoerd te worden.

- **VOLGORDE**

Deze module is beschreven in paragraaf 7.3. De module voert de gebruiker door het invoeren van het ontwerp. Het roept de module TEKENEN aan om de situatie grafisch weer te geven en VUISTREGELS om dimensies aan de variabelen te geven.

- **VUISTREGELS**

De module VUISTREGELS is een rekenmodule waarin alle vuistregels die nodig zijn voor een ontwerp zijn opgenomen. De invoer bestaat uit de eisen en randvoorwaarden en de situatie. De uitvoer is een numerieke waarde voor de dimensie van een variabele.

- **TEKENEN**

In deze module wordt de situatie veranderd en grafisch weergegeven. De module moet een tekenprogramma zijn.

- **AFHANG**

In paragraaf 7.4 is deze controlemodule beschreven. Het is een checklist die toetst of met alle afhankelijkheden rekening is gehouden.

- **CENTRAAL**

De module CENTRAAL is niet meer dan een keuzemenu. HADES keert altijd terug naar deze module en van hieruit kan de volgende actie bepaald worden.

- **OVERZICHT**

In deze module wordt de gehele situatie opgeslagen. Alle modules die voor berekeningen, grafische weergaven en dergelijke informatie nodig hebben, halen dat uit deze module. Alle veranderingen worden ook automatisch hier opgeslagen.

- **GOLFINDRINGING, NAUTIEK, SEDIMENT, STROMING, CAPACITEIT, DIEPTE, KOSTEN**

Deze controlemodules zijn beschreven in paragraaf 7.5. Ze berekenen slechts de situatie. Er kunnen geen veranderingen aan het ontwerp in worden aangebracht. Dat gebeurt in TEKENEN.

**Deel C:  
CHarON**

## 8. Inleiding CHarON

In deel B van dit rapport is het havenontwerp systeem HADES besproken. Beschreven is dat er als onderdeel van dat systeem een aantal rapid assessment tools ontwikkeld dienen te worden. Deze tools zullen de controleberekeningen voor de impact van de haven op zichzelf en de omgeving moeten uitvoeren.

Om duidelijk te maken op welke manier de rapid assessment tools zullen moeten gaan werken, is er in het kader van dit rapport één tool verder uitgewerkt. Er is voor gekozen een hulpmiddel voor de bepaling van de golfindringing in havens te ontwikkelen. Dit hulpmiddel wordt in de vorm van een computerprogramma aangeboden. De manier waarop het programma werkt, moet als voorbeeld dienen bij de ontwikkeling van de andere tools binnen HADES en geldt tevens als opzet voor de ontwikkeling van het uiteindelijke golfindringingsprogramma.

CHarON (Computerprogram for HARbour OscillatioN) zal in deel C van dit rapport beschreven worden. De beschrijving begint met een analyse van het probleem in hoofdstuk 9. Hierin wordt afgebakend wat CHarON moet doen en moet kunnen. In hoofdstuk 10 wordt de te gebruiken theoretische achtergrond over golfindringing behandeld. Vervolgens wordt in hoofdstuk 11 beschreven op welke manier CHarON geprogrammeerd is en welke stappen het programma maakt om berekeningen te maken. Om te toetsen of het programma op de juiste wijze werkt, worden in hoofdstuk 12 resultaten vergeleken met het computerprogramma DIFFRAC. Hieruit volgen enkele conclusies en aanbevelingen voor verdere ontwikkeling van CHarON. Deze zijn in hoofdstuk 13 op papier gesteld.

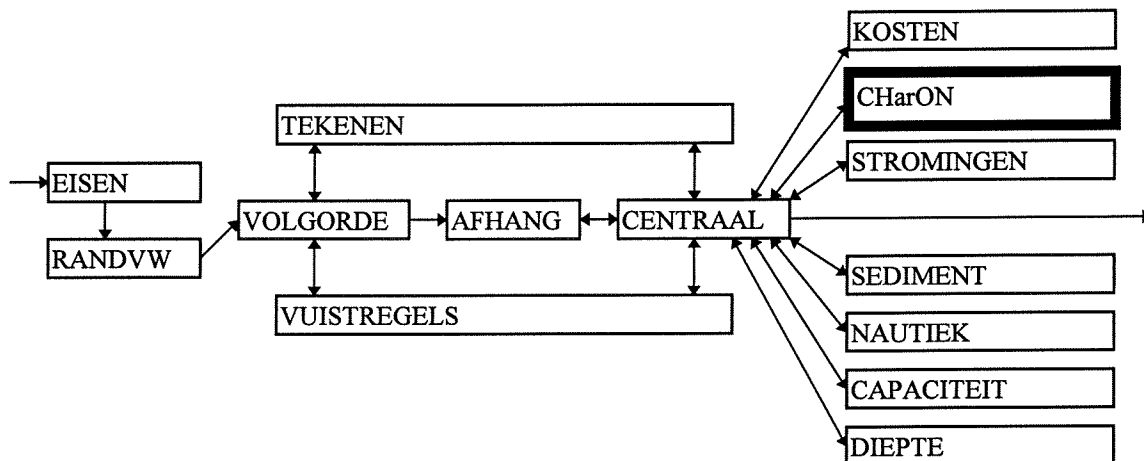


## 9. Probleemanalyse CHarON

### 9.1 Relatie CHarON-HADES

CHarON moet een onderdeel worden van HADES. Dit betekent dat CHarON dezelfde algemene randvoorwaarden en uitgangspunten dient te hebben als HADES en dat CHarON tijdens dezelfde ontwerpfasen gebruikt moet worden. Aangezien CHarON het eerste deel van HADES is dat in de vorm van een computerprogramma ontwikkeld wordt, is het onmogelijk nu al dit programma te integreren in het grotere geheel dat HADES is. Verder worden de andere delen van HADES pas in latere stadia ontwikkeld door andere personen. Daarom wordt CHarON als een apart programma geprogrammeerd, waarbij er rekening mee moet worden gehouden dat dit programma, of de methodiek, later in HADES ingebouwd moet worden.

Figuur 9.1 geeft nogmaals de structuur van HADES weer. De plaats van CHarON hierin is duidelijker aangegeven.



*Figuur 9.1: CHarON binnen stappenplan HADES*

CHarON neemt dus een plek in waar het ontwerp geoptimaliseerd wordt. De golfindringing moet berekend worden, waarna de resultaten getoetst worden. Hierna wordt het ontwerp aangepast en wederom doorgerekend met CHarON. Het programma wordt dus in een iteratieve ontwerpfase gebruikt.

### 9.2 Golfindringing

Een haven is per definitie een plaats waar schepen beschermd kunnen liggen, aanleggen, manoeuvreren, laden en lossen. Invloeden die ervoor zorgen dat deze acties niet op elke plaats op zee mogelijk zijn, zijn wind, stroming en golven. Golfbrekers zorgen er in de praktijk voor dat de haven een beschermde plaats is. Tussen de golfbrekers of naast de golfbrekers zit altijd een opening waarlangs schepen de haven binnenkomen. Golven kunnen echter ook via deze opening de haven binnendringen.

Schepen kunnen hun acties slechts bij beperkte golfhoogte uitvoeren. Elk scheepstype kent een maximale golfhoogte waarbij een specifieke actie uitgevoerd kan worden. In elk deel van de haven geldt daarom een andere norm voor de maximale golfhoogte. Geprobeerd moet worden met zo laag en zo klein mogelijke golfbrekers aan de normen voor de golfhoogten in de verschillende delen van de haven te voldoen, zodat de kosten beperkt blijven. De procedure die gebruikt wordt om dit te bereiken is de volgende. Er wordt een voorlopige configuratie bedacht. Deze wordt gecontroleerd en daarna aangepast. Na een aantal iteraties zijn de golfbrekers zo gepositioneerd dat de golven op de verschillende plaatsen in de haven aan de eisen van de ontwerper voldoen.

### 9.3 Doelstelling

De doelstelling voor CHarON is de volgende:

*Het doel van de studie is de ontwikkeling van een computerprogramma waarmee snel de golfhoogte op verschillende plaatsen in een willekeurige haven bepaald kan worden.*

### 9.4 Randvoorwaarden en uitgangspunten

#### **Aannames ten aanzien van de programmeertaal**

De programmeertaal waarin andere delen van HADES ontwikkeld gaan worden is op het moment van ontwikkelen van CHarON nog niet bekend. Deze keuze kan ook niet in dit verslag gemaakt worden.

#### *Programmeertaal*

Er wordt voor gekozen CHarON in de taal 'TURBO PASCAL' te schrijven. Met deze taal kan overzichtelijk worden weergegeven welke acties binnen een programma in welke volgorde gemaakt worden. De methodiek van het programma kan daarom duidelijk worden weergegeven en deze methodiek kan in de latere ontwikkeling van HADES geprogrammeerd worden in een andere taal.

#### *Grafische interface*

PASCAL kent niet veel grafische mogelijkheden. Aangezien CHarON in een latere fase geïntegreerd moet worden in een groter geheel in een andere, wellicht grafisch meer ontwikkelde, taal, zal er niet overmatig veel aandacht worden besteed aan de grafische interface. De weergave van de gebruikte methodiek is in deze fase belangrijker.

#### **Aannames ten aanzien van de interface**

CHarON moet een rapid assessment tool worden. Het programma wordt gebruikt in een iteratieve optimaliseringsfase, waarbij het programma een aantal keer achter elkaar aangeroepen wordt. CHarON moet daarna het model met enigszins veranderde configuratie opnieuw doorrekenen. Dit betekent voor het programmeren van CHarON het volgende:

#### *Iteratief proces*

Binnen het programma moet het mogelijk zijn de resultaten te aanschouwen, om direct daarna het model aan te passen. Er mag geen tijd verloren gaan met het opnieuw invoeren van de situatie.



*Veranderen invoer*

Het moet mogelijk zijn de invoer slechts op een bepaald onderdeel te veranderen. De gebruiker dient niet de gehele situatie nogmaals te hoeven doorlopen om een nieuwe berekening te starten.

*Invoer bewaren*

Door de mogelijkheid te bieden de invoer te bewaren hoeft geen tijd verloren te gaan met het nogmaals invoeren van de situatie. Een kleine verandering aanbrengen is voldoende.

*Handmatig vereenvoudigen*

In hoofdstuk 7 staan enkele aanbevelingen voor het verbeteren van de controleberekeningen binnen HADES. Het integreren van de verschillende controles kan in deze fase niet gebeuren, omdat er slechts één onderdeel ontwikkeld wordt. De verschillende controles in aparte programma's gebeurt automatisch, omdat de verschillende delen apart ontwikkeld worden. Met het handmatig vereenvoudigen moet in de ontwikkeling van CHarON wel rekening worden gehouden. Het moet mogelijk zijn binnen het programma de gebruiker aan te laten geven welke vereenvoudigingen er toegepast moeten worden. Naarmate het optimaliseringsproces vordert, zal de rekentijd toenemen, maar zal de nauwkeurigheid groter worden.

*Korte rekentijd*

De rekentijd moet kort zijn. Er wordt geen eis gegeven over de grootte van deze tijdspanne. In het programma mogen echter bepaalde vereenvoudigingen in de berekening zitten, wanneer dit ten goede komt aan de snelheid. Natuurlijk moeten de resultaten wel geloofwaardig blijven. Enkele vereenvoudigingen zijn bij de aannames voor de te gebruiken theorie aangegeven.

*Uitvoer: punt-golfhoogte*

De uitvoer bestaat uit de golfhoogte op een bepaalde plaats in de haven. De fase van de golven op een bepaalde plaats, of de krachten die uit de golfbeweging voortvloeien zijn van minder belang in deze fase.

*Uitvoer: bepaalde plaatsen*

De uitvoer hoeft alleen op door de gebruiker aan te geven plaatsen gegeven te worden. De gebruiker kan zelf aangeven op welke plaatsen de golfhoogte getoetst moet worden.

**Aannames ten aanzien van de te gebruiken theorie***Invloeden op verandering van golfhoogte of -richting*

Er zijn een aantal invloeden die er voor zorgen dat golven van richting of grootte veranderen tijdens het voortplanten door havens:

- Reflectie tegen golfbrekers, kades, of andere objecten binnen de haven.  
Reflectie wordt meegenomen in de bepaling van de golfhoogten. Wanneer golven tegen schuine wanden aankomen kan het oppervlakprofiel van individuele golven veranderen. Hier wordt geen rekening mee gehouden.
- Wrijving met de bodem, lucht of wanden.  
Met bodem- of luchtwrijving zal geen rekening worden gehouden. Een gevolg van bodemwrijving is dat de golfhoogten lager worden. Dit kan worden meegenomen in de berekening door bij de reflecties tegen wanden een kleinere reflectiecoëfficiënt aan te nemen.
- Diffractie langs golfbrekerhoofden of andere objecten binnen de haven.  
De berekeningen in CHarON zullen op basis van diffractietheorie worden uitgevoerd.
- Refractie  
Refractie speelt vaak een belangrijke rol bij golfontwikkeling. Dit geldt vooral wanneer er kleinere waterdieptes en veel waterdiepteverschillen aanwezig zijn. In havens is dit vaak het geval. Wanneer dit

echter meegenomen zou worden in de berekening, dan zou de gehele bathymetrie ingevoerd moeten worden in het systeem. Dit betekent dat de gebruiker veel werk moet verrichten en dat er een lange rekentijd ontstaat. In deze fase van het ontwerpproces wordt deze invloed daarom niet meegenomen.

- **Wisselwerking met stromingen**

De invloed van de wisselwerking met stroming op stroming speelt in veel gevallen een kleine rol, omdat er weinig stroming behoort te zijn in een haven. Dit is niet in alle situaties het geval. Echter wanneer de stromingsinvloed meegenomen zou worden, dan zou het gehele stromingsveld bekend moeten zijn. Er bestaan computerprogramma's die wel rekening houden met deze invloed, maar deze worden in latere fasen van het ontwerpproces gebruikt.

#### *Spiraal van Cornu*

De berekeningen worden gemaakt met behulp van formules die gebaseerd zijn op de Sommerfeld oplossing van de Fresnel-integralen. In het volgende hoofdstuk wordt deze theorie uitgewerkt. De reflectie wordt met behulp van dezelfde theorie uitgewerkt. Met de spiraal van Cornu kan vanuit de opening tussen de golfbrekers de golfhoogte in een bepaald punt bepaald worden. De punten die liggen tussen de opening en het te berekenen punt worden in de berekening niet gebruikt. De berekening wordt ook niet in tijdstappen gemaakt. Er behoeven in de berekening geen iteraties gemaakt te worden. Alle invoerdata worden rechtstreeks omgezet naar resultaten.

#### *Golflengte*

De golflengte wordt door het programma bepaald aan de hand van de periode en waterdiepte. Deze berekening gebeurt met behulp van de benaderingsformule van Klopman (Bijlage C1). Deze formule is lineair. Er behoeven geen iteraties gemaakt te worden in de berekening.

#### *Golven*

Er wordt uitgegaan van golven met een sinusvormig oppervlakteprofiel. Reflecties tegen wanden hebben geen invloed op de vorm van de golven. Slechts de golfhoogte, de fase en de voortplantingsrichting kunnen veranderen bij een reflectie.

#### *Tijdbeperkingen*

De eerste versie van CHarON kent een aantal beperkingen. CHarON moet later nog aangepast worden en geïntegreerd worden in HADES en het dient voorlopig vooral als illustratie. De verschijnselen die in de eerste versie niet meegenomen worden, kunnen later worden ingebouwd. In de aanbevelingen zal worden aangegeven op welke manier dat moet gebeuren.

De beperkingen zijn de volgende:

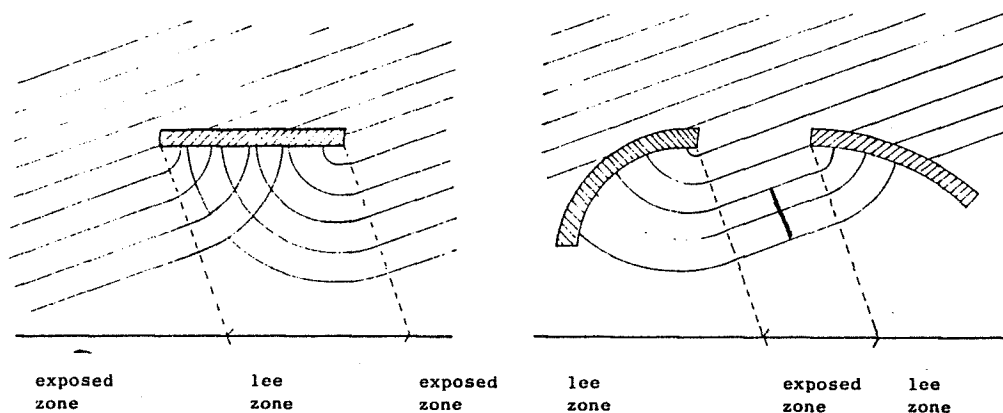
- Richtingsspreiding: er kan slechts één richting tegelijk worden berekend.
- Eén bassin: een tweede bassin gelegen achter reflecterende wanden kan nog niet worden doorgerekend.
- Frequentiespreiding: meerdere frequenties in een golfveld zullen afzonderlijk berekend moeten worden.
- Eén reflectie: golven die vanaf een wand terugreflecteren kunnen niet nogmaals tegen een wand reflecteren.

## 10. Berekening golfhoogte

De bepaling van de golfhoogten binnen CHarON gebeurt aan de hand van een aantal berekeningen. In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke wiskundige formules er gebruikt worden en welke theorie ten grondslag ligt aan die berekeningen. In paragraaf 10.3 wordt uitgelegd hoe deze berekeningen worden toegepast in CHarON.

### 10.1 Diffractie

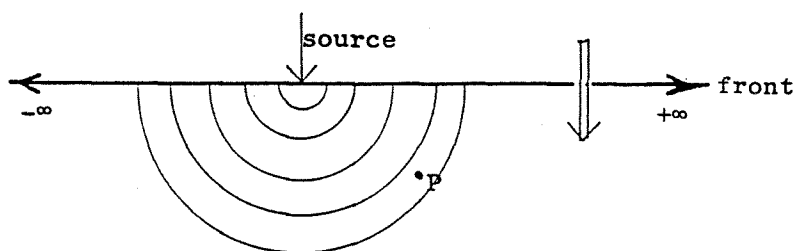
Wanneer golven een obstakel tegenkomen, zullen zij voor een deel terugkaatsen en voor een deel om het obstakel heen diffracteren. De golven gaan daarbij niet alleen rechtdoor, maar de energie wordt verdeeld over een grotere oppervlakte. Er zullen ook golven ontstaan aan de lijzijde van het obstakel. Figuur 10.1 geeft dit grafisch weer.



*Figuur 10.1: Diffractie*

#### Principe van Huygens

Het verschijnsel diffractie kan uitgelegd worden met het principe van Huygens. Dit principe zegt dat een aankomende golf bestaat uit een oneindig groot aantal oneindig kleine bronnen. Elk punt straalt zijn energie uit over alle punten in zijn omgeving, waarbij elk naburig punt evenveel energie ontvangt. Figuur 10.2 maakt dit duidelijk.



*Figuur 10.2: Principe van Huygens*

De afzonderlijke cirkelvormige golffrontjes interfereren met naburige golffrontjes. Wanneer er vele punten naast elkaar zijn, ontstaat een recht golffront. Wanneer er aan een zijde van een punt geen andere punten aanwezig zijn waar een golffront ontstaat, zoals bij een obstakel, zal het rechte golffrontpatroon doorbroken worden.

### Spiraal van Cornu

In hoofdstuk 3 en bijlage A3 van dit rapport is de spiraal van Cornu kort beschreven. Hier wordt nogmaals ingegaan op deze tool.

Met de spiraal van Cornu kan de golfhoopte in een punt achter golfbrekers bepaald worden. De golfhoopte in een punt achter de golfbrekers resulteert uit de bijdragen van alle puntbronnen tussen de golfbrekeropening. Al deze puntbronnen zenden een sinusvormige golf uit die het punt waarin de golfhoopte bepaald moet worden, bereiken.

Bij het optellen van de bijdragen uit de verschillende puntbronnen moet ook de fase van de golfbeweging in ogenschouw genomen worden. Dit wordt duidelijk gemaakt in paragraaf 10.2.

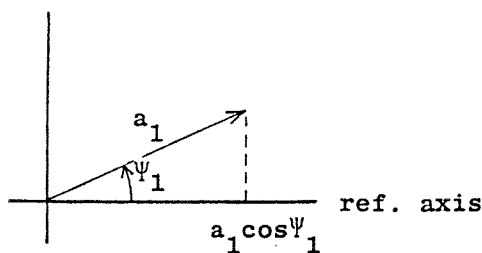
Er moeten dus een groot aantal bijdragen worden opgeteld. Deze bijdragen zijn van de vorm:

$$(1) \quad \eta_p(0) = \sum_j a_j \cos \psi_j$$

met:  $\eta_p(0)$  = Golfhoopte in punt p op tijdstip  $t = 0$   
 $a_j$  = Amplitude golfbeweging in punt p ten gevolge van bijdrage j  
 $\psi_j$  = Fase van golfbeweging in punt p ten gevolge van bijdrage j

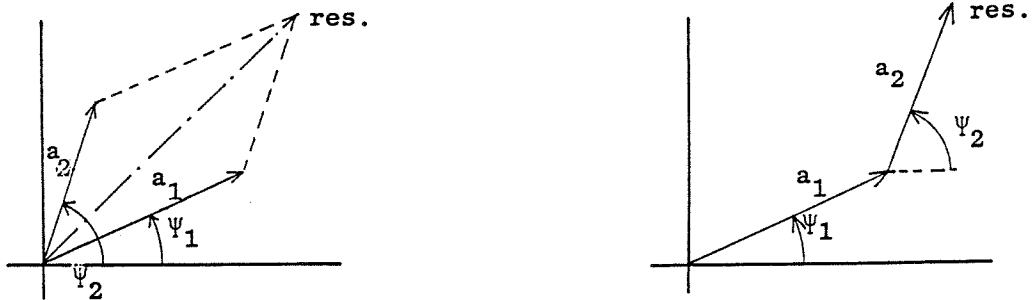
Elke bijdrage heeft dus een grootte van  $(a \cdot \cos \psi)$ .

Deze sommatie kan grafisch worden weergegeven. Daartoe wordt een vector getekend met een lengte a (amplitude bijdrage) en een hoek  $\psi$ . Deze hoek is de hoek ten opzichte van de fase die ontstaat wanneer de hoek van inval van de golven gevolgd wordt. Dit wordt weergegeven in figuur 10.3.



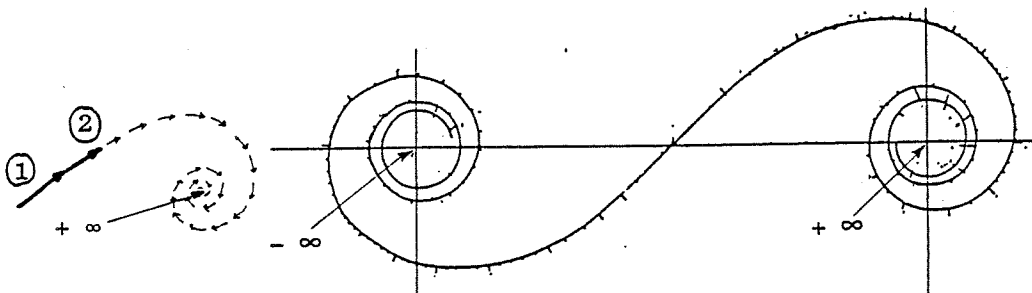
**Figuur 10.3:** Vectorrepresentatie bijdragen in punt p

De verschillende bijdragen kunnen nu vectorieel worden opgeteld. De resulterende golfhoopte in het te bepalen punt kan nu bepaald worden door de projectie van de resulterende vector op de referentie-as af te lezen. Wat resulteert, is de amplitude van de golfbeweging. In figuur 10.4 is dit duidelijk gemaakt.



**Figuur 10.4:** Vectorieel optellen bijdragen

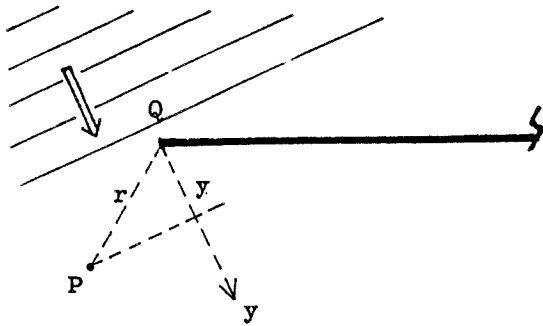
Wanneer de bijdragen van een zeer groot aantal oneindig kleine puntbronnen met dezelfde amplitude worden getekend, ontstaat de spiraal van Cornu. Dit is in figuur 10.5 duidelijk gemaakt.



**Figuur 10.5:** Spiraal van Cornu

Vanuit deze figuur kan voor een willekeurige situatie de golfhoogte in een punt achter golfbrekers bepaald worden. Hiertoe worden de twee randpunten ingevoerd en worden alle bijdragen die tussen deze randpunten inliggen, beschouwd. Hiertoe worden de twee relatieve afstanden van de twee randpunten tot het te bepalen punt ( $w$ ) in de figuur getekend en de afstand tussen die twee punten wordt opgemeten.

De fase van de golfbeweging, resulterend uit de bijdragen van de randpunten, is gelijk aan de relatieve afstand van het te bepalen punt tot dit randpunt gedeeld door de golflengte. Deze afstand is relatief ten opzichte van de golfrichting. Hierbij wordt uitgegaan van de golfrichting die er zou zijn wanneer er geen golfbrekers zouden bestaan. In figuur 10.6 wordt duidelijk gemaakt hoe dit in de praktijk werkt.



*Figuur 10.6: Relatieve afstand te bepalen punt tot randpunt*

### Mathematische beschrijving

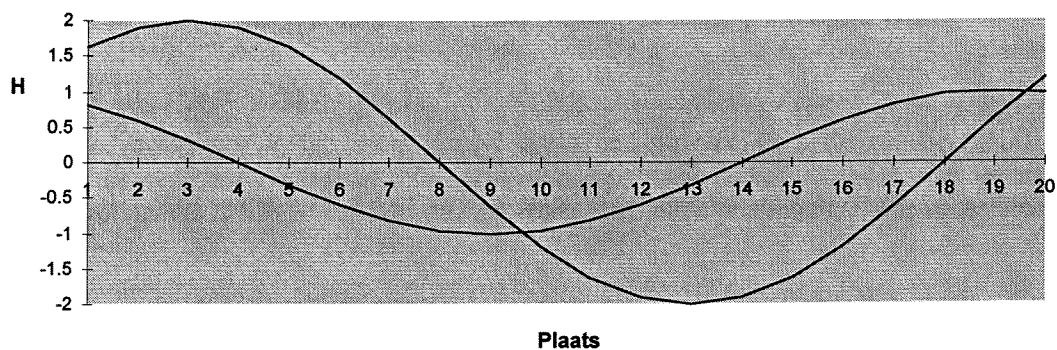
Meerdere personen hebben in het verleden onderzoek gedaan naar het diffractieverschijnsel. In CHarON wordt gebruik gemaakt van de beschrijving van Sommerfeld. In bijlage C2 is de mathematische uitwerking van deze theorie gegeven. De formules die daar beschreven staan, geven een numerieke representatie van de spiraal van Cornu.

## 10.2 Interferentie

In de vorige paragraaf is gesproken over de verschillende bijdragen aan de totale golfhoogte in een punt. In deze paragraaf zal duidelijk gemaakt worden dat de fasen van de verschillende invloeden van groot belang zijn bij de sommatie van verschillende invloeden.

In hoofdstuk 9 is beschreven dat er geen frequentiespreiding meegenomen wordt in de berekening. Tevens is de beperking aangebracht dat de golven een zuivere sinusoïde als vorm hebben.

Op een bepaald tijdstip zijn de verschillende sinusoïden allen in een punt aangekomen en hebben op dat moment een bepaalde fase. Dit is duidelijk gemaakt in figuur 10.7.

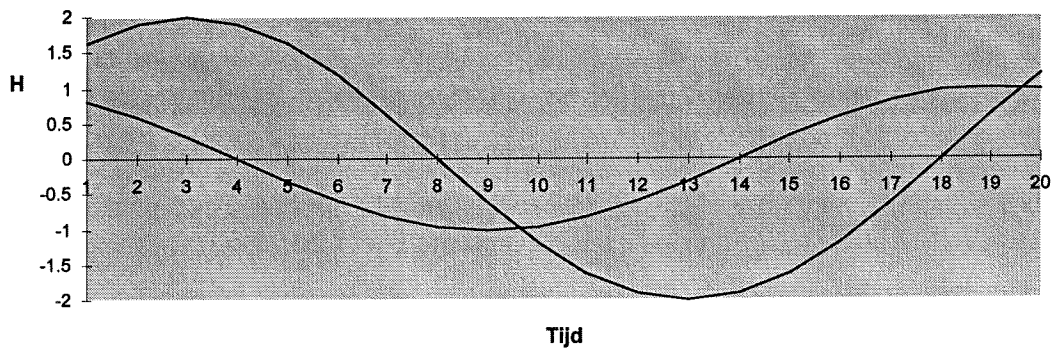


*Figuur 10.7: Golfbeweging op bepaald tijdstip*

Wanneer alleen naar het bepaalde punt wordt gekeken, zorgen de verschillende invloeden er allen voor dat het wateroppervlak volgens een sinusvorm op en neer beweegt. Slechts de beginfase verschilt per

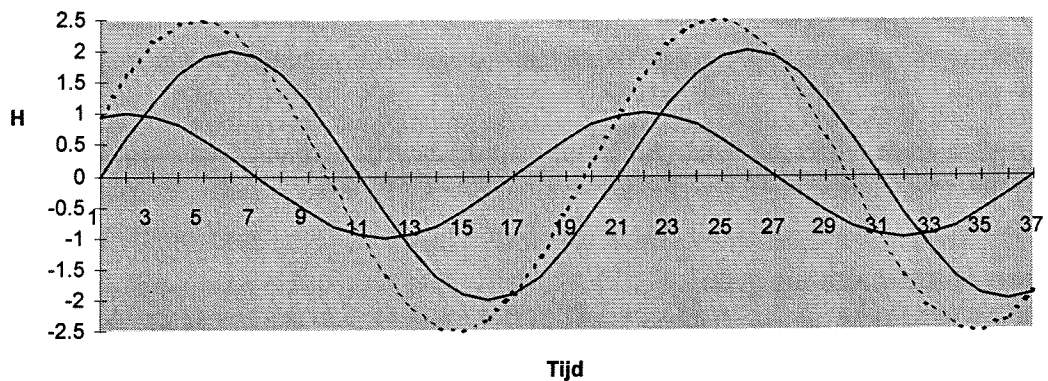
bijdrage. De golfbewegingen hebben, doordat zij dezelfde lengte en periode hebben, allen dezelfde loopsnelheid.

Figuur 10.8 geeft de golfhogte op een bepaalde plaats, waarbij verschillende bijdragen apart worden weergegeven.



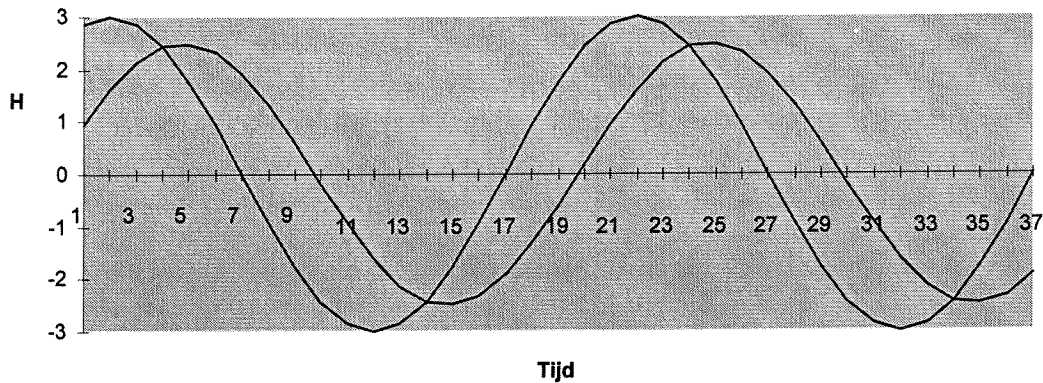
*Figuur 10.8: Golfbeweging op bepaalde plaats*

Om tot de golfhogte in een bepaald punt te komen moeten de verschillende bijdragen opgeteld worden. In figuur 10.9 is dit voor twee willekeurige bijdragen gedaan. Te zien is dat er wederom een zuivere sinusoïde ontstaat met een hogere amplitude, maar wel met dezelfde periode als de beide afzonderlijke bijdragen.



*Figuur 10.9: Sommeren verschillende bijdragen*

Wanneer de beginfasen van de afzonderlijke bijdragen ten opzichte van elkaar verschuiven, verandert de amplitude van de resulterende golfbeweging. In figuur 10.10 zijn twee sinusoïdes getekend, die sommaties voorstellen van dezelfde golfbewegingen met dezelfde amplitudes, maar met verschillende beginfasen.



*Figuur 10.10: Gesommeerde golfbeweging met verschoven fasen*

De beginfase van de verschillende invloeden is dus van groot belang bij de bepaling van de golfhoogte in een bepaald punt.

### 10.3 Toepassing berekening in CHarON

Punten waarin de golfhoogte bepaald moet worden, worden doelpunten genoemd. Lijnstukjes waaruit golven het systeem binnenkomen worden bronnen genoemd.

#### Principe berekening

De golfhoogte in een doelpunt wordt bepaald door de bijdragen uit alle bronnen en alle reflecterende wanden op te tellen. Elke invloed wordt apart berekend met behulp van de spiraal van Cornu. Vanuit een bron wordt de bijdrage aan de golfhoogte in een doelpunt bepaald. Tevens wordt vanuit een bron zowel de fase als de hoogte van de golven langs alle wanden bepaald. Vanuit de reflecterende wanden worden daarna de bijdragen aan de golfhoogte in het doelpunt berekend.

#### Reflecterende wand als bron

Met het principe van Huygens is uitgelegd dat elk punt in een haven gaat optreden als puntbron. Met het principe van Huygens kan verklaard worden dat alle delen van de reflecterende wanden invloed hebben op de golfhoogte in een doelpunt. Daarom worden ook reflecterende wanden als bronnen beschouwd. Door middel van een reflectiecoëfficiënt kan de mate van terugkaatsing worden ingevoerd.

#### Reflecterende wand in kleinere delen

Met de spiraal van Cornu kan in één berekening de golfhoogte berekend worden, resulterend uit één bron (of reflecterende wand). Hierbij moet de golfhoogte over de gehele lengte van die bron hetzelfde zijn. Bij een reflecterende wand zijn de golfhoogten niet langs die hele wand uniform. Daarom mag de reflecterende wand niet als een geheel beschouwd worden, maar moet de invloed van de gehele wand op de golfhoogte in een doelpunt per kleiner deel bepaald worden. Deze verschillende bijdragen kunnen later wederom vectorieel gesommeerd worden.



### Optellen bijdragen

In de vorige paragraaf is uitgelegd dat de verschillende invloeden vectorieel opgeteld kunnen worden. Per invloed moet een vector getekend worden met een lengte ter grootte van de amplitude van de golfbeweging en een hoek ter grootte van de fase. Van elke invloed dient dus de fase berekend te worden.

De fase in een punt is zo groot als de totale loopafstand van een golf gedeeld door de golflengte. De afstand van de bron tot het doelpunt moet dus bepaald worden. Dit geldt ook wanneer de golf via een reflecterende wand van de bron naar het doelpunt loopt. Van elk deel van de reflecterende wand dient daarom de fase van de golven aldaar bekend te worden.

In CHarON wordt de fase in een willekeurige ingang als referentie genomen.

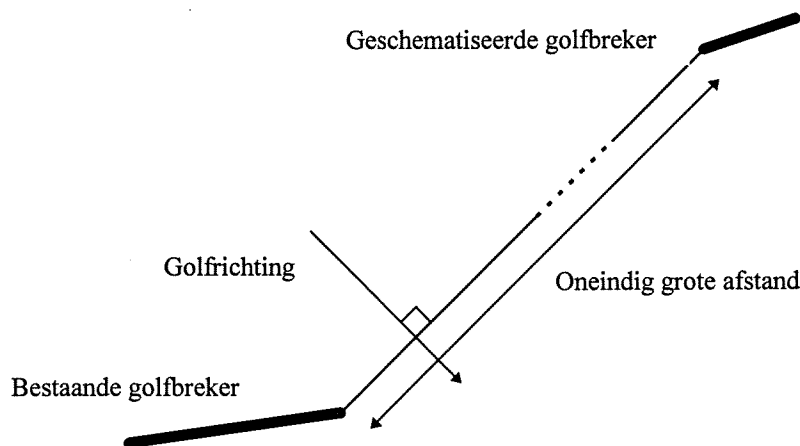
### Ingang in kleinere delen

Zoals eerder vermeld speelt de fase een belangrijke rol in de bepaling van de golfhoogte in een punt. De fase van de verschillende invloeden is afhankelijk van de fysieke afstand van de bron, via een reflecterende wand, tot het doelpunt. Aangezien de bronnen en de reflecterende wanden ook fysieke afmetingen hebben, kan er niet één fase bepaald worden. In CHarON worden de fasen bepaald van de buitenste punten en deze twee worden vervolgens gemiddeld. De lengte waarover gemiddeld wordt, mag niet te groot worden, omdat anders de afwijkingen in de fasen en daarmee in de golfhoogten te groot worden. Daarom wordt om de berekening te maken ook de bron in kleinere stukken verdeeld. Deze stukken worden allen als aparte bronnen behandeld.

### Halfoneindige golfbrekeropening

Met een halfoneindige golfbrekeropening wordt een golfbrekerconfiguratie bedoeld waarbij de ingang slechts aan één zijde begrensd wordt door een golfbreker. De andere zijde wordt niet begrensd door een rand. Wanneer deze ingang ook in stukken verdeeld zou worden, zouden er oneindig veel bronnen doorgerekend moeten worden en zou de berekening zeer lang duren.

Daarom wordt een halfoneindige golfbrekeropening niet in stukken verdeeld, maar wordt de ingang zo verplaatst dat de lijn die de opening weergeeft loodrecht op de golven komt te liggen. De fase in de opening heeft hiermee in de gehele opening dezelfde waarde. De open zijde wordt, omwille van de berekening, op grote afstand geschematiseerd door een denkbeeldige golfbreker. De opening die ontstaat wordt nu als een geheel behandeld. De fase in de doelpunten die uit de opening berekend moeten worden, wordt bepaald door de afstand loodrecht op de opening te bepalen en deze te delen door de golflengte. In figuur 10.11 wordt de schematisatie geschetst.



*Figuur 10.11: Schematisatie halfoneindige golfbreker*



# 11. Opbouw programma

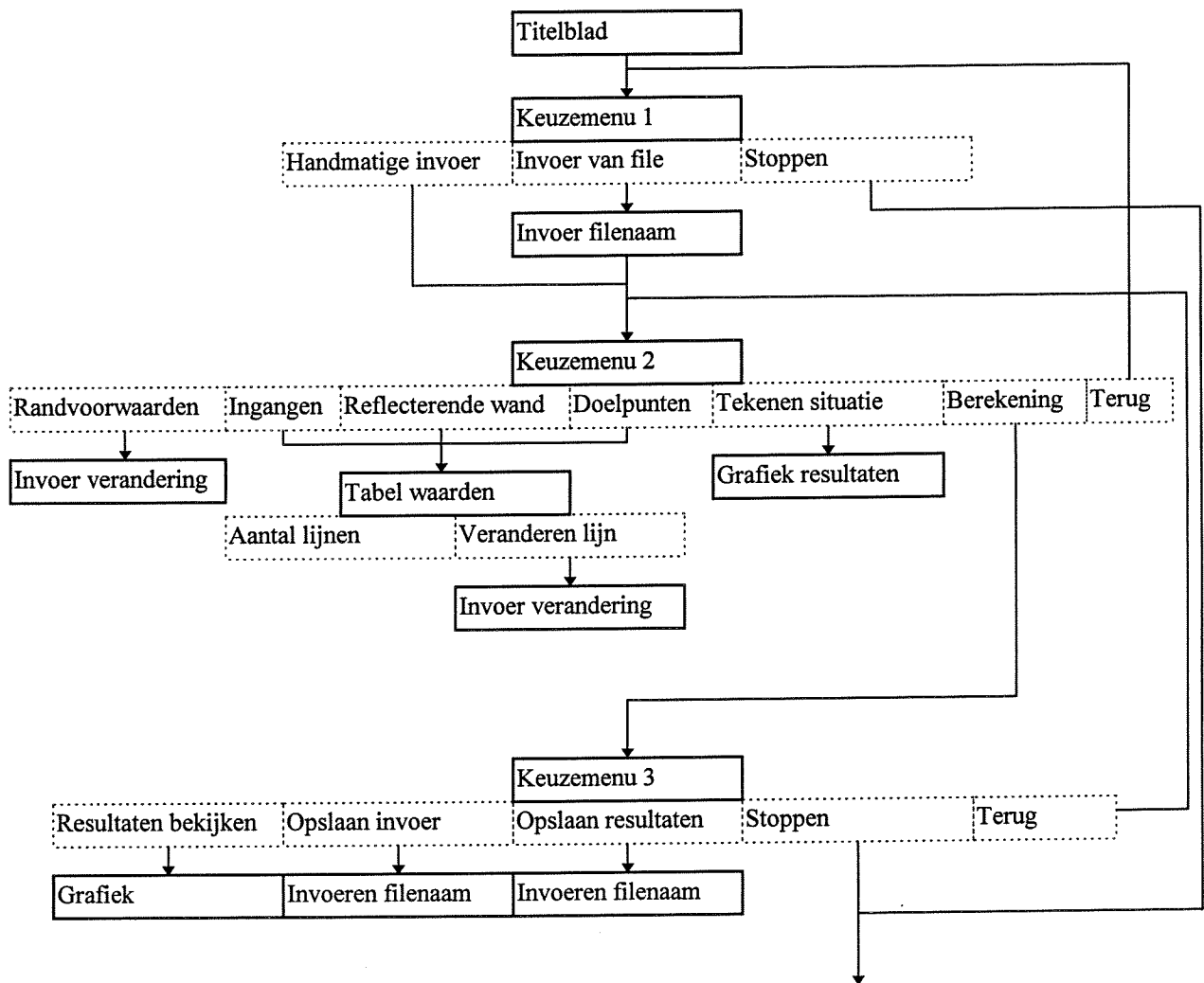
Aan de hand van de eisen en doelen, die beschreven zijn in hoofdstuk 9 en de theorie, die beschreven is in hoofdstuk 10, is CHarON ontwikkeld. De werking hiervan wordt in dit hoofdstuk beschreven. Het programma zelf is weergegeven in bijlage C3.

## 11.1 Stappen voor de gebruiker

Het programma CHarON bestaat uit drie keuzemenu's. Van daaruit worden de specifieke handelingen uitgevoerd. Het eerste menu is bedoeld om het type invoer te bepalen (handmatig of uit een file). Dit menu wordt in het verdere programma niet meer gebruikt, tenzij de gebruiker een geheel nieuwe situatie op wil starten. Met behulp van het tweede menu wordt de situatie ingevoerd. Hierna kan ervoor gekozen worden de berekening te starten. Het derde menu wordt na de berekening automatisch aangeroepen. Hiermee kan de gebruiker resultaten bekijken of opslaan. Van hieruit kan de gebruiker weer naar het tweede menu terugkeren om zijn invoer aan te passen.

Allereerst wordt een stappenplan gepresenteerd van het gehele programma. Daarna worden de verschillende menu's en de schermen die de gebruiker van daaruit kan bereiken, kort uitgelegd.

Het stappenplan dient van boven naar beneden gelezen te worden. Waar onder een blok geen pijl weggaat wordt teruggekoppeld naar het vorige scherm. De dikgedrukte blokken geven schermen weer, de gestippelde blokken geven keuzen binnen de schermen weer.



Figuur 11.1: Stappenplan gebruiker CHARON

## Titelblad

Het titelblad wordt slechts eenmaal, bij het opstarten van CHARON, aangeroepen. Het introduceert het programma en heeft verder geen inhoudelijke functie.

## Keuzemenu 1: Type invoer

In het eerste keuzemenu kan een keuze gemaakt worden voor handmatige invoer of invoer uit een file. Wanneer de handmatige invoer wordt gekozen, leest CHARON invoer uit een file, waar defaultwaarden in verwerkt zijn.

Wanneer gekozen wordt voor invoer uit een file, wordt het volgende scherm opgestart, waarmee een filenaam ingevoerd kan worden. Deze file moet wel bestaan en de juiste informatie bezitten.

## Keuzemenu 2: Schematisatie

Na het invoeren van óf defaultwaarden, óf een door de gebruiker opgegeven situatie, wordt het tweede keuzemenu opgestart. Hiermee kan de schematisatie veranderd worden. De veranderingen in de schematisatie bestaan uit veranderingen aan de randvoorwaarden, de bronnen, de reflecterende wanden, en de doelpunten.

De randvoorwaarden bestaan uit de golfhoogte, uitgedrukt in meters, de golfperiode (seconden), de waterdiepte (meters) en de hoek waaronder de golven invallen (radialen). Wanneer er voor wordt gekozen de randvoorwaarden te veranderen, moeten alle vijf randvoorwaarden opnieuw ingevoerd worden.

Wanneer er voor wordt gekozen de bronnen, de reflecterende wanden of de doelpunten te veranderen, krijgt de gebruiker een tabel met daarin de huidige waarden te zien. De gebruiker kan kiezen om het aantal lijnen te veranderen of er kan gekozen worden om een bepaalde lijn te veranderen. De invoer bestaat altijd uit een beginpunt en een eindpunt van de lijn. De keuze voor de verandering van een lijn leidt tot een nieuw beeldscherm, waarin alle waarden van een lijn opnieuw ingevoerd moeten worden. Deze waarden bestaan uit de x- en y-coördinaat van het beginpunt en het eindpunt (in meters, ten opzichte van een zelf te kiezen nulpunt) en de precisie (in meters). Het programma berekent de situatie aan de hand van punten en de ingevoerde lijnen worden later in stukjes verdeeld. Met de precisie kan de tussenafstand tussen de punten ingevoerd worden. Een kleinere tussenafstand geeft meer nauwkeurigheid. Bij de reflecterende wand moet de reflectiecoëfficiënt ingevoerd worden (dimensieloos). Voor volledige terugkaatsing van de inkomende golf dient de waarde 1 ingevoerd te worden, geen terugkaatsing staat gelijk aan de waarde 0. Na het invoeren van alle waarden gaat het programma terug naar de tabel, waar opnieuw gekozen kan worden het aantal lijnen te veranderen of een specifieke lijn aan te passen.

In keuzemenu 2 kan ook gekozen worden voor het projecteren van de situatie op het beeldscherm. Hiermee kan gecontroleerd worden of de situatie juist is ingevoerd.

De daadwerkelijke berekening wordt ook vanuit dit menu opgestart. In paragraaf 11.2 wordt dit verder uitgewerkt.

### **Keuzemenu 3**

Na de berekening wordt keuzemenu 3 opgestart. Hierin kan gekozen worden voor het bekijken van de resultaten, het bewaren van de resultaten, het bewaren van de situatie, of teruggaan naar keuzemenu 2.

De resultaten worden op het beeldscherm weergegeven door middel van grafieken. Per lijn wordt de golfhoogte ten opzichte van het puntnummer weergegeven. Voor elke lijn van doelpunten wordt een aparte grafiek geproduceerd in een apart beeldscherm.

Bij het bewaren van de resultaten moet eerst een filenaam worden opgegeven. CHarON bewaart in deze file de x- en y-coördinaat van het doelpunt, de golfhoogte en de fase.

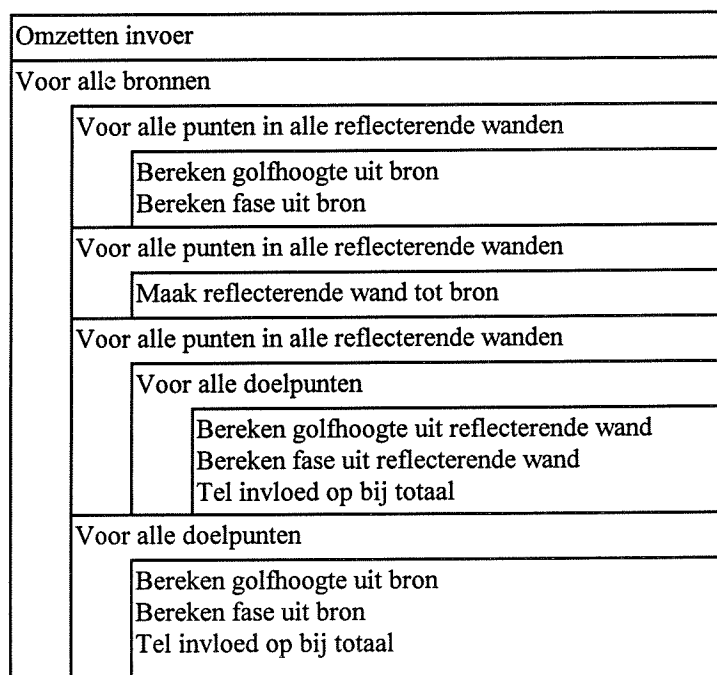
De schematisatie kan ook bewaard worden. Deze kan later worden gebruikt als invoer.

Er kan ook worden teruggegaan naar keuzemenu 2. Daar kan de situatie worden aangepast en een nieuwe berekening uitgevoerd worden. Deze mogelijkheid zorgt ervoor dat het iteratieproces snel kan worden doorlopen.

## **11.2 Stappen bij de berekeningen**

In hoofdstuk 10 is de theorie, die de basis vormt voor de berekeningen, uitgewerkt. In deze paragraaf wordt beschreven op welke manier de berekeningen uitgevoerd worden.

In figuur 11.2 wordt een stappenplan gedeponereerd waarmee de berekening wordt gemaakt. Een aantal onderdelen hieruit wordt daarna kort besproken.



Figuur 11.2: Stroomschema berekeningen CHARON

### Omzetten invoer

De invoer voor de berekening bestaat onder andere uit lijnstukken, die de ingangen, de reflecterende wanden en de doellijnen weergeven. Zoals eerder vermeld moeten deze lijnstukken verdeeld worden in kleinere delen, om de nauwkeurigheid van de resultaten te verbeteren. In dit deel van het programma wordt dit uitgevoerd.

Voor elke berekening is het van belang dat de fase bepaald wordt. Dit gebeurt door de afstand vanaf de ingang te bepalen. Er moet echter ook rekening gehouden worden met de fase die de golven bij de ingang al hebben. Deze fase wordt hier bepaald.

Ook de handelingen, benodigd om een halfoneindige golfbrekeropening te kunnen doorrekenen, worden in deze module uitgevoerd.

Een ander onderdeel van de invoer is de golfperiode. Het programma rekent echter niet met deze periode maar met de golflengte. Deze lengte kan bepaald worden uit de golfperiode en de waterdiepte.

### Bronnen

Het programma werkt zo dat vanuit een bron de golfhoogte in de reflecterende wanden wordt bepaald en van daaruit de golfhoogte in het doelpunt. Er dienen dus een aantal handelingen verricht te worden voordat daadwerkelijk de golfhoogte in een doelpunt bepaald wordt. Wanneer per doelpunt alle berekeningen uitgevoerd zouden worden, zouden de berekeningen van de golfhoogten en fasen in de reflecterende wanden vanuit een bepaalde bron meerdere keren uitgevoerd moeten worden. Daarom worden de berekeningen per bron uitgevoerd.

### **Berekening golfhoogte en fase**

Deze berekening wordt drie maal uitgevoerd.

- Van de bronnen naar de reflecterende wanden
- Van de bronnen naar de doelpunten
- Van de reflecterende wanden naar de doelpunten

De berekeningen worden uitgevoerd met de formules die in hoofdstuk 10 zijn besproken.

### **Reflecterende wand tot bron**

Vanuit de reflecterende wand moeten de golfhoogte en de fase in het doelpunt bepaald worden. Hiertoe moet eerst de reflecterende wand als bron beschouwd kunnen worden. De berekening van de golfhoogten en fasen op de reflecterende wand vindt plaats door deze te bepalen in een groot aantal punten op die wand. De berekening vanuit de reflecterende wanden gebeurt echter aan de hand van lijnstukjes. In dit deel van het programma worden daarom lijnstukjes gecreëerd door de golfhoogten en fasen in twee grenzende punten te middelen.

De hoofdrichting van de door de reflecterende wanden uitgezonden golven is de ten opzichte van de wand gespiegelde richting van de hoek van inval.

De fase van de uitgezonden golven wordt met  $\pi$  vergroot. Deze waarde kan veranderd worden door de gebruiker, maar  $\pi$  is de defaultwaarde.

### **Invloeden optellen**

Het optellen van de verschillende invloeden gebeurt vectorieel, zoals in hoofdstuk 10 is beschreven. De golfhoogten en de fasen in de doelpunten worden bewaard gedurende de gehele berekening. Aan het einde van de berekening worden zij aan de gebruiker getoond.





## 12. Testen

In dit hoofdstuk zullen de resultaten die verkregen worden met een berekening met CHarON geëvalueerd worden. Hiertoe wordt eerst in paragraaf 12.1 een introductie van het computerprogramma DIFFRAC gegeven. In het verdere hoofdstuk zullen resultaten van DIFFRAC en CHarON vergeleken worden. De resultaten zelf zijn weergegeven in bijlage C4, evenals de invoer van de verschillende testen.

### 12.1 DIFFRAC

Het computerprogramma DIFFRAC kan gebruikt worden om het gedrag van golven in en om objecten in water met uniforme diepte te beschrijven. Hierbij berust de bepaling van de golfhoogten op de effecten diffractie en reflectie.

#### **Beperkingen**

In situaties waar refractie een grote rol speelt is het gebruik van DIFFRAC niet aan te raden. De richting van de golven verandert namelijk door het refractievervalsing, wat vooral veroorzaakt wordt door diepteverschillen, en daardoor verandert ook het golfhoogtepatroon significant. In havens waar de waterdiepte beperkt is, terwijl de vaargeulen wel een grote diepte hebben, speelt dit een belangrijke rol.

Golven met een grotere periode kunnen in een afgesloten bassin zorgen voor seiches. Aangezien de aanwezigheid van seiches afhankelijk is van de waterdiepte, wordt afgeraden conclusies over seiches te trekken met behulp van resultaten uit een DIFFRAC-berekening.

DIFFRAC kan wel richtingsverspreiding in de berekening meenemen, maar is niet in staat een situatie waarbij frequentiespreiding een rol speelt door te rekenen.

#### **Situatieschets**

De situatie die door de gebruiker moet worden ingevoerd, wordt gekenmerkt door de wanden van het model. De wanden kunnen reflecterende wanden zijn, ingangen, open wanden en wanden die een overgang vormen tussen verschillende bassins. De gebruiker dient de schematisatie onder te verdelen in verschillende bassins, waarbij voor elk bassin een afwijkende waterdiepte ingevoerd kan worden. Een extra bassin moet gecreëerd worden wanneer punten binnen de haven niet rechtstreeks door een invallende golf bereikt kunnen worden.

De reflecterende wanden worden gekenmerkt door de posities van de uiteinden, die in coördinaten ingevoerd moeten worden, de reflectiecoëfficiënt en de faseverschuiving van reflecterende golven. Voor een ingang dienen ook de coördinaten van de uiteinden ingevoerd te worden, evenals de transmissiecoëfficiënt en de hoek(en) waarin de golven invallen. De open wanden en de wanden die een overgang vormen tussen twee bassins worden enkel gekenmerkt door de coördinaten van de uiteinden.

De uitvoer bestaat uit een plot van lijnen met uniforme golfhoogte. Ook kan ervoor gekozen worden de golfhoogten te bepalen in een beperkt aantal lijnen of punten. Deze resultaten kunnen slechts numeriek worden opgevraagd, er kan binnen DIFFRAC geen grafiek van worden geproduceerd.

## **Opbouw programma**

DIFFRAC bestaat uit 3 afzonderlijke programma's. Met de pre-processor (PREDIF) kan de situatie worden ingevoerd, met de processor (DIFFRAC) wordt de berekening gemaakt en met de post-processor (POSDIF) kan de uitvoer worden bepaald.

## **Berekening**

DIFFRAC verdeelt de wanden in een aantal elementen en deze elementen zijn de basis voor de berekening. Er is dus geen grid aanwezig waarin de berekeningen worden gemaakt.

Op elk element wordt een formule voor de golfpotentiaal opgesteld, die als onbekenden de fase en de amplitude van de golfbeweging heeft. Deze mathematische formules zijn, net als die in CHarON, gebaseerd op de Helmholtz beschrijving van golfbewegingen. De bekende totale golfpotentiaal in het bassin moet verdeeld worden over alle wandelementen. Hierbij moet de verdeling aan een aantal eisen voldoen. Zo moet de golfhoogte en richting van de golven in de ingang zijn zoals de gebruiker die heeft ingevoerd. Wanneer het programma de onbekende amplitudes en fasen in een matrix heeft bepaald, kan vanuit de bekende formules voor de golfpotentiaal op de wanden daarna de golfhoogte in de uitvoerpunten bepaald worden.

## **DIFFRAC in HADES**

Doordat het programmapakket DIFFRAC aparte programma's omvat voor het invoeren, berekenen en uitvoeren van de situatie, duurt het, ondanks dat de rekentijd kort is, lang om een nieuwe schematisatie te creëren. Na het invoeren van de situatie dient de pre-processor afgesloten te worden en de processor geopend. Na het bekijken van de resultaten in de post-processor dient deze weer afgesloten te worden en voor een verandering aan de configuratie dient de pre-processor wederom opgestart te worden.

De huidige versie van DIFFRAC stamt uit het jaar 1991. Omdat het programma slechts intern binnen w|delft hydraulics gebruikt behoeft te worden, stond bij de ontwikkeling ervan de gebruikersvriendelijkheid niet voorop. Dit uit zich onder andere in de volgende kenmerken.

- De punten waarin uitvoer verlangd wordt dienen na het bekijken altijd opnieuw ingevoerd te worden.
- Voor een verandering aan de configuratie dient de gehele situatie nog een keer doorlopen te worden.
- De grafieken en tabellen zijn zonder kleuren weergegeven.
- Het programma is niet te sturen met een mouse.

Binnen w|delft hydraulics is ook het programma PHAROS ontwikkeld en in gebruik. Dit programma neemt wel het binnen havens belangrijke refractieverschijnsel mee in de berekening van de golfhoogten. De rekentijd van dit programma is lang, dit programma is daarom geen rapid assessment tool. Het ontwikkelen en verbeteren van een computerprogramma waarmee golfindringing in havens bepaald kan worden spitst zich desondanks binnen w|delft hydraulics vooral toe op de ontwikkeling van PHAROS.

De methodiek voor de berekening in DIFFRAC kan niet aangepast worden, zodanig dat het refractieverschijnsel meegenomen kan worden in de berekening.

Om DIFFRAC toepasbaar te maken in HADES zal de gehele interface aangepast moeten worden. Het in havens belangrijke refractieverschijnsel kan echter nooit meegenomen worden, daarom wordt ervoor gekozen ook de methodiek niet in een nieuw te ontwikkelen programma te gebruiken.

## **Vergelijking in testen**

De resultaten van DIFFRAC zullen in het vervolg van dit hoofdstuk als vergelijkingsmateriaal gebruikt worden in het kader van de toetsing van CHarON. De volgende drie overwegingen liggen hieraan ten grondslag:

- DIFFRAC wordt al een aantal jaren gebruikt binnen wldelft hydraulics en er kan daarom vanuit worden gegaan dat de resultaten betrouwbaar zijn.
- Het berekent dezelfde soort situaties als CHarON zal moeten doen.
- Het programma kan eenzelfde soort uitvoer als CHarON geven. De resultaten kunnen dus goed vergeleken worden.

## 12.2 Uitvoering testen

### Test 1: Enkel diffractie

In deze eerste test wordt getoetst of het diffractieverschijnsel goed wordt weergegeven. Hiertoe is een situatie gesimuleerd met één golfbrekeropening en zonder reflecterende wanden.

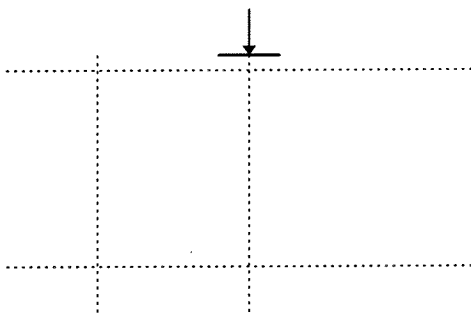
De golven vallen loodrecht op de golfbrekeropening binnen en hebben een periode van 8 seconden, wat een gemiddelde waarde is voor zeeegang. De invallende golfhoogte wordt op 1 meter gesteld. De resultaten geven daarmee direct de diffractiecoëfficiënt weer. De waterdiepte wordt op 100 meter gesteld, zodat kan worden aangenomen dat de golflengte op diep water in de berekening aangehouden zal worden.

De uitvoer bestaat uit de golfhoogten op een aantal lijnen. Er worden 4 lijnen weergegeven. Deze variëren in afstand tot de opening. De tussenafstand van de doelpunten wordt op 20 meter gesteld. Deze waarde zorgt ervoor dat de resultaten in grafiekvorm een vloeiende lijn worden, zonder dat de rekentijd te lang wordt.

De breedte van de golfbrekeropening wordt op 50 meter gesteld. Dit is ongeveer de waarde van een halve golflengte.

Deze test geldt als basis voor de volgende testen. In volgende testen wordt ten opzichte van deze test steeds één invoerwaarde gevarieerd.

Figuur 12.1 geeft de situatie grafisch weer.



*Figuur 12.1: Schets situatie test 1*

Bij elke schets van de situatie geldt dat de gewone lijnen de bronnen representeren, gestippelde lijnen de doellijnen en dikgedrukte lijnen reflecterende wanden. Het pijltje geeft de richting van de invallende golven weer. De bronnen worden weergegeven door een lijn, terwijl de plaats van de opening in de praktijk wordt bepaald door de golfbrekers die aan weerszijden van de opening aanwezig zijn. Aangezien in de schematisatie uitgegaan wordt van de plaats van de bron en niet van de plaats van de golfbrekers, wordt in de figuren de bron als een lijn aangegeven.

### Conclusie test 1

De resultaten en de invoer van deze test zijn weergegeven in bijlage C4. Uit doellijn 1 en 2 blijkt dat in CHarON de energie minder snel verdeeld wordt over de oppervlakte achter de golfbreker dan in DIFFRAC. Dit is te zien aan de hogere golfhoogten recht achter de golfbreker en de lagere golfhoogten aan de zijkanten van de grafiek. Een vergelijking met de methode Wiegel leert dat de benadering van CHarON hier meer mee overeenkomt dan de benadering van DIFFRAC. De methode Wiegel is een veel geaccepteerde methode die op dezelfde theorie gestoeld is als de spiraal van Cornu. De verschillen tussen CHarON en DIFFRAC hebben een orde van grootte van maximaal 20%. Deze waarde wordt geconstateerd op plaatsen waar de golfhoogten laag zijn. Deze verschillen worden geaccepteerd.

Lijn 4 schommelt bij de resultaten van DIFFRAC, terwijl dat voor de resultaten van CHarON niet het geval is. Dit wordt verklaard door het feit dat in de benadering van DIFFRAC de reflecterende wanden toch enige invloed hebben op de golfhoogte ondanks dat de reflectiecoëfficiënt gelijk is aan nul. Opgemerkt wordt dat de schaling in de verschillende grafieken verschillend is. Lijn 4 representeert golfhoogten die significant lager zijn dan de golfhoogten die lijn 3 representeert.

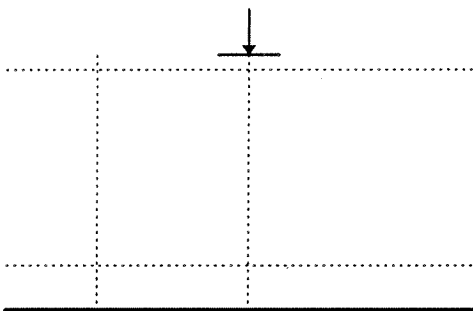
### Test 2: Reflecterende wand

In deze test kan gecontroleerd worden of de berekening van de golfhoogten bij aanwezigheid van een reflecterende wand naar behoren werkt. In één keer wordt gecontroleerd of het optellen van de verschillende invloeden op een juiste wijze gebeurt en of de reflecterende wanden juist worden omgezet tot bronnen na bepaling van de fase en de golfhoogte aldaar.

Tevens wordt gecontroleerd of de aanname, dat elk onderdeel van de reflecterende wand invloed heeft op de golfhoogte, een juiste was en of daarom de spiraal van Cornu hierbij gebruikt kan worden.

Het enige verschil met test 1 is dat er een lange reflecterende wand is met een reflectiecoëfficiënt die een waarde 1 heeft.

Figuur 12.2 geeft een schets van de situatie.



*Figuur 12.2: Schets situatie test 2*

### Conclusie test 2

Uit test 2 wordt geconcludeerd dat de benadering van de golfhoogte bij aanwezigheid van een reflecterende wand voldoet. Gezien kan worden dat de golfhoogten, berekend door DIFFRAC en CHarON, dezelfde trend volgen. Het interferentiepatroon is duidelijk waarneembaar, waarbij de toppen en de dalen voor CHarON en DIFFRAC ongeveer op dezelfde plaats liggen. De verschillen hierin worden verklaard doordat de benaderingen van de golflengte in beide programma's enigszins afwijken.

Te zien is dat de golfhoogten in dicht bij elkaar gelegen plaatsen veel kunnen afwijken en dat de golfhoogte in een bepaald punt zeer afhankelijk is van deze golflengte. Om deze reden is het voor de gebruiker, in gevallen dat er een duidelijk interferentiepatroon waarneembaar is, niet voldoende de

golfhoogte in één punt te bepalen. De gebruiker moet de resultaten van omliggende punten ook weten om een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over de golfhoogte die een schip zal ondervinden op een bepaalde plaats in de haven. Hierbij wordt opgemerkt dat een zo duidelijk interferentiepatroon in de praktijk niet vaak voor zal komen, omdat er sprake zal zijn van omstandigheden zoals richtings- en frequentiespreiding van de golven, die ervoor zorgen dat het patroon uitgespreid wordt.

### Test 3: Reflectiecoëfficiënt

Voor deze test is dezelfde situatie ingevoerd als in test 2. Echter voor de reflectie van de reflecterende wand is een kleinere waarde aangenomen. Hiermee wordt getest wat de gevolgen zijn voor het interferentiepatroon van een in een haven meer gangbare situatie van niet geheel reflecterende wanden. Tevens wordt getest of de berekeningswijze van de golfhoogten op een juiste manier geschiedt (golfhoogte invallende golf  $\times$  reflectiecoëfficiënt = golfhoogte uitvallende golf).

De situatieschets in figuur 12.2 geldt ook voor test 3.

#### Conclusie test 3

Uit de vergelijking tussen DIFFRAC en CHarON blijkt dat de verschillen tussen de beide programma's dezelfde orde van grootte hebben als die bij test 2. Hieruit wordt geconcludeerd dat de berekeningswijze in CHarON voldoet.

Verder is te zien dat de golfhoogten, in vergelijking met die van test 2, meer afgevlakt zijn. De inkomende golf is belangrijker in vergelijking met de gereflecteerde golf.

### Test 4 en test 5: Aantal rekenpunten per golflengte

In deze twee testen is gecontroleerd wat de invloed is van de tussenafstand van de rekenpunten op de resultaten. Voor de berekening van de golfhoogten in de doelpunten worden, zoals eerder vermeld, de bronnen en de reflecterende wanden in stukjes verdeeld. De tussenafstand van de rekenpunten, die de lijnstukjes omsluiten, bepaalt de nauwkeurigheid van de berekening. Aangezien de snelheid van de berekening afhankelijk is van het aantal lijnstukjes, waarin de bronnen en de reflecterende wanden zijn verdeeld, kan tevens met deze testen een uitspraak gedaan worden over de snelheid van CHarON.

De situatie van test 2 is wederom ingevoerd in de schematisatie, echter de lengte van de rekenlijnstukjes voor zowel de bronnen als de reflecterende wand is in test 4 op  $0.1 \times$  golflengte gesteld en in test 5 op  $1 \times$  golflengte.

De resultaten van deze testen zijn ook vergeleken met de resultaten van test 2, waar de lengte van de lijnstukjes gelijk is aan  $0.5 \times$  golflengte

De schematisatie in figuur 12.2 geldt ook voor de testen 4 en 5.

#### Conclusie test 4 en test 5

Naar aanleiding van deze testen wordt aangeraden de berekeningen in eerste instantie met lengtes van de lijnstukjes van  $0.5 \times$  golflengte uit te voeren. Naarmate het iteratieproces vordert, kan meer nauwkeurigheid ingevoerd worden.

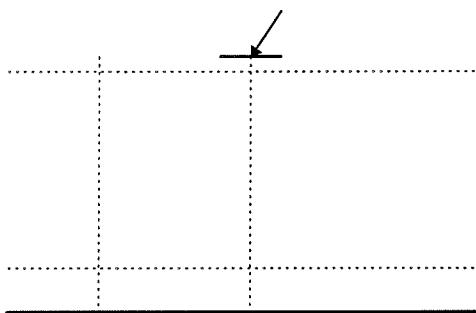
Uit de grafieken kan afgelezen worden dat er geen significant verschil is tussen de resultaten bij een tussenafstand van de rekenpunten van  $0.5$  en  $0.1 \times$  golflengte. Test 5 geeft weliswaar hetzelfde golfpatroon in de haven weer, de golfhoogten wijken echter wel af. Dit wordt verklaard doordat de middeling van de fase gebeurt over een gehele golflengte, zodat de afwijking hierin ook een orde van grootte kan hebben van een gehele golflengte. Opgemerkt wordt dat in deze testen de reflecterende wand en de bron een richting hebben loodrecht op de hoek van inval van de golven. Daardoor zullen de afwijkingen in de fase in deze situatie beperkt blijven.

De rekentijd van test 4 is ongeveer 25 maal zo groot als die in test 2 (5 maal zo veel bronnetjes moeten via 5 maal zo veel reflecterende wandjes de golfhoogte in een punt bepalen). Dit verschil is dermate groot, dat het gewin aan nauwkeurigheid van de resultaten hier niet tegen opweegt. Bij een lengte van de rekenlijnstukjes van  $0.5 \times$  golflengte heeft de rekentijd van CHarON in deze situatie dezelfde orde van grootte als de rekentijd van DIFFRAC. Deze rekentijden hebben een waarde van ongeveer 15 seconden. Het tijdverlies blijft dus beperkt.

### Test 6: Hoek van inval

In de zesde test is dezelfde situatie ingevoerd als in test 2. Het verschil zit in de richting waarin de golven de haven binnenkomen. Met deze test kan gecontroleerd worden of alle berekeningen waarbij de hoek van inval van belang is juist worden uitgevoerd. Hierbij wordt gedacht aan de bepaling van de fase op de reflecterende wanden en de spiegeling van de golven na reflectie.

De situatie is geschetst in figuur 12.3.



*Figuur 12.3: Schets situatie test 6*

#### Conclusie test 6

Gezien kan worden dat er meer verschil zit tussen de lijnen van DIFFRAC en CHarON dan in voorgaande testen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de golflengtes die in de beide programma's in de berekening gebruikt worden enigszins afwijken. Het verschil wordt vergroot doordat in de bron de fase gemiddeld wordt tussen de beide wanden. Bij voorgaande testen was deze fase in beide punten gelijk, terwijl dat in deze test niet geldt.

Te zien is dat op plaatsen waar de reflectie van minder belang is de afwijkingen kleiner zijn. De invloed van de invallende golf is hier belangrijker dan de gereflecteerde golf, terwijl de afwijkingen vooral veroorzaakt worden door de fasen die via de reflecterende wand in het doelpunt bepaald worden.

Het grote verschil tussen CHarON en DIFFRAC in doellijn 2 wordt verklaard door het feit dat dit een lijn is op een specifieke afstand van de bron. In de lijnen 3 en 4, die loodrecht op lijn 1 en 2 staan, kan gezien worden dat een kleine afwijking van de plaats langs lijn 3 of 4 grote verschillen in de golfhoogte met zich mee kan brengen. De gebruiker wordt daarom aangeraden de golfhoogte in doelpunten op twee loodrechte lijnen te bepalen, zodat het golfpatroon over een groter oppervlak bekend is en plaatselijke afwijkingen in dit patroon opgemerkt worden.

### Test 7: Waterdiepte

De enige reden waarom de waterdiepte ingevoerd moet worden, is dat CHarON deze waterdiepte gebruikt bij de bepaling van de golflengte. Deze test richt zich nu op de controle van de methodiek om

de golflengte te bepalen. Tevens moet het effect van een kleinere golflengte op de rekentijd en op de precisie van de resultaten duidelijk worden.

De invoer van deze test bestaat uit dezelfde invoer als die in test 2. De enige verandering is dat de waterdiepte kleiner is geworden, zodat niet meer met de diep-water-golflengte wordt gerekend, maar met een golflengte die ontstaat wanneer golven zich voortplanten naar ondiep water.

De schematisatie van de situatie in deze test is weergegeven in figuur 12.2.

#### Conclusie test 7

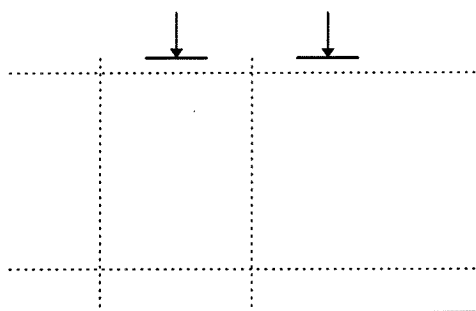
Uit de resultaten blijkt dat de benadering van de golflengte redelijk goed is. Het interferentiepatroon is duidelijk en de toppen en dalen in de grafieken liggen voor CHarON en DIFFRAC op dezelfde plaatsen. Het feit dat er in lijn 2 een groot verschil weergegeven wordt tussen de beide programma's wordt verklaard doordat DIFFRAC de energie sneller verspreidt over een groter oppervlak. Dit geldt ook voor de verschillen in lijn 1. Te zien is dat het oppervlak onder de krommes voor de beide programma's ongeveer gelijk is. Deze oppervlakte kan als maat gezien worden voor de totale hoeveelheid energie die op die lijn aanwezig is (Energie  $\sim$  Golfhoogte<sup>2</sup>).

De verschillen in weergegeven golfhoogten in lijn 4 zijn redelijk groot. Wel vertonen de golfhoogten in CHarON en DIFFRAC hetzelfde patroon. Geconcludeerd wordt daaruit dat de golflengte niet significant verschilt in de beide programma's. De verschillen in hoogten van de toppen en dalen worden verklaard door het feit dat de grafiek de uitvoer in een beperkt aantal punten met specifieke coördinaten weergeeft. Omdat de verschillen in golfhoogte tussen dicht bij elkaar gelegen punten relatief groot is, kunnen de afwijkingen in de grafiek ook relatief groot zijn.

### Test 8: Twee bronnen

In deze achtste test wordt een situatie getoetst waarbij twee bronnen aanwezig zijn. Hiermee kan worden gecontroleerd of het optellen van meerdere broninvloeden door CHarON op een juiste wijze gedaan wordt. Tevens kan gecontroleerd worden of de bepaling van de fase van een tweede bron ten opzichte van de referentiebron goed gebeurt.

Dezelfde situatie als in test 2 is wederom ingevoerd met als afwijking een verschuiving van de eerste bron en de introductie van de tweede bron. De situatie is in figuur 12.4 geschetst.



**Figuur 12.4:** Schets situatie test 8

#### Conclusie test 8

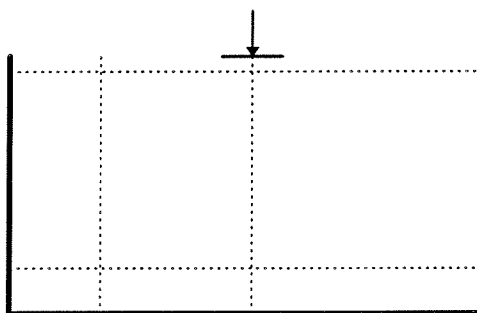
De resultaten geven geen aanleiding tot commentaar. De lijnen liggen redelijk goed op elkaar en de verschillen kunnen worden verklaard door het feit dat de zuivere diffractie in de beide programma's op een verschillende manier wordt berekend (test 1).

De berekening in CHarON gebeurt in deze situatie op een juiste wijze.

### Test 9: Twee reflecterende wanden

In deze negende test wordt getoetst wat de invloed is van een tweede reflecterende wand. De situatie is weer dezelfde als die in test 2, echter waar in die test een zijde open is, ligt nu een reflecterende wand. Uit voorgaande testen is al gebleken dat de berekeningen, die met deze situatie gepaard gaan, op een juiste wijze geschieden. In deze test wordt bekeken of de aanname dat er slechts één reflectie per wand plaats kan hebben gerechtvaardigd is.

De situatie is schematisch weergegeven in figuur 12.5. De resultaten en de invoer zijn wederom gegeven in bijlage C4.



*Figuur 12.5: Schets situatie test 9*

#### *Conclusie test 9*

Wanneer de resultaten van DIFFRAC als de juiste beschouwd kunnen worden, geeft CHarON de situatie goed weer. In doellijn 1 is een verschil te zien in de golfhoogten aan de rechterzijde van de grafiek. Het feit dat de golfhoogten berekend met DIFFRAC daar hoger zijn, wordt verklaard door het feit dat er in CHarON energie verloren gaat na de eerste reflectie. In DIFFRAC gaat een deel van de energie, die overblijft na de reflectie tegen de wand aan de linkerzijde in de schematisatieschets, naar de rechterzijde van de schematisatie.

Lijn 2 bezit voor de schematisatie in CHarON een hoge top aan de rechterzijde van de grafiek. Dit is een groot verschil met de situatie in DIFFRAC. De verklaring wordt gezocht in de plaats van die top. Uit test 2 is gebleken dat de golfhoogte op de plaats van die top, bij afwezigheid van de tweede reflecterende wand, ongeveer 0.3 meter is. Hier ligt de top ongeveer 0.2 meter hoger. De invloed van de tweede reflecterende wand wordt hier blijkbaar rechtstreeks bij opgeteld. Blijkbaar is de fase van de golfbeweging, resulterend uit de tweede reflecterende wand, dezelfde als de golfbeweging die al in test 2 resulteerde op die plaats.

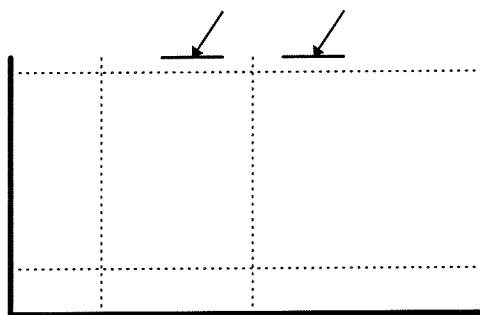
Opgemerkt wordt dat in de praktijk een reflectiecoëfficiënt van 1 nooit voorkomt. Een waarde van 0.7 à 0.8 is meer reëel voor deze variabele.

### Test 10: Simpele havenconfiguratie

In deze test worden een aantal voorgaande testen gecombineerd. De situatie wordt zo geschematiseerd, dat er een simpele havenconfiguratie wordt gecreëerd met schuin invallende golven, twee bronnen en twee reflecterende wanden. Met deze test kan het praktisch nut van CHarON gecontroleerd worden.

De situatie is geschetst in figuur 12.6.





*Figuur 12.6: Schets situatie test 10*

#### *Conclusie test 10*

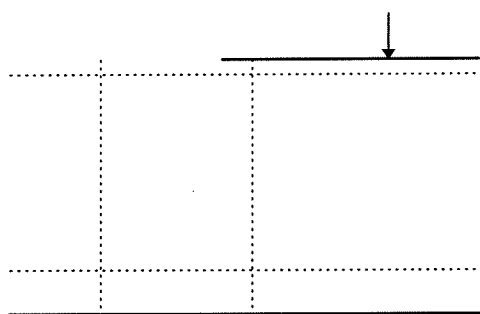
De lijnen in de verschillende grafieken hebben voor CHarON en DIFFRAC dezelfde orde van grootte en vertonen hetzelfde patroon. Boven in de schematisatie vertonen de verschillende programma's echter wel afwijkingen. Op die plaatsen geeft DIFFRAC grotere waarden voor de golfhoogte. De verklaring hiervoor ligt in het feit dat er energie verloren gaat tijdens de berekeningen in het programma CHarON, omdat de berekening na één reflectie stopt. Toch geeft CHarON een goed globaal beeld van de golfhoogte die ontstaat in verschillende delen van een haven.

#### **Test 11: Halfoneindige bron**

In deze laatste test wordt gecontroleerd of de aanpak van halfoneindige bronnen op een snelle manier (zonder dat de bron in oneindig veel kleine stukjes wordt verdeeld) naar behoren werkt.

Dezelfde situatie als in test 2 is weer in de beide programma's ingevoerd. Het verschil met die test zit in het feit dat één zijde van de bron verplaatst is naar een punt dat oneindig ver weg ligt.

De situatie wordt in figuur 12.7 geschematiseerd weergegeven.



*Figuur 12.7: Schets situatie test 11*

#### *Conclusie test 11*

Aangezien de lijnen voor CHarON en voor DIFFRAC op elkaar liggen wordt geconcludeerd dat de aanpak in CHarON juist is. Het dalende karakter van lijn 1 en lijn 2 aan de rechterzijde van de grafieken en het feit dat de golfhoogten bij de ingang niet constant 2 meter bedragen, worden veroorzaakt door het niet oneindig ver doorlopen van de reflecterende wand.



## 13. Conclusies en aanbevelingen CHarON

Naar aanleiding van de testen die beschreven zijn in hoofdstuk 12 van dit rapport kunnen enkele conclusies over het computerprogramma CHarON getrokken worden. Deze worden in paragraaf 13.1 beschreven. Aangezien het programma een aantal beperkingen kent, dient het nog verder ontwikkeld te worden. Een aantal aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling van CHarON wordt opgesomd in paragraaf 13.2.

### 13.1 Conclusies CHarON

- De opbouw van het programma is zodanig dat de snelheid waarmee een havenconfiguratie in het systeem ingevoerd of aangepast kan worden, groot is.  
Bij het invoeren van een nieuw model moet de gebruiker de gehele situatie doorlopen. Bij een aanpassing van een bestaand model is dat niet nodig. De gebruiker hoeft slechts een beperkte hoeveelheid invoerwaarden aan te passen. Er kan gemakkelijk teruggekoppeld worden naar een al ingevoerde situatie, zodat het iteratieproces goed plaats kan hebben.
- De berekeningstijd voldoet aan de eisen die aan een rapid assessment tool worden gesteld. De rekentijd is in reële situaties niet langer dan enkele minuten.
- De berekeningswijze geeft het diffractieverschijnsel juist weer.  
De uitgevoerde golfhoogten zijn van dezelfde orde van grootte en vertonen hetzelfde patroon als de uitgevoerde golfhoogten bij het computerprogramma DIFFRAC. Daaruit wordt geconcludeerd dat het diffractieverschijnsel numeriek juist wordt weergegeven in het programma CHarON.
- De praktische toepassing van het programma is nog gering.  
CHarON is op dit moment geschikt om simpele havenconfiguraties door te rekenen, waarbij reflectie en refractie een kleine rol spelen. Een doelstelling van HADES is echter dat het elke willekeurige haven in de wereld moet kunnen aanpassen of creëren.  
De aard van de beperkingen aan het programma is dermate fundamenteel voor de berekening van golfhoogten dat het programma verder ontwikkeld moet worden. Pas wanneer het aantal beperkingen kleiner is, kan CHarON effectief gebruikt worden bij de bepaling van golfhoogten in elke haven. In paragraaf 13.2 wordt aangegeven om welke beperkingen het hierbij gaat.

### 13.2 Aanbevelingen voor de ontwikkeling van CHarON

#### Aanbevelingen ten aanzien van de programmeertaal

- Er wordt aangeraden CHarON te programmeren in een taal die veel grafische mogelijkheden heeft. Wanneer de haven lay-out overzichtelijk wordt weergegeven, is het voor de gebruiker gemakkelijk te controleren of zijn invoer is zoals hij het bedoelt. Dit is vooral van belang omdat de gebruiker snel moet kunnen werken en met het vinden van fouten in de invoer kan veel tijd verloren gaan.
- CHarON moet een onderdeel worden van HADES. De programmeertaal waarin andere delen van HADES geprogrammeerd gaan worden is nog niet bekend. Aangeraden wordt CHarON in dezelfde

taal te programmeren als die waarin de andere delen van HADES geprogrammeerd worden. Met het gebruik van een gezamenlijke invoerfile behoeft de situatie slechts éénmaal ingevoerd te worden.

### **Aanbevelingen ten aanzien van de interface**

- Er wordt aangeraden in volgende versies van CHarON dezelfde opbouw te gebruiken. De drie keuzemenu's leiden de gebruiker snel en overzichtelijk door het programma en het iteratieve optimaliseringsproces kan gemakkelijk doorlopen worden.
- De uitvoer in CHarON wordt overzichtelijk weergegeven en dient ook in volgende versies van CHarON op een soortgelijke wijze gepresenteerd te worden.

### **Aanbevelingen ten aanzien van de theorie**

- Met de diffractietheorie van Sommerfeld wordt de situatie goed weergegeven. Omdat er geen terugkoppelingen binnen berekeningen gemaakt hoeven te worden, ontstaan er geen lange rekentijden. Aangeraden wordt daarom ook in volgende versies van CHarON deze theorie te gebruiken als basis voor de berekeningen.
- De gebruiker moet de mogelijkheid hebben te kiezen voor een berekening waarbij meerdere reflecties plaatsvinden. Zeker in situaties waar grotendeels afgesloten bassins in de configuratie voorkomen, kunnen in de praktijk meerdere reflecties de golfhoogten opstuwten. De rekentijd zal ten opzichte van de huidige versie onevenredig veel groter worden. De gebruiker moet er daarom voor kunnen kiezen naarmate het iteratieproces vordert de nauwkeurigheid te laten toenemen, ten koste van de snelheid.

Meerdere reflecties kunnen meegenomen worden door vanuit de reflecterende wanden, naast rechtstreeks de golfhoogten in de doelpunten te bepalen, ook de golfhoogten en de fasen op andere reflecterende wanden te berekenen. De golven die vervolgens vanuit deze reflecterende wanden in de doelpunten ontstaan, kunnen vectorieel opgeteld worden bij de andere invloeden.

- Er moet richtingsspreiding meegenomen kunnen worden in de berekening. De gebruiker moet omwille van de snelheid zelf kunnen kiezen of hij van deze mogelijkheid gebruik maakt. Een golfveld kent in de praktijk vrijwel altijd enige spreiding in de richting van waaruit de golven zich voortplanten. Dit verschijnsel zorgt ervoor dat het interferentiepatroon in de haven zich meer uitvlakt. Er ontstaan minder hoge toppen en minder lage dalen.

De richtingsspreiding kan meegenomen worden in de berekening door meerdere situaties met verschillende richtingen onafhankelijk door te rekenen en de resultaten gewogen op te tellen. Hierbij moet de totale hoeveelheid golfenergie gelijk zijn aan de hoeveelheid energie die de haven binnen zou komen wanneer slechts één richting doorgerekend zou worden (Energie-Golfhoogte<sup>2</sup>). Een benadering van de verdeling van de golfrichtingen in de praktijk, is die waarbij de golfrichtingen zich verdelen volgens een  $\cos^4$ -functie.

- Aangeraden wordt de gebruiker de mogelijkheid te bieden frequentiespreiding in het model aan te brengen. In de praktijk verdelen de frequenties in een golfveld zich. De golven zijn in de praktijk niet monochromatisch. De invloed van de frequentiespreiding is dat het interferentiepatroon binnen de haven zich meer uitvlakt.

Frequentiespreiding kan meegenomen worden in de berekening door de golfhoogten in de haven voor een aantal frequenties onafhankelijk van elkaar te berekenen en deze gewogen op te tellen. De totale hoeveelheid energie moet gelijk zijn aan de energie die de haven binnen zou dringen wanneer slechts één frequentie beschouwd zou worden. Bij het optellen van de verschillende frequenties

moet rekening worden gehouden met het feit dat de golven bij verschillende frequenties verschillende golflengtes hebben.

Opgemerkt wordt dat de theorie van Sommerfeld is afgeleid voor monochromatische, unidirectionele golven. Wanneer de bovenstaande aanpak voor frequentie- en richtingsverspreiding gebruikt wordt, zal dit daarom slechts een benadering van de werkelijke situatie zijn. De geldigheid van de benadering moet blijken uit testen.

- Er moeten meerdere bassins ingevoerd kunnen worden in de configuratie. Op dit moment worden de golfhoogten in punten achter reflecterende wanden door CHarON niet juist berekend. In havens zijn havenbassins echter vaak gesitueerd achter reflecterende wanden. Op die manier wordt namelijk bewerkstelligd dat de golfhoogte beperkt blijft in die punten.

Voor de berekening van een tweede bassin moet er door de gebruiker een grens tussen bassins gedefinieerd worden. Vanuit het eerste bassin worden dan de golfhoogten, de fasen en de golfrichting op die grens bepaald. Hierbij moeten vanuit elke bron en vanuit elke reflecterende wand de variabelen op de grens berekend worden. De verschillende invloeden worden niet opgeteld, maar voor elke invloed wordt de grens als een nieuwe bron voor het tweede bassin beschouwd. Er kan namelijk niet één golfrichting op die grens gedefinieerd worden, doordat de verschillende invloeden vanuit verschillende richtingen het tweede bassin binnendringen.

- Er wordt aangeraden een onderzoek te doen naar de mogelijkheid refractie mee te nemen in de berekening, zonder dat daarbij de gehele bathymetrie in het model ingevoerd hoeft te worden. Refractie kan namelijk een belangrijke rol spelen bij de voortplanting van golven in een haven, aangezien er vaak grote diepteverschillen aanwezig zijn. Er wordt voor dit onderzoek verwezen naar een soortgelijk onderzoek van Howard N. Southgate [27].



**Deel D:  
Praktische toepassing en  
conclusies**

## 14. Inleiding praktische toepassing en conclusies

In de voorgaande delen van dit rapport is het havenontwerp systeem HADES besproken. In deel B is een structuur voor dit systeem ontwikkeld. In deel C is het deel van dat systeem dat de golfindringing in havens behandelt verder uitgewerkt. In het laatste deel van dit rapport zullen conclusies worden getrokken over het functioneren van HADES en over het functioneren van CHarON als onderdeel daarvan.

Om deze conclusies objectief te kunnen trekken zal er eerst een tweetal casestudies beschreven worden. Voor deze casestudies zijn er twee havens uitgekozen die verbeterd of ontwikkeld moeten worden. Bij deze verbeteringen is w/delft hydraulics betrokken. Er zijn twee verschillende projecten uitgekozen. Bij één van de twee havenprojecten dienen de golfindringingsproblemen waarmee de haven kampt opgelost te worden en bij het tweede project dient een nieuwe haven ontworpen te worden. Het zijn dus twee verschillende projecten waarbij HADES volgens de doelstelling voor beide van nut moet kunnen zijn. In de casestudies zal een beschrijving gegeven worden van de wijze waarop het project doorlopen wordt met het gebruik van HADES. Aan de hand van de stappen die genomen worden moet duidelijk worden op welke wijze HADES in de praktijk zal werken. Verder zal de beschrijving van het havenontwerpproces aanleiding geven tot conclusies en aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling van HADES.

In hoofdstuk 15 en 16 zullen de twee casestudies beschreven worden. De conclusies en aanbevelingen zijn in hoofdstuk 17 opgenomen.





## 15. Case 1: Aanpassing bestaande haven

Aan de hand van een tweetal casestudies moet duidelijk worden op welke wijze HADES werkt en welke problemen het systeem zoals dat ontwikkeld is nog kent.

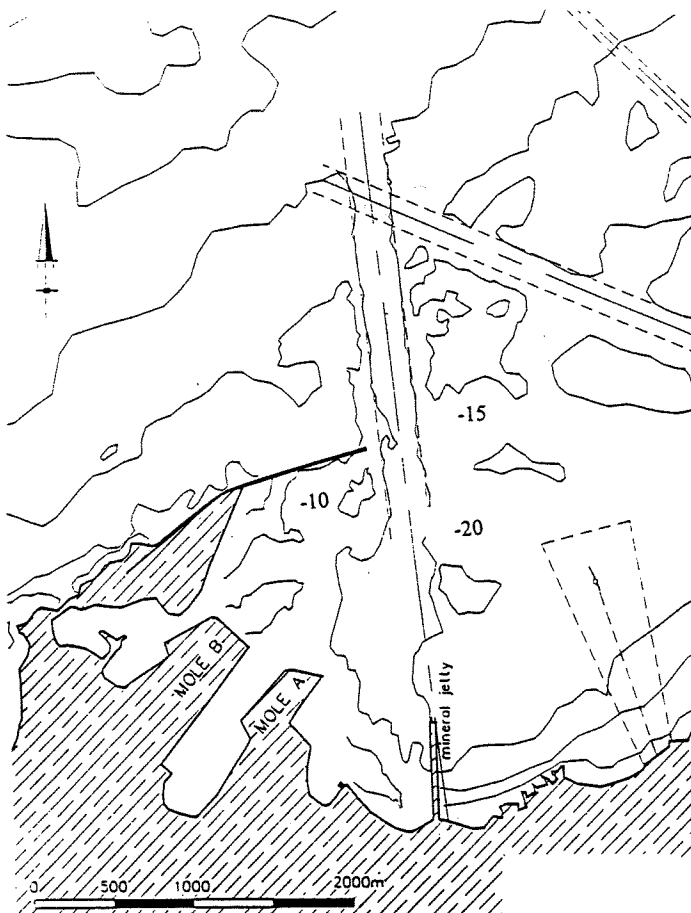
De eerste case, zoals dat beschreven wordt in dit hoofdstuk behelst een haven, die door problemen met de golfindringing een te hoge down-time kent en dientengevolge aangepast moet worden.

In paragraaf 15.1 wordt beschreven hoe de huidige situatie bij de haven is en welke problemen er zijn. In paragraaf 15.2 wordt beschreven volgens welke methodiek het probleem met behulp van HADES wordt opgelost.

### 15.1 Beschrijving situatie

#### Situatieschets

In figuur 15.1 is de situatie rond de haven geschetst.



*Figuur 15.1: Situatieschets*

De betreffende haven is een relatief jonge haven. Het construeren van de golfbreker is in 1980 begonnen en in 1986 was deze gereed. Het draaibassin en de toegangsgeul zijn in 1980 en 1981 gebaggerd. Na het gereedkomen van de golfbrekers is een aantal kades en havenbassins geconstrueerd. Op dit moment is er een general cargo terminal in gebruik op plaats A en een container terminal op plaats B (zie situatieschets).

### Probleemsignalering

De ervaringen van de laatste 10 jaar waarin de haven in gebruik is geweest, laten zien dat de golfindringing onder bepaalde omstandigheden problemen oplevert. Dit kan onderverdeeld worden in twee typerende groepen.

1. **Extreme condities**

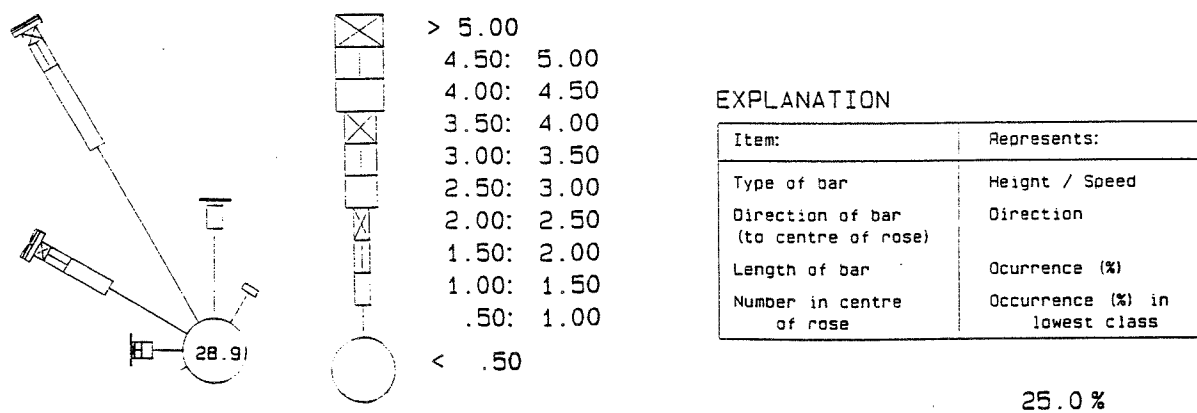
Tijdens een storm in 1988 ontstonden er zeer hoge golven in de haven, die schade veroorzaakten aan de bescherming op plaats B. De schade is nadien hersteld, waarna deze problemen niet meer voorgekomen zijn.

2. **Gebruikscondities**

De golfindringing in de haven wordt als te groot beschouwd. Vooral bij de container terminal wordt het laden en lossen te vaak onmogelijk gemaakt door de golfomstandigheden. Iets minder frequent wordt het laden en lossen bij plaats A onmogelijk gemaakt door de golfomstandigheden. De haven kan verder gemiddeld ongeveer 60 dagen per jaar niet gebruikt worden, doordat de wind bij de ingang van de haven te sterk is.

### Randvoorwaarden

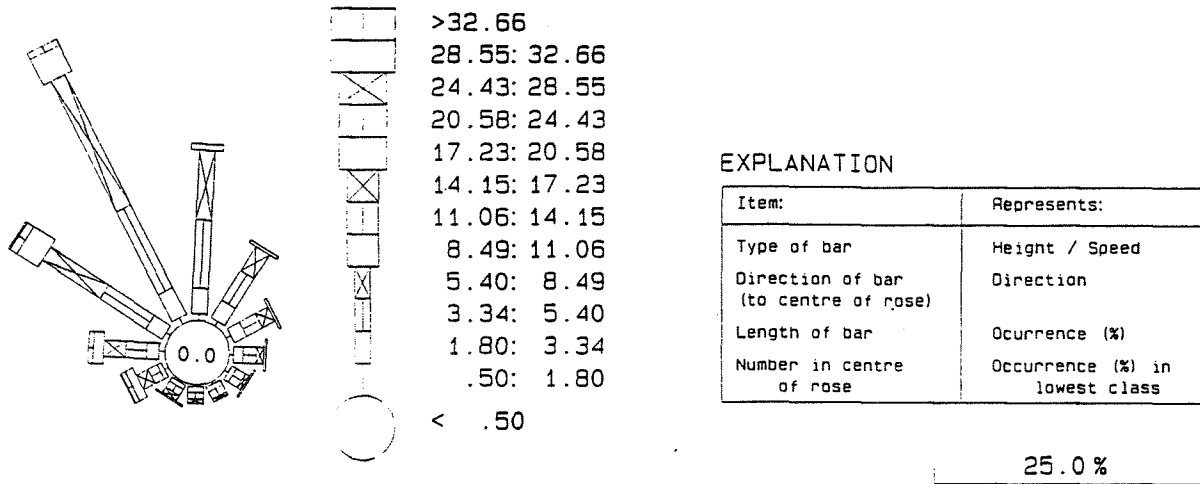
De golfomstandigheden, zowel deining als zeegang, waren op open zee bekend bij het British Meteorological Office. Met behulp van de numerieke modellen WATRON en SWAN zijn door w/delft hydraulics deze data gebruikt om de golfomstandigheden bij de ingang van de haven te verkrijgen. De golfroos in figuur 15.2 geeft deze omstandigheden weer. Te zien is dat in 70% van de tijd de golven uit een westelijke tot noordelijke richting komen. De hoogste significante golfhoogte die uit de gebruikte dataset (metingen gedurende 5 jaar) volgt, is 5.3 meter.



**Figuur 15.2:** Golfroos voor ingang haven

De windomstandigheden zijn op dezelfde wijze verkregen als de golfomstandigheden. Echter de windomstandigheden op open zee zijn ook gebruikt bij de ingang van de haven. Een windroos is

bijgevoegd in figuur 15.3. Uit deze windroos blijkt dat de wind in veel gevallen uit een noordelijke of westelijke richting komt. Windsnelheden van meer dan 8.5 m/s komen in 15% van de tijd voor.

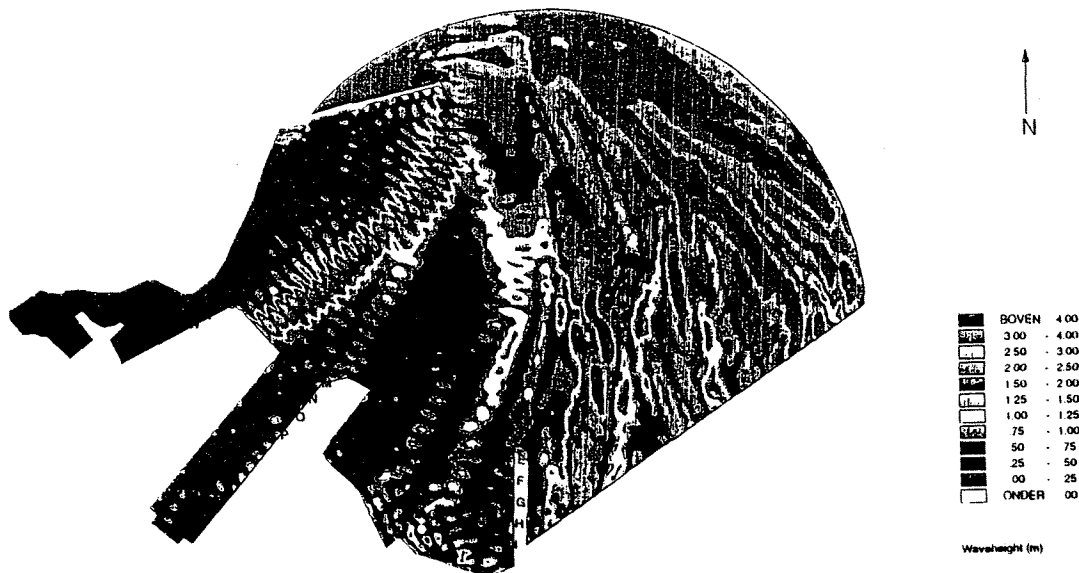


Figuur 15.3: Windroos voor ingang haven

De bathymetrie staat in figuur 15.1 aangegeven door middel van dieptelijnen. De vaargeulen zijn hierin duidelijk waar te nemen.

### Probleemanalyse

Met behulp van het computerprogramma PHAROS heeft w/delft hydraulics de golven in de haven gesimuleerd. Figuur 15.4 geeft een typerende uitvoer van deze modellering. Duidelijk is te zien dat de golven achter de golfbreker refracteren over de ondiepte. De verklaring voor dit verschijnsel wordt gezocht in de ondiepte die vlak achter de golfbreker aanwezig is. Doordat de golven refracteren over deze ondiepte gaan de golven niet rechtdoor, maar buigen ze af in de richting van de kades op de plaatsen A en B.



Figuur 15.4: Uitvoer PHAROS voor golfhoogten in haven

### **Alternatieve oplossingen**

Er zijn door w/delft hydraulics twee principiële oplossingen voor het probleem aangedragen.

1. Verwijderen verhoging in bathymetrie.  
Door het wegbaggeren van de ondiepte zullen de golven rechtdoor gaan en niet afwijken in de richting van plaats A en plaats B. De refractie zal een minder belangrijke rol gaan spelen.
2. Afschermen kades door middel van een golfbreker.  
Door voor de ondiepte een golfbreker neer te leggen kunnen de golven niet meer afbuigen in de richting van de kades.

## **15.2 Gebruik HADES voor haven**

In deze paragraaf zal worden aangegeven op welke manier de in de vorige paragraaf beschreven probleemsituatie met behulp van HADES opgelost zal worden. In het eerste deel van de paragraaf zal aangegeven worden in welke delen van het probleem HADES van nut kan zijn. In het tweede deel wordt het stappenplan dat in hoofdstuk 7 beschreven is, voor deze specifieke situatie doorlopen.

### **Plaats HADES in ontwerpproces**

HADES wordt gebruikt in de iteratieve ontwerpfasen waarin de ontwerpen globaal worden uitgewerkt. Alvorens HADES te gebruiken moeten de principeoplossingen al op basis van creativiteit ontwikkeld zijn. Tevens moeten de eisen, criteria en randvoorwaarden bekend zijn. In de vorige paragraaf zijn de voor deze situatie belangrijkste randvoorwaarden aangegeven. Tevens zijn er twee principeoplossingen gedeponneerd.

Bij het eerste oplossingsalternatief is het gebruik van HADES niet nodig. Het wegbaggeren van de verhoging behoeft namelijk geen uitwerking. Binnen het ontwerpproces wordt de globale uitwerkingsfase overgeslagen. De oplossing kan direct getoetst worden met behulp van gedetailleerde controleprogramma's, zoals PHAROS. Omdat in de golfindringingsmodule CHARON de invloed van refractie niet bepaald kan worden en dit de oorzaak is van het probleem, kan ook niet globaal bepaald worden wat de invloed is van dit alternatief.

Met behulp van HADES kunnen wel de globale kosten bepaald worden van de uitvoering van dit alternatief. De kosten bestaan uit het wegbaggeren van sediment.

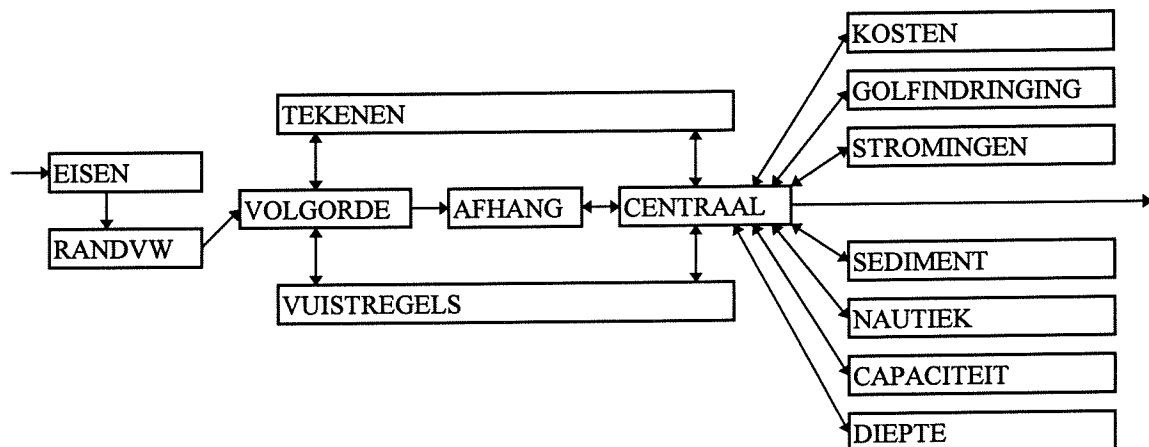
Bij het tweede oplossingsalternatief, het aanleggen van een golfbreker voor de verhoging in de bathymetrie, kan HADES wel nuttig gebruikt worden. De beperking van CHARON, dat de effecten van refractie niet bepaald kunnen worden, is in deze situatie niet meer van belang. Doordat de golfbreker de ondiepte afschermt en daardoor het refracteren van de golven verwaarloosd kan worden, worden de golfhoogten bij de kades op plaats A en B vooral bepaald door de diffractie om de golfbreker. Om de lengte van de golfbreker te bepalen is een iteratief optimaliseringsproces nodig. De kosten voor de golfbreker moeten afgewogen worden tegen de golfhoogten en daarmee de down-time bij de kades. Tevens kan door de aanleg van de golfbreker de plaats van de toegangsgeul en het draaibassin aangepast moeten worden. De toegangsgeul is namelijk op dit moment direct naast de golfbreker gesitueerd.

Wanneer de plaats en de lengte van de nieuwe golfbreker en een eventuele nieuwe plaats van de toegangsgeul geoptimaliseerd zijn met behulp van HADES, zal met behulp van meer gedetailleerde modelleringsprogramma's, zoals PHAROS, de situatie verder gecontroleerd moeten worden.

Een globale afweging tussen de beide alternatieven op basis van kosten kan na het gebruik van HADES gemaakt worden. Omdat echter de precieze impact van vooral het eerste alternatief nog niet bekend is, kan nog niet een van beide alternatieven verworpen worden.

### Stappenplan voor uitwerking tweede alternatief

Op deze plaats wordt nogmaals het stappenplan waarmee HADES beschreven wordt, gepresenteerd. Voor de verschillende modules wordt aangegeven welke handelingen daarin uitgevoerd dienen te worden.



*Figuur 15.5 : Stappenplan HADES*

### EISEN

Binnen de module EISEN is een standaard checklist van eisen aanwezig. De getalsmatige eisen moeten na vragen van het systeem door de gebruiker worden ingevoerd.

De belangrijkste eis die hier gesteld wordt, is dat de down-time die veroorzaakt wordt door de golfomstandigheden beperkt moet blijven.

Omdat het scheepsaanbod niet bekend is, is ook niet bekend wat de kadebezetting is. Er wordt daarom van uit gegaan dat de kadebezetting 100% is. De toegestane down-time wordt op 60 dagen per jaar gesteld voor alle scheepsoorten. De down-time ten gevolge van windomstandigheden bij het binnenvaren van de haven heeft dezelfde waarde en er wordt vanuit gegaan dat de hoge golven vooral voorkomen bij hoge windsnelheden. De kans dat schepen down-time ondervinden ten gevolge van golven aan de kades is nu net zo groot als de kans dat down-time ontstaat ten gevolge van de wind.

De down-time ten gevolge van bijvoorbeeld de wind, het getij, de kadebezetting en dergelijke is geen onderdeel van deze studie en behoeft daarom niet in het systeem ingevoerd te worden. HADES zal wel naar waarden hiervoor vragen, maar de gebruiker kan ervoor kiezen deze waarden niet in te voeren.

In de module VUISTREGELS zal deze down-time met behulp van randvoorwaarden, zoals de grootte van de schepen, vertaald kunnen worden naar maximaal toegestane golfhoogten bij de kades.

### RANDVW

In deze module wordt de situatie ingevoerd. Het programma zal zelf aan de hand van een checklist om invoer vragen. Het golfindringingsprogramma CHarON kan slechts concrete getalsmatige invoer behandelen. Voor een bepaalde invoerwaarde dient een bepaalde numerieke interpretatie van de gegevens ingevoerd te worden. De gebruiker kan zelf besluiten de randvoorwaarden die niet voor de specifieke situatie van belang zijn, niet in te voeren. De randvoorwaarden die ingevoerd moeten

worden, zijn beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport. De volgende onderdelen van de situatie worden in deze specifieke situatie ingevoerd.

- Geofysica

Als eerste wordt de bathymetrie ingevoerd. Dit kan bijvoorbeeld door het tekenen of inlezen van dieptelijnen. Er zal geïnterpoleerd moeten worden tussen de dieptelijnen. De dieptelijnen van deze situatie zijn weergegeven in figuur 15.1.

Bij de bathymetrie geldt dat wanneer de gebruiker de randvoorwaarden zeer gedetailleerd ingeeft, de berekeningen nauwkeurig worden uitgevoerd. De gebruiker zal zelf bepalen of er veel tijd besteed wordt aan het invoeren van de situatie of dat er genoeg wordt genomen met minder nauwkeurige berekeningen.

In deze situatie wordt ervoor gekozen alleen vlak achter de golfbreker de bathymetrie zeer nauwkeurig in te voeren. Voor de berekening van de golfhogten is de bathymetrie namelijk niet van belang. Echter voor de bepaling van de kosten van beide alternatieven is de bathymetrie wel belangrijk. De kosten bestaan bij het eerste alternatief uit het verwijderen van de verhoging in de bathymetrie en bij het tweede alternatief uit het aanleggen van een op de bodem liggende golfbreker. Ondanks dat het eerste alternatief niet beoordeeld wordt bij deze run van het programma, is het wel nuttig hiermee rekening te houden. In een volgende run kunnen dan namelijk met dezelfde randvoorwaarden de kosten van het eerste alternatief globaal bepaald worden.

- Ontwerpschip

Er worden in dit geval twee ontwerpschepen gedefinieerd. Een tweede ontwerpschip wordt gedefinieerd omdat plaats A met andere golfhogten te maken kan krijgen dan plaats B.

Het eerste ontwerpschip is in dit geval een klein containerschip (<20000 DWT). De beoordeling van het havenontwerp geschiedt namelijk aan de hand van de golfhogten aan de kade en een klein containerschip is gevoeliger voor golven dan een groot schip. Aangezien het hier om een relatief kleine haven is, wordt er vanuit gegaan dat er relatief veel kleine schepen de haven aandoen.

Het tweede ontwerpschip is een klein general cargo schip (<15000 DWT).

In een andere module zal met behulp van vuistregels bepaald worden welke maatgevende golfhogten bij deze schepen horen.

- Golfveld

Het golfveld in deze situatie wordt gedefinieerd door de golfroos, die in figuur 15.2 is gegeven. Omdat er in CHarON slechts één golfhogte per run beschouwd kan worden, moeten er een specifieke golfhogte en -richting aangegeven worden.

De maatgevende golven hebben een hoogte van maximaal 2 meter. Ze komen uit een richting van  $0.9 \times \pi$  ( $162^\circ$ ) ten opzichte van de noordpijl. In ongeveer 12.5% van de tijd hebben de golven een ten aanzien van de golfhogte bij de kades ongunstiger hoogte of richting. Er wordt vanuit gegaan dat in deze 12.5% van de tijd down-time ontstaat. Bij deze golfomstandigheden moet de haven aan de eisen voor de maximale golfhogte voldoen.

Extreme golfomstandigheden worden niet beschouwd. Aangezien de module waarin de stabiliteit van de golfbrekers beoordeeld worden nog niet gereed is en de extreme golfomstandigheden niet gebruikt worden voor de bepaling van de down-time in de haven, zijn deze omstandigheden in dit geval niet van belang.

Uit gegevens blijkt dat de periode van de golven gelijk gesteld kan worden aan 6 seconden.

Bij de keuze voor de maatgevende golfhogten kan HADES niet van nut zijn.

- **Getijde/waterdiepte**

Omdat er in CHarON slechts één waterdiepte ingevoerd kan worden, wordt er voor gekozen de situatie te modelleren met een gemiddelde waarde voor de waterdiepte. Deze wordt gesteld op 12.5 meter. De haven is gelegen op een plaats waar de getijdeverschillen dermate klein zijn dat er voor de berekening van de golflengte geen rekening gehouden hoeft te worden met waterstandsverschillen veroorzaakt door het getijde.

- **Lokatie**

De kustlijn is al ingevoerd bij de bathymetrie.

De andere randvoorwaarden zijn, doordat het probleem zich uitsluitend toespitst op de golfindringing, niet op deze situatie van toepassing.

## **INVOER**

In de module INVOER worden na het invoeren de eisen en de randvoorwaarden opgeslagen. Ze kunnen later nogmaals gebruikt worden bij bijvoorbeeld de berekening van de globale kosten van het eerste alternatief.

## **VOLGORDE**

Met behulp van deze module kunnen stap voor stap de vaargeulen, de kades en de golfbrekers in het systeem ingevoerd worden. De al bekende lay-out van de haven staat aangegeven in figuur 15.1.

De modules VUISTREGELS en TEKENEN zouden kunnen worden aangeroepen wanneer dat nodig zou zijn. In dit geval kan er echter vanuit worden gegaan dat de haven, zoals die is aangelegd, goed functioneert. De module VOLGORDE hoeft niet gebruikt te worden en de situatie kan rechtstreeks ingevoerd worden met behulp van de module TEKENEN. Alleen het deel van de module VOLGORDE waarin de golfbrekers behandeld worden, wordt hier beschreven. Dit is namelijk het enige deel waar veranderingen in aangebracht zullen worden.

- **Type golfbrekers**

Aangezien er al een golfbreker aangelegd en in gebruik is, lijkt het logisch nieuwe delen van de golfbreker volgens hetzelfde type te maken. Dit type, rubble mound, wordt daarom ook voor de uitbreiding van de golfbreker gekozen.

- **Lay-out golfbrekers**

Het onderwerp van deze studie is vooral de lay-out van de uitbreiding van de golfbrekers. Het deel van de golfbreker dat al in gebruik is, kan direct getekend worden in de kaart met de havenconfiguratie.

Het nieuwe deel wordt het belangrijkste onderdeel van het optimaliseringsproces dat later volgt. De lay-out van dit nieuwe deel van de golfbreker moet in deze case zelf bedacht worden.

Randvoorwaarden die in de meeste gevallen belangrijk zijn voor de lay-out van de golfbrekers spelen in dit geval geen belangrijke rol. Vaak moet namelijk de golfbreker loodrecht op de golfrichting aangelegd worden. In dit geval echter is de buitenvaargeul daar gepositioneerd. De plaats van het nieuwe deel van de golfbreker wordt vooral bepaald door de plaats van de ondiepte in de bathymetrie. De lay-out van het nieuwe deel van de golfbreker kan, rekening houdend met het voorgaande, vrij gekozen en getekend worden. Het programma zal controleren of de golfbreker de vaargeulen overlapt.

- **Dimensies golfbrekers**

Niet alle dimensies van de golfbreker zijn in deze fase van belang. Slechts de hoogte en de hoek van inwendige wrijving moeten ingevoerd worden, zodat het ruimtebeslag van de golfbreker bepaald kan worden.



## **VUISTREGELS**

De module VUISTREGELS wordt aangeroepen wanneer er numerieke waarden voor variabelen bepaald moeten worden, die afhankelijk zijn van bekende andere variabelen of van randvoorwaarden. Zo wordt in dit geval met behulp van vuistregels bepaald dat de maatgevende golfhoogte 0.25 meter voor de containerschepen bedraagt en 0.40 meter voor de general cargo schepen.

## **AFHANG**

In deze module worden normaal gesproken direct na het invoeren van de situatie de afhankelijkheden tussen de verschillende onderdelen van de haven gecontroleerd. Aangezien het in dit geval echter om een bestaande, in gebruik zijnde haven gaat, kan ervan uitgegaan worden dat er met alle afhankelijkheden rekening is gehouden. De controle van de afhankelijkheden zal daarom hier niet plaats behoeven te hebben.

## **CENTRAAL**

Vanuit de module CENTRAAL kunnen alle controleberekeningen worden gestart. In dit geval is het slechts nodig om de golfvindingingsmodule CHarON op te starten. Binnen CHarON wordt een optimaliseringsproces uitgevoerd. Na elke run kan met behulp van de eisen, die in de module VUISTREGELS bepaald zijn, worden gecontroleerd of het ontwerp voldoet. De lay-out die resulteert na dit optimaliseringsproces kan hierna met behulp van de module TEKENEN worden ingevoerd in het systeem. Deze lay-out kan als invoer gebruikt worden voor andere controleberekeningen.

Wanneer de voor de golfvindinging optimale lay-out van de golfbreker is bepaald kan vanuit de module CENTRAAL de module KOSTEN worden opgestart, waarmee een globaal beeld verkregen kan worden van de kosten van dit alternatief. Eventueel kan na het berekenen van de kosten weer teruggekoppeld worden naar de golfvindingingsmodule.

## **CHarON**

Met behulp van CHarON zijn de golfhoogten bepaald bij de kades op plaats A en plaats B.

De numerieke invoer en de resultaten van de modelleringen in CHarON zijn gegeven in bijlage D1.

Uit de figuren die in bijlage D1 zijn weergegeven kan gezien worden dat de golfhoogten die ontstaan wanneer er geen aanpassing gedaan wordt, aan de eisen voldoen. Het is echter bekend dat refractie er de oorzaak van is dat er down-time ontstaat in de haven. Er wordt vanuit gegaan dat met de drie alternatieve oplossingen, die beschreven staan in bijlage D1, het refractieprobleem opgelost is.

Verder is te zien dat het alternatief waarbij de golfbreker doorgetrokken wordt, evenwijdig aan de bestaande golfbreker, de grootste reductie geeft in de golfhoogten bij de haven. Het is echter ook bekend dat voor dit alternatief de vaargeul verplaatst moet worden.

Met een langere golfbreker evenwijdig aan de golfvindinging zijn weliswaar de golfhoogten lager, de verschillen tussen een golfbreker die slechts de ondiepte afschermt of een verlenging daarvan, zijn dermate klein dat geconcludeerd wordt dat het aanleggen van een korte golfbreker voldoende is. De golfhoogten die ontstaan, zijn dermate laag dat aan de eisen voldaan wordt.

Een optimaliseringsproces hoeft na het aanschouwen van de resultaten en het trekken van de bovenstaande conclusie niet uitgevoerd te worden.

## **KOSTEN**

In de module KOSTEN kunnen de globale kosten van de nieuwe golfbreker bepaald worden. De berekening vindt plaats op basis van de grootte van de golfbreker (lengte, hoogte en breedte) en een eenheidsprijs. Bij de afweging tussen verschillende alternatieven voor de lay-out van de golfbreker is de eenheidsprijs niet van belang, omdat de eenheidsprijs voor elk alternatief hetzelfde is.

## **OVERZICHT**

De gehele situatie wordt bewaard met behulp van de module OVERZICHT, zodat de situatie later nogmaals bekeken kan worden en daarvoor niet al het werk opnieuw gedaan hoeft te worden.



## 16. Case 2: Nieuw aan te leggen haven

Net zoals in het vorige hoofdstuk wordt in dit hoofdstuk een case behandeld, waaruit moet blijken op welke wijze HADES werkt.

Deze tweede case behandelt een nieuw aan te leggen haven.

In paragraaf 16.1 wordt de situatie op en om de lokatie van de aan te leggen haven beschreven. In paragraaf 16.2 wordt beschreven met welk proces binnen HADES een alternatieve haven lay-out verkregen wordt.

### 16.1 Beschrijving situatie

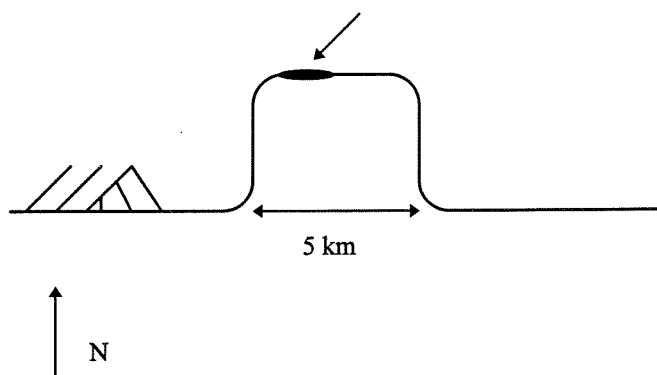
#### Probleemsignalering

Er bestaat een behoefte gecontaineriseerde goederen over te kunnen slaan. Het is niet bekend welke oorzaak aan deze behoefte ten grondslag ligt, maar dat is in dit geval van dermate klein belang dat daar ook niet verder op in wordt gegaan.

Er is voor gekozen een nieuwe haven aan te leggen. Welke overwegingen bij deze keuze een rol hebben gespeeld is niet bekend. Deze keuze wordt daarom hier als randvoorwaarde beschouwd.

#### Situatieschets

Er is al een keuze gemaakt voor de precieze lokatie van de nieuw aan te leggen haven. De haven moet komen te liggen in de noordwest hoek van een baai. In deze baai is relatief diep water aanwezig, zodat ervoor gekozen is de haven op die plaats aan te leggen. In figuur 16.1 is de situatie grafisch weergegeven.

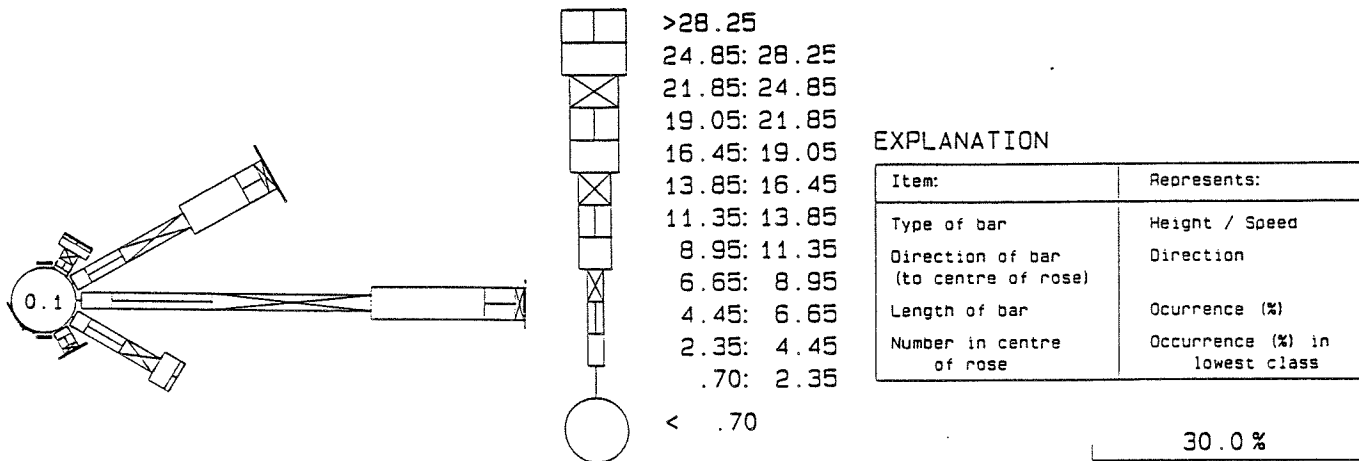


*Figuur 16.1: Voorgestelde plaats haven*

### Randvoorwaarden

De wind- en golfomstandigheden op open zee zijn op twee manieren verkregen. Ten eerste is er een dataset gebruikt, die volgde uit observaties vanaf schepen. De wind- en golfgegevens zijn gedurende een periode van 20 jaar verzameld. De tweede is een dataset, beschikbaar gesteld door het British Meteorological Office. Dit instituut heeft gedurende 5 jaar de wind en de golven waargenomen.

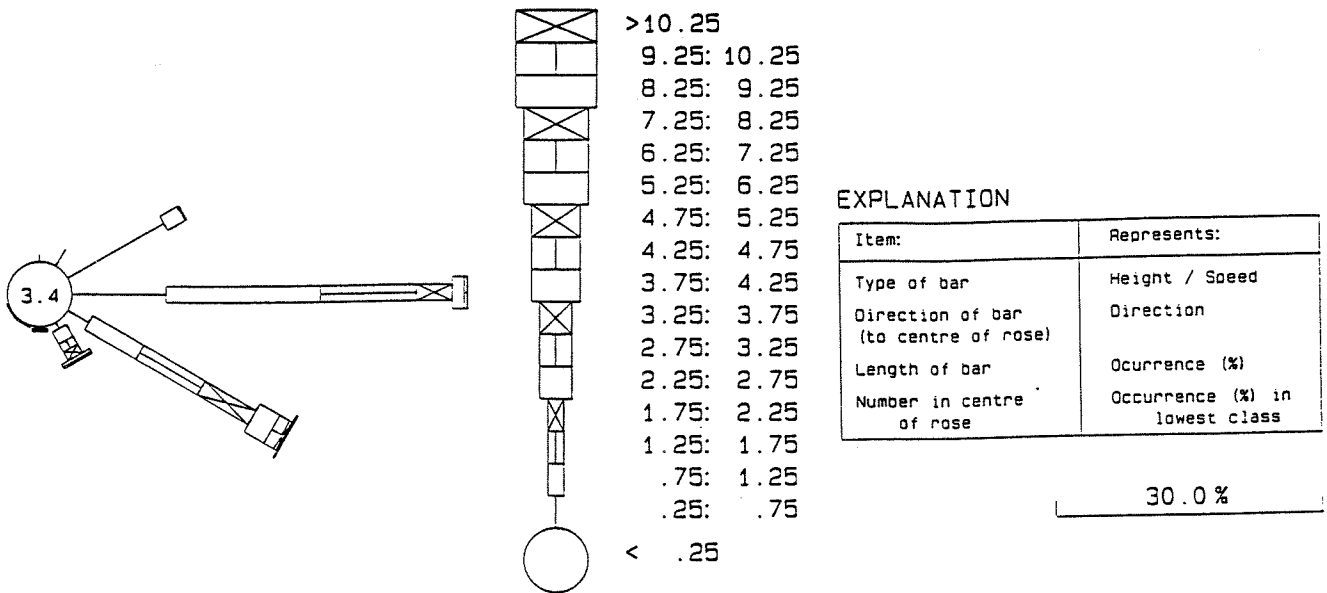
Voor de wind geven beide datasets vergelijkbare statistieken. Een windroos voor deze lokatie is gegeven in figuur 16.2. Te zien is dat de dominante windrichting zuidoost-tot noordoost is (ongeveer 90% van de tijd) en dat de kans dat de windsnelheid groter wordt dan 6 Beaufort zeer gering is.



*Figuur 16.2: Windroos voor lokatie*

Voor de golven verschillen de statistieken, volgend uit beide datasets, significant. De verschillen worden vooral veroorzaakt door het feit dat de waarnemingen vanaf de schepen gedurende 20 jaar zijn genomen en die beschikbaar gesteld door het British Meteorological Office gedurende een periode van 5 jaar. In deze 5 jaar zijn er geen extreme omstandigheden voorgekomen. Ondanks dat de golfhoogten verkregen met scheepsobservaties de werkelijke waarden enigszins overschatten, wordt ervoor gekozen deze dataset in het vervolg te gebruiken.

De golfomstandigheden op open zee zijn door w/delft hydraulics met behulp van het computerprogramma WATRON omgezet naar de golfomstandigheden op de lokatie van de haven. Wat opvalt is dat de kust een beschuttende werking heeft voor de golven. Een golfroos voor de omstandigheden op de lokatie van de haven (in de baai) is weergegeven in figuur 16.3. Te zien is dat de golven vooral uit de richtingen zuidoost en oost komen en dat de kans op voorkomen van golven hoger dan 4 meter gering is.



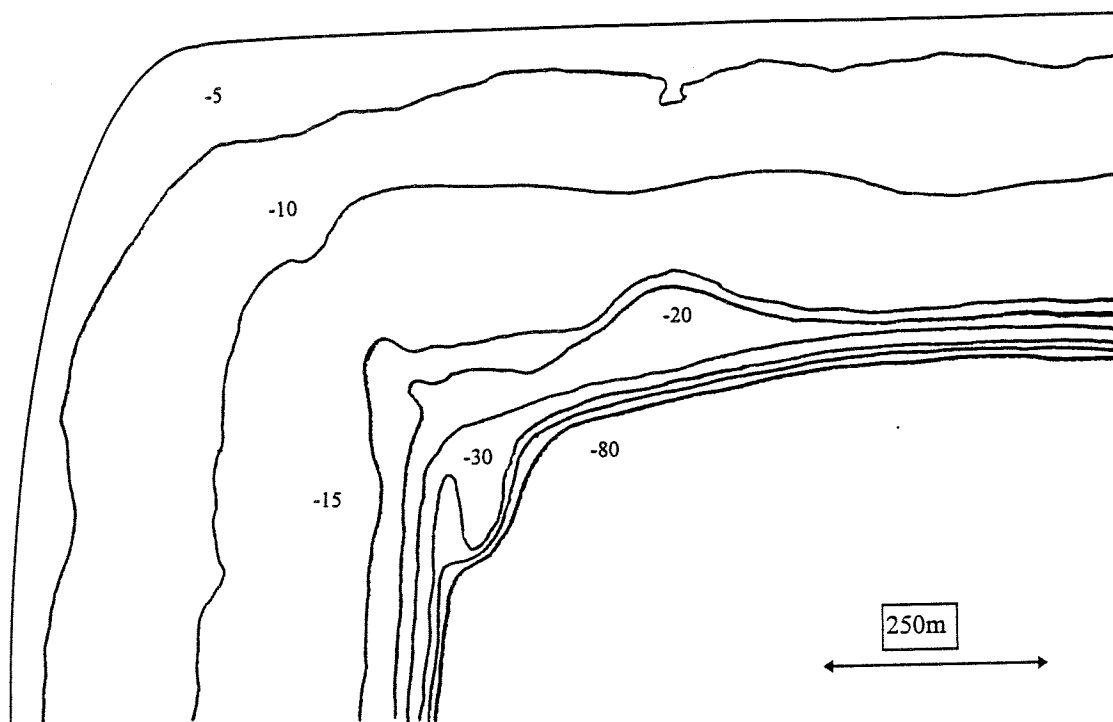
*Figuur 16.3: Golfroos voor ingang baai*

Tabel 16.1 geeft aan welke ontwerpschepen de haven moeten kunnen aandoen. Naast deze schepen moet ook een middelgrote tanker (70.000 DWT) zijn goederen in de haven kunnen overslaan.

Design vessel dimensions	Extra-Post Panamax	Largest Panamax	Medium Panamax	Small container ship (feeder)
Dead weight [ton]	85,000	60,000	40,000	15,000
Length over all [m]	318	290	237	152
Beam [m]	43	32.3	32.2	23.7
Draught [m]	14	13.2	11.7	8.5

*Tabel 16.1: Ontwerpschepen*

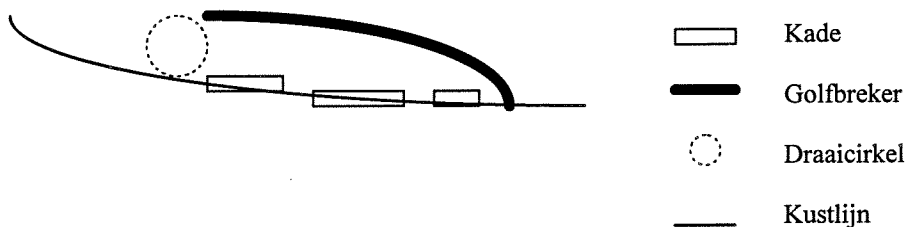
De dieptelijnen van de bathymetrie zijn voor de gekozen lokatie weergegeven in figuur 16.4. Te zien is dat er relatief diep water aanwezig is in de baai.



*Figuur 16.4: Dieptelijnen bathymetrie*

### Oplossingsprincipe

Er is een alternatief havenontwerp gedeponerd dat in een studie van dat bedrijf beoordeeld is op nautische en verdragingsseisen. Een belangrijke eigenschap van dit oplossingsalternatief is dat er slechts één golfbreker aanwezig is die de haven moet beschermen tegen golfindringing. Het draaibassin ligt gedeeltelijk onbeschermd. Verder zijn de kades aan de kust gelegen. Figuur 16.5 geeft dit oplossingsprincipe grafisch weer.



*Figuur 16.5: Oplossingsprincipe*

## 16.2 Gebruik HADES

In deze paragraaf wordt beschreven op welke wijze met HADES een oplossingsalternatief uitgewerkt kan worden. In het eerste deel van de paragraaf wordt daartoe aangegeven op welke plaats binnen het totale ontwerpproces HADES ingezet kan worden en in het tweede deel wordt het stappenplan van HADES voor deze specifieke situatie doorlopen.

### **Plaats HADES in ontwerpproces**

Voor het gebruik van HADES moet er een oplossingsprincipe op basis van creativiteit bedacht zijn. De eisen en randvoorwaarden worden in het HADES-systeem ingevoerd en het oplossingsprincipe wordt dan uitgewerkt met behulp van HADES.

In dit geval wordt er één oplossingsalternatief uitgewerkt. Er moeten ook verschillende andere alternatieven uitgewerkt worden, maar voor het duidelijk maken van het ontwerpproces binnen HADES is dat hier niet van belang. Het oplossingsalternatief dat door w/delft hydraulics is gedeponereerd, wordt in deze case uitgewerkt. De randvoorwaarden en eisen behoeven slechts éénmaal ingevoerd te worden en kunnen later ook bij de uitwerking van andere alternatieven gebruikt worden.

De uitwerking van het alternatief richt zich op de bepaling van de dimensies van de verschillende onderdelen van de natte infrastructuur van de haven. Deze dimensies moeten wat kosten betreft geoptimaliseerd worden, wat binnen HADES gebeurt met behulp van de controlemodules.

### **Stappenplan voor uitwerking oplossingsprincipe**

Het stappenplan waarmee HADES beschreven wordt, is gegeven in figuur 15.5. In het volgende wordt voor de verschillende onderdelen van dit systeem aangegeven welke handelingen er in uitgevoerd kunnen worden.

### **EISEN**

Er worden in dit geval geen harde eisen gesteld aan de te ontwerpen haven. Binnen HADES moet een checklist aanwezig zijn van veel voorkomende eisen. Dit zijn eisen, zoals de toegestane down-time of de risico-acceptatie. Deze boven- of ondergrenzen worden getalmatig ingevoerd. In dit geval zijn er geen boven- of ondergrenzen gegeven. De verschillende alternatieven worden voor de zaken waarop deze grenzen betrekking hebben kwalitatief vergeleken. Het ontwerp wordt dus slechts op criteria beoordeeld en deze hoeven niet in HADES ingevoerd te worden.

### **RANDVW**

De randvoorwaarden voor deze specifieke situatie zijn behandeld in de vorige paragraaf. Op deze plaats moeten ze in het HADES-systeem worden ingevoerd. In het volgende worden de betreffende randvoorwaarden behandeld.

- **Geofysica**

De dieptelijnen zijn getekend in figuur 16.4. Het verloop van de grondlagen over de hoogte is niet bekend. Deze casestudie richt zich op de lay-out van de haven en daarom is dit verloop ook niet van belang.

- **Ontwerpschip**

De ontwerpschepen zijn gegeven in tabel 16.1.

- **Scheepsaanbod**

Het te verwachten scheepsaanbod is niet bekend. Bij de uitwerking van het alternatief wordt uitgegaan van één kade voor de grootste ontwerpschepen (Extra-post Panamax en Panamax), twee kades voor medium grote containerschepen en één kade voor de kleinste ontwerpschepen. Er wordt vanuit gegaan dat deze aanname een juiste is. Verder wordt geconcludeerd dat bij dat aantal kades de kans dat schepen elkaar tegenkomen of passeren bij het in- of uitvaren van de haven dermate klein is dat er geen down-time te verwachten is ten gevolge van de dimensionering van de vaargeulen.



- Waterdichtheid

De waterdichtheid is niet bekend, maar er wordt verondersteld dat de diepgang van de ontwerpschepen, zoals die in tabel 16.1 gegeven is de situatie juist weergeeft.

- Golfveld

In figuur 16.3 is een golfroos gegeven bij de ingang van de haven. Omdat de vuistregels en de controlemodules slechts één golfrichting en -hoogte tegelijk kunnen behandelen moet er op deze plaats een klein aantal significante golfrichtingen- en hoogten afgeleid worden uit die golfroos. Er worden drie combinaties gekozen. De eerste is een golf met een golfhoogte van 2.25 meter en een oostelijke richting ( $1 \times \pi$  ten opzichte van een richting van west naar oost). De tweede heeft een golfhoogte van 3.25 meter en een zuidoostelijke richting ( $1.17 \times \pi$ ). De derde heeft een hoogte van 2.25 meter en komt uit oostzuidoostelijk richting ( $1.33 \times \pi$ ). De noordelijke richtingen kunnen verwaarloosd worden, omdat de baai aan de noordzijde begrensd wordt door land. In 5% van de tijd komen de golven uit andere richtingen of zijn de golven hoger.

De golfperiode volgt uit de metingen en bedraagt 7.5 seconden.

Met extreme condities wordt geen rekening gehouden, omdat de stabiliteit van de verschillende delen van de haven geen deel uitmaakt van deze studie.

- Strooming

De getijdestrooming wordt verwaarloosd, zoals bij het getijde beschreven wordt. Er zijn geen rivieren die uitmonden in baai. Er zullen dus ook geen stromingen daaruit voortvloeien. Verder blijkt uit [29] dat ook de golfgeïnduceerde strooming te verwaarlozen is.

- Windveld

Zoals in figuur 16.2 is aangegeven kan het windveld worden weergegeven door een windroos. De windrichting is van belang voor de bepaling van de richtingen van de vaargeulen. Uit de windroos is af te lezen dat er drie belangrijke windrichtingen zijn. Dat zijn de oostelijke richting ( $1 \times \pi$ ), de noordoostelijke richting ( $0.83 \times \pi$ ) en de zuidoostelijke richting ( $1.17 \times \pi$ ). Voor de windsnelheid wordt een waarde van 15 m/s aangehouden.

- Getijde

Uit getijde tabellen blijkt dat de getijdeverschillen in de orde van grootte van 10 cm liggen. Deze waarde is dermate klein dat er geen rekening gehouden wordt met deze waterhoogteverschillen.

- Tijdschaal

De ontwerplevensduur van de haven is niet bekend en er wordt daarom vanuit gegaan dat de te ontwerpen capaciteit van de haven voor een periode van 30 jaar voldoende moet zijn. Omdat echter de te verwachten capaciteit niet bekend is en daarom ook geen wezenlijk onderdeel van deze studie is, evenmin als de stabiliteit van de verschillende constructies onder extreme omstandigheden, is de levensduur niet van belang.

De waterspiegelstijging bedraagt in 30 jaar ongeveer 8 cm. Een grotere waterdiepte is positief voor de diepgang van de schepen en aangezien de stabiliteit van de constructies in de haven en de hoogte van de kades niet beschouwd worden, wordt deze waterspiegelrijzing verwaarloosd.

- Lokatie

De kaart van de omgeving is bijgevoegd in figuur 16.1. Het is niet bekend of er steengroeven in de omgeving van de haven zijn.

- Droge infrastructuur van een zeehaven

In de kaart van de omgeving is te zien dat er weinig infrastructurele voorzieningen aangelegd zijn voor deze nieuwe haven. Er ligt een belangrijke weg langs de gehele baai, er zijn geen grote waterwegen in de omgeving en verder is er veel ruimte beschikbaar in de omgeving om infrastructuur aan te leggen.

## INVOER

De situatie wordt opgeslagen in de module INVOER, zodat dezelfde situatie ook voor de uitwerking van andere alternatieven gebruikt kan worden.

## VOLGORDE

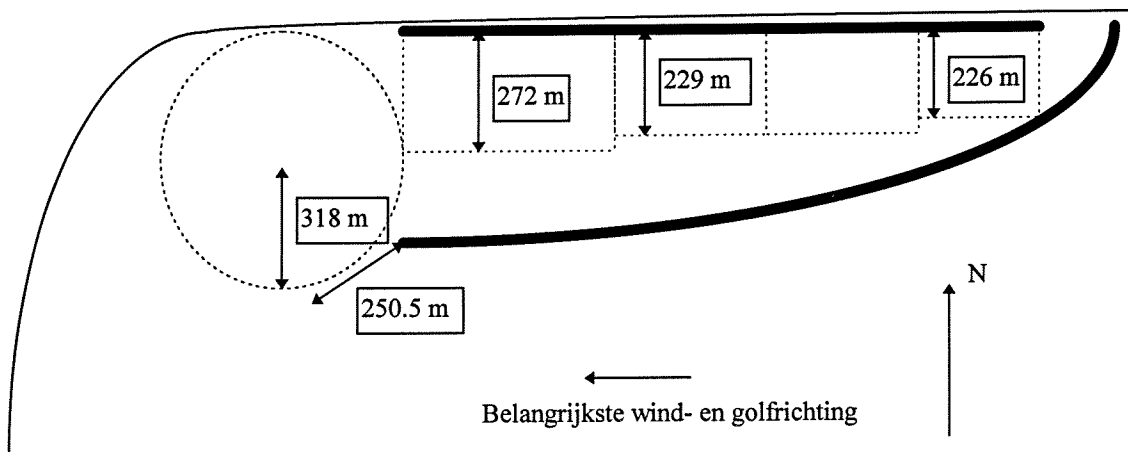
In deze specifieke case zijn alle dimensies van de haven in deze fase van het ontwerpproces nog onbekend. Voor de dimensies worden in deze module eerste aannames gedaan met behulp van vuistregels. Deze vuistregels zijn opgeslagen in de module VUISTREGELS.

Voor de lay-out is een eerste aanname gedaan in de vorm van het oplossingsprincipe. Deze lay-out wordt in deze module stap voor stap ingevoerd. De stappen die genomen worden, worden in bijlage D2 behandeld.

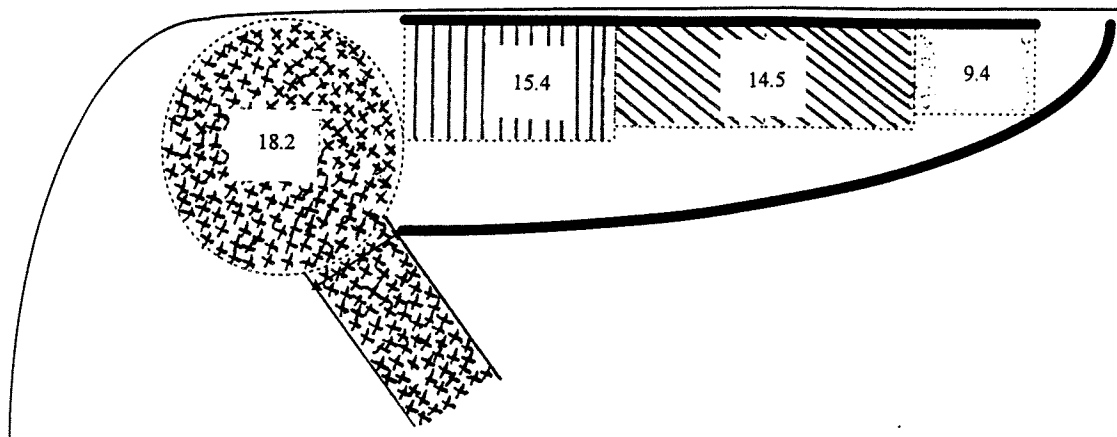
In later te gebruiken modules wordt de zo verkregen havenconfiguratie gecontroleerd.

De lay-out bestaat uit de verschillende onderdelen van de haven waarbij door de gestructureerde aanpak met veel afhankelijkheden tussen delen rekening is gehouden. De afhankelijkheden waar rekening mee wordt gehouden zijn gegeven in hoofdstuk 7 van dit rapport. De lay-out is nog geen eindresultaat. Om dat te bereiken moeten eerst de afhankelijkheden gecontroleerd worden en moet het ontwerp met behulp van de controlemodules geoptimaliseerd worden.

De lay-out van dit havenalternatief welke na de module VOLGORDE resulteert, is weergegeven in figuur 16.6. De dieptes zijn weergegeven in figuur 16.7.



*Figuur 16.6: Schets lay-out haven na VOLGORDE*



*Figuur 16.7: Ontwerpdieptes haven na VOLGORDE*

## VUISTREGELS

Buiten het feit dat de vuistregels gebruikt worden voor de bepaling van de dimensies, kunnen ook bepaalde algemene eisen voor de haven met behulp daarvan bepaald worden. Zo kunnen bijvoorbeeld de toegestane golfhoogten in de verschillende delen van de haven bepaald worden.

De voor deze situatie belangrijke vuistregels zijn de volgende.

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| • Golfhoogte waarbij sleepboten kunnen aanhaken:        | $H_{\max} = 1.5 \text{ m}$ |
| • Aanmeren:   | $H_{\max} = 1.0 \text{ m}$ |
| • Laden en lossen grote containerschepen:               | $H_{\max} = 0.6 \text{ m}$ |
| • Laden en lossen kleine containerschepen (<20.000 DWT) | $H_{\max} = 0.3 \text{ m}$ |
| • Olietankers aan jetties:                              | $H_{\max} = 2.5 \text{ m}$ |
| • Maximale wind voor afgemeerde schepen:                | $V = 20 \text{ m/s}$       |
| • Maximale wind bij afmeren containerschepen:           | $V = 15 \text{ m/s}$       |
| • Maximale wind bij afmeren olietankers:                | $V = 13 \text{ m/s}$       |

## AFHANG

In deze module wordt het ontwerp dat ontwikkeld is in de module VOLGORDE getoetst op afhankelijkheden. Deze controle zal plaatsvinden direct nadat het ontwerp is ingevoerd. Deze controlemodule zal later na het aanbrengen van veranderingen na controleberekeningen nogmaals aangeroepen kunnen worden om het ontwerp te toetsen.

De controle zal plaatsvinden aan de hand van een checklist. Aan de hand van de checklist worden nogmaals alle afhankelijkheden tussen ontwerpvariabelen onderling en tussen ontwerpvariabelen en randvoorwaarden getoetst. Enkele voorbeelden van afhankelijkheden worden in het volgende gegeven.

- Kades mogen niet te dicht bij vaargeulen liggen → Hier wordt aan voldaan
- Schepen aan kades moeten voldoende tussenruimte hebben → Hier wordt aan voldaan
- Het draaibassin moet aansluiten op de havenbassins → Hier wordt aan voldaan
- Het draaibassin moet aansluiten op de binnenvaargeul → Hier wordt niet aan voldaan
- De richting van de buitenvaargeul moet afwijken van de golfrichting → Dit is niet van belang

Zoals uit bovenstaande voorbeelden blijkt voldoet het ontwerp dat in VOLGORDE is gecreëerd in veel gevallen. In sommige gevallen voldoet het ontwerp niet. Dat kan bijvoorbeeld komen doordat de

ontwerper die keuze heeft gemaakt. Door deze controle wordt de ontwerper gedwongen nogmaals over deze keuzen na te denken.

Wanneer tijdens het iteratieve optimaliseringsproces veranderingen aan het ontwerp worden aangebracht kan deze module controleren of deze veranderingen toegestaan zijn aangaande de afhankelijkheden. Wanneer namelijk bij een bepaalde controle veranderingen worden aangebracht aan het ontwerp beperkt de ontwerper zich tot het optimaliseren van het ontwerp op een bepaald gebied. Andere gebieden kunnen op dat moment over het hoofd gezien worden.

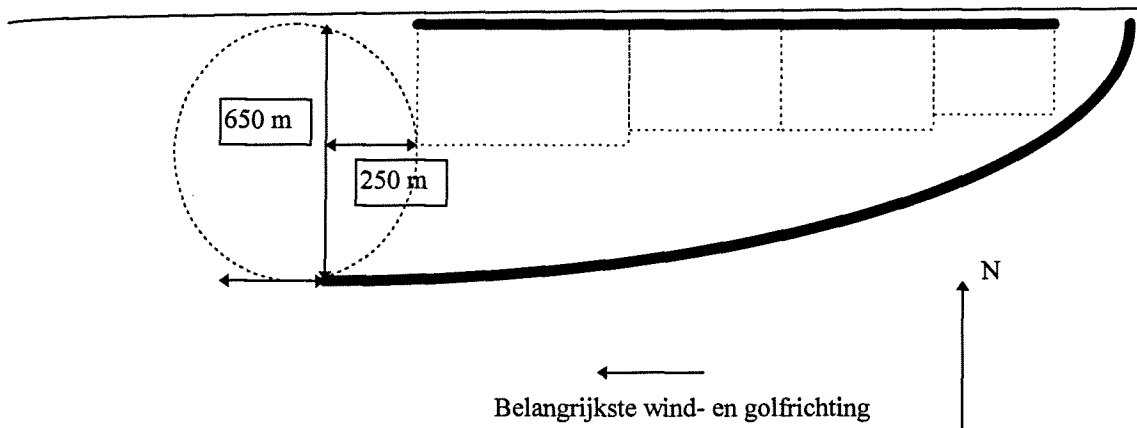
## CENTRAAL

Vanuit de module CENTRAAL kunnen alle controleberekeningen worden opgestart. Na een controleberekening wordt teruggekeerd naar deze module en kan een volgende controleberekening worden opgestart. In dit geval wordt als eerste de controlemodule CHarON opgestart.

## CHarON

Met behulp van CHarON wordt in eerste instantie de in VOLGORDE ontwikkelde situatie doorgerekend op golfindringing. De golfhoogten worden in drie bassins bepaald, namelijk in het achterste havenbassin, waar de kleine feeders aanliggen, in het voorste havenbassin, waar de grote containerschepen hun goederen moeten overslaan en in het draaibassin. De resultaten en de invoer zijn gegeven in bijlage D3. Het optimaliseringsproces voor de golfbrekerconfiguratie bestaat uit het veranderen daarvan en het daarna wederom doorrekenen van de golfhoogten.

De conclusie na het gebruik van CHarON is dat de gehele haven niet in de buurt van de bocht in de kustlijn in de baai moet liggen maar verder naar het oosten gesitueerd moet worden. Verder moet de golfbreker ook het draaibassin afschermen tegen golven. Het golfbrekerhoofd moet net zo ver uit de kust liggen als het einde van het draaibassin. De lay-out van de haven na het gebruik van CHarON is geschetst in figuur 16.8. Er wordt op deze plaats nogmaals benadrukt dat CHarON dermate veel beperkingen kent dat later met behulp van meer geavanceerde programma's, zoals PHAROS, de lay-out nogmaals gecontroleerd zal moeten worden op golfindringing.



*Figuur 16.8: Schets lay-out haven na CHarON*

## **CENTRAAL**

Vanuit CHarON wordt teruggekoppeld naar CENTRAAL. Van daaruit kan met behulp van de module TEKENEN de situatie veranderd worden. Tevens kunnen de afhankelijkheden in de veranderde situatie gecontroleerd worden.

Er kan nu een nieuwe controlemodule opgestart worden. Deze controlemodules zijn nog niet ontwikkeld en voor deze casestudie kunnen zij de controles ook niet uitgevoerd worden. In deze case is figuur 16.8 het eindresultaat. De kosten van dit eindresultaat kunnen bepaald worden met behulp van de module KOSTEN. Deze kosten vormen een belangrijk criterium bij de afweging tussen verschillende alternatieven.

In het volgende zullen kort de verschillende controlemodules behandeld worden. Na elk optimaliseringsproces in een controlemodule wordt de veranderde situatie ingevoerd in het systeem met behulp van TEKENEN en worden de afhankelijkheden getoetst.

## **KOSTEN**

De kosten worden bepaald op basis van de hoeveelheid baggerwerk (het verschil tussen de benodigde diepte en de aanwezige diepte) en de grootte van de golfbreker.

## **STROMINGEN**

In dit geval worden de stromingen verwaarloosd, zoals uit de randvoorwaarden blijkt. Wanneer er wel stromingen aanwezig zijn, moet gecontroleerd worden of de stroomsnelheden in de vaargeulen en de havenbassins niet te groot worden. Met behulp van vuistregels kunnen de eisen voor de stromingen bepaald worden.

## **SEDIMENT**

Omdat er geen stromingen en getijdeverschillen aanwezig zijn, zal ook het sedimenttransport te verwaarlozen zijn. Wanneer dit niet het geval is moet getoetst worden wat de invloed van de vaargeulen op de kust is en met welke snelheid de vaargeulen dichtslibben.

## **CAPACITEIT**

In deze module moet de down-time bepaald worden voor de verschillende scheepsoorten. Down-time kan onder andere ontstaan doordat de golfomstandigheden te ongunstig zijn, doordat de kades of het draaibassin bezet zijn of doordat de windsnelheid te hoog is. Zo zijn er nog vele invloeden die voor down-time kunnen zorgen.

De bepaling van de down-time kan voor elke invloed apart bepaald worden. Zo kan voor de vertraging ten gevolge van de golfhoogte op basis van de gegeven golfroos en de eisen aan de golfhoogte bepaald worden in welk percentage van de tijd de schepen geen gebruik kunnen maken van het draaibassin, de havenbassins en de vaargeulen (buiten de haven).

Voor deze case geldt daarbij het volgende:

De golfhoogte waarmee de golfindringing bepaald is, wordt in 5% van de tijd overschreden. Omdat de plaats van de golfbreker zo is ontworpen dat de golfhoogten juist aan de eisen voldoen, wordt ervan uitgegaan dat in die 5% van de tijd de haven niet gebruikt kan worden.

Nadat de vertragingen ten gevolge van alle verschillende invloeden afzonderlijk bepaald zijn, kan de totale capaciteit van de haven voor een bepaald scheepstype bepaald worden. Deze bepaling gebeurt op basis van kans op voorkomen van vertraging voor een individueel schip. De berekeningen in deze module zullen daarom vooral statistische berekeningen zijn.

Ook deze module moet nog ontwikkeld worden en er kan daarom verder niet op de te gebruiken methodiek van deze module ingegaan worden.

Uit de berekeningen in deze module kan blijken dat de down-time ten gevolge van de golfhoogte te hoog is. Er moet dan worden teruggekoppeld naar de module CHarON om daar de golfbrekerconfiguratie aan te passen.

### **NAUTIEK**

In deze module moet gecontroleerd worden of de op basis van vuistregels bepaalde breedtes van de vaargeulen voldoen. In hoofdstuk 3 en bijlage A3 is het modelleringsprogramma SHIPMA besproken, waarmee de manoeuvreereigenschappen van de schepen bij het binnenvaren van de haven bepaald worden. Op basis daarvan wordt het ontwerp beoordeeld. De module NAUTIEK moet op een soortgelijke wijze werken.

In dit specifieke geval helpen sleepboten de schepen bij het binnenvaren van de haven en hoeft deze controle daarom niet uitgevoerd te worden.

### **DIEPTE**

De dieptes in de vaargeulen zijn berekend op basis van vuistregels. In deze module moet bepaald kunnen worden of de vuistregels ook in deze specifieke situatie voldoen. In hoofdstuk 3 van dit rapport is het programma HARAP besproken, waarmee de diepte van de vaargeulen beoordeeld wordt op basis van de kans op voorkomen van aanrakingen van de bodem. De module DIEPTE moet op een soortgelijke wijze werken, waarbij het programma als rapid assessment tool geïntegreerd moet worden in HADES.

### **OVERZICHT**

De gehele situatie wordt bewaard met behulp van de module OVERZICHT, zodat de situatie later nogmaals bekeken kan worden.



## 17. Conclusies en aanbevelingen HADES

In deel A en deel B van dit rapport is een eerste opzet voor het havenontwerpsysteem HADES ontwikkeld. In deel C is een onderdeel daarvan, namelijk de golfindringingsmodule, verder uitgewerkt. In de hoofdstukken 15 en 16 is aan de hand van een tweetal cases duidelijk gemaakt op welke wijze het HADES-systeem zal moeten gaan werken. Over deze werkwijze zijn enkele conclusies te trekken en er zijn enkele aanbevelingen te doen voor de verdere ontwikkeling van HADES.

Deze conclusies en aanbevelingen hebben alleen betrekking op het HADES-systeem zelf. Aanbevelingen voor de verschillende modules worden hier niet gedaan. Voor de ontwikkeling van een specifieke module moet namelijk een aparte studie gedaan worden, die zich specifiek richt op het onderwerp dat de module behandelt. Conclusies en aanbevelingen voor de ontwikkeling van CHARON zijn in hoofdstuk 13 beschreven.

De conclusies over HADES worden in paragraaf 17.1 behandeld. Aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling van HADES worden beschreven in paragraaf 17.2.

### 17.1 Conclusies HADES

- HADES is een hulpmiddel bij de uitwerking van een havenontwerp. Het is niet mogelijk het systeem op basis van de randvoorwaarden en eisen een ontwerp te laten produceren. De ontwerper zal zelf het werk moeten doen.
- Doordat binnen HADES het ontwerpen van de natte infrastructuur van een haven gestructureerd wordt aangepakt, neemt de snelheid van het uitwerken van een ontwerp toe. De checklists van benodigde randvoorwaarden, eisen, afhankelijkheden en controles zorgen ervoor dat de ontwerper bewust over alle aspecten nadenkt. Daardoor kan het aantal iteraties afnemen.
- Doordat het systeem veel controleprogramma's bevat, is het aantal havenproblemen waarbij HADES bij het oplossen van nut kan zijn groot. Verder kan veel tijd worden gewonnen doordat de randvoorwaarden in alle verschillende controleberekeningen gebruikt kunnen worden en dus slechts éénmaal ingevoerd behoeven te worden.

### 17.2 Aanbevelingen voor de ontwikkeling van HADES

- Wanneer het HADES-systeem als computerprogramma ontwikkeld wordt, behoeven de berekeningen en controles niet handmatig gedaan te worden. Doordat de computer deze handelingen sneller uit kan voeren dan mensen zal daar tijd mee gewonnen worden. De gestructureerde opbouw van het HADES-systeem maakt het mogelijk het systeem als computerprogramma te ontwikkelen.
- De controlemodules die in dit verslag als onderdeel van HADES genoemd zijn zullen uitgewerkt moeten worden. Voor de wijze waarop dit moet gebeuren worden geen uitspraken gedaan, maar het lijkt nuttig om de verschillende modules te koppelen, zodat ze dezelfde invoer kunnen gebruiken. Verder moeten ze resultaten van andere controlemodules als invoer kunnen hebben.



- Er moet een studie gedaan worden naar het aantal controles die binnen HADES uitgevoerd moeten kunnen worden. De controlemodules waarover in dit rapport is geschreven, zoals capaciteit, diepte en golfindringing, geven niet alle aspecten binnen een havenontwerp weer.
- Er moet een studie gedaan worden naar de wijze waarop de randvoorwaarden worden ingevoerd in het systeem. Als voorbeeld wordt hier het golfveld genoemd, dat op verschillende manieren ingevoerd kan worden (golfroos, concrete golfhoogten, kans-overschrijdingskromme). Voor de verschillende controles kan een andere weergave van het golfveld nodig zijn. Bijvoorbeeld voor de controlemodule CHarON moet een discrete golfhoogte en een discrete golfrichting ingevoerd worden, terwijl voor de bepaling van de capaciteit de kans op voorkomen van een bepaalde golfhoogte bekend moet zijn.
- Er moet een studie gedaan worden naar de afhankelijkheden die in de module AFHANG getoetst moeten worden.
- Er moet een keuze gedaan worden voor de vuistregels die in het systeem gebruikt worden. In bijlage A2 zijn namelijk vuistregels over hetzelfde onderwerp gegeven van verschillende bronnen. Omdat de PIANC-regels op dit moment in de praktijk veel gebruikt worden, lijkt het logisch om deze regels daarvoor te gebruiken.
- Er moet een keuze gemaakt worden voor de afhankelijkheden die binnen de module VOLGORDE gebruikt gaan worden. In bijlage B1 is een groot aantal afhankelijkheden gegeven, waarvan er voor het HADES-systeem een aantal zijn gebruikt. De hoeveelheid afhankelijkheden moet overeenstemmen met de gewenste gedetailleerdheid van het ontwerp na het gebruik van HADES. De gewenste nauwkeurigheid moet ook in de controlemodules bereikt worden.
- Er wordt aangeraden in eerste instantie de delen van HADES te ontwikkelen waarmee het havenontwerp gestructureerd wordt ingevoerd en gecontroleerd op afhankelijkheden. Het gaat daarbij om de modules EISEN, RANDVW, VOLGORDE, TEKENEN, VUISTREGELS, AFHANG en INVOER. Deze delen zijn onmisbaar voor de werking van het HADES-systeem. Voor de verschillende controleberekeningen zijn op dit moment al computerprogramma's beschikbaar. De controlemodules kunnen in latere fasen onafhankelijk van elkaar ontwikkeld worden en opgenomen worden in het HADES-systeem. Na de ontwikkeling van het eerste deel van het systeem kan de eerste versie ervan al operationeel worden.

# Referenties

## Deel A en deel B

1. PIANC-IAPH Working group II-30; Approach channels, a guide for design; 1997
2. Prof.ir.H.Velsink; TU Delft; Ports and terminals; Dictaat F12/F13; 1994
3. Coastal Engineering Research Center; Department of the army; Shore protection manual; 1984
4. R.C.Steyn; Havenontwerp ondersteunend systeem, een integrale kijk op het ontwerpen van havens; 1994
5. J.W.van der Meer; Conceptual design of rubble mound breakwaters; 1993
6. J.Strating; Nautical considerations for port design; 1982
7. UNCTAD, United Nations; Port development, A handbook for planners in developing countries; 1978
8. C.A. Thoresen; Port design, guidelines and recommendations; 1988
9. dr.ir.L.H.Holthuijsen; TU Delft; Ocean waves; 1997
10. I.Onassis, H.A.Pennekamp, J.Dekker; Relationele databank voor havenontwerp; 1994
11. Prof.dr.ir.H.A.J.de Ridder; TU Delft; Inleiding ontwerpen; Dictaat Ctow2120; 1997
12. W.W.Massie; TU Delft; Coastal engineering, volume III Breakwater design; Dictaat F5; 1986
13. dr.ir.L.H.Holthuijsen; TU Delft; Toegepaste fysische oceanografie; Dictaat x2CT1; 1997
14. TU Delft; Korte golven; Dictaat B76; 1993
15. Ir.R.Groenveld; TU Delft; Service systems in ports and inland waterways; Dictaat F12/F13; 1994
16. G.J.Schiereck; TU Delft; Introduction to bed, bank and shore protection; Dictaat F4; 1996
17. dr.ir.M.R.Beheshti; TU Delft; Grafische en ruimtelijke gegevensverwerking; Dictaat FC43; 1996
18. R.Laurini, D.Thompson; Fundamentals of spatial information systems; 1992

## Deel C

19. Waterloopkundig laboratorium; Mathematical models for simple harmonic linear water waves; 1976
20. Shou-Shan Fan, J.E.Cumming, R.L.Wiegel; University of California; Computer solution of wave diffraction by semi-infinite breakwater; 1967
21. Waterloopkundig laboratorium; Berekening van het diffractieverschijnsel; 1969
22. Waterloopkundig laboratorium; Berekeningsmogelijkheden diffractie en/of refractie van golven; 1971
23. J.F.P.Mutsears; TU Delft; Optimisation of the Kayamkulam terminal; 1996
24. J.Konvalina, S. Wileman; University of Nebraska at Omaha; Programming with PASCAL; 1987
25. TU Delft; Korte golven; Dictaat B76; 1993
26. Coastal Engineering Research Center; Department of the army; Shore protection manual; 1984
27. H.N.Southgate; ASCE; Journal of waterways, ports and coastal engineering; A harbor ray model of wave refraction-diffraction
28. Waterloopkundig laboratorium; DIFFRAC manual; 1995

## Deel D

29. Hydrographer of the army; West Indies pilot, volume 1; 1971
30. Hydrographer of the army; Admiralty tide tables; 1994
31. Waterloopkundig laboratorium; Pre-feasibility study for container terminal; 1998
32. Waterloopkundig laboratorium; Wave disturbance project; 1998

# Lijst van figuren

## Deel A

3.1	Stroomdiagram ontwerpproces	5
3.2a	Kusthaven	7
3.2b	Offshore haven	7
3.2c	SBM	7
3.3	Stappenplan ontwerpproces	18
4.1	Plaats HADES in ontwerpproces	21

## Deel B

6.1	Fysieke ontwerpvariabelen	27
6.2	Voorbeeld van een venster	37
7.1	Traditioneel ontwerpproces	41
7.2	Ontwerpproces in HADES	41
7.3	In- en uitvoer HADES	49
7.4	Invoer ontwerpvariabelen	49
7.5	Iteratief verbeteren ontwerp	50
7.6	Stappenplan HADES	50
7.7	Informatiestromen	51

## Deel C

9.1	CHarON binnen stappenplan HADES	55
10.1	DiffRACTIE	59
10.2	Principe van Huygens	59
10.3	Vectorrepresentatie bijdragen in punt p	60
10.4	Vectorieel optellen bijdragen	61
10.5	Spiraal van Cornu	61
10.6	Relatieve afstand te bepalen punt tot randpunt	62
10.7	Golfbeweging op bepaald tijdstip	62
10.8	Golfbeweging op bepaalde plaats	63
10.9	Sommeren verschillende bijdragen	63
10.10	Gesommeerde golfbeweging met verschoven fasen	64
10.11	Schematisatie halfoneindige golfbreker	65
11.1	Stappenplan gebruiker CHarON	68
11.2	Stroomschema berekeningen CHarON	70

12.1	Schets situatie test 1	75
12.2	Schets situatie test 2	76
12.3	Schets situatie test 6	78
12.4	Schets situatie test 8	79
12.5	Schets situatie test 9	80
12.6	Schets situatie test 10	81
12.7	Schets situatie test 11	81

## Deel D

15.1	Situatieschets	89
15.2	Golfroos voor ingang haven	90
15.3	Windroos voor ingang haven	91
15.4	Uitvoer PHAROS voor golfhoogten in haven	91
15.5	Stappenplan HADES	93
16.1	Voorgestelde plaats haven	99
16.2	Windroos voor lokatie	100
16.3	Golfroos voor ingang baai	101
16.4	Dieptelijnen bathymetrie	102
16.5	Oplossingsprincipe	102
16.6	Schets lay-out haven na VOLGORDE	105
16.7	Ontwerpdieptes na VOLGORDE	106
16.8	Schets lay-out haven na CHarON	107

# Lijst van tabellen

## Deel A

3.1	Voorbeeld multi criteria evaluatie	13
-----	------------------------------------	----

## Deel B

6.1	Afhankelijkheden tussen ontwerpvariabelen	39
6.2	Afhankelijkheden ontwerpvariabelen van randvoorwaarden	39
6.3	Afhankelijkheden kosten	39
7.1	Afhankelijkheden binnen HADES	45

## Deel D

16.1	Ontwerpschepen	102
------	----------------	-----



# Woordenlijst

In dit rapport worden enige vaktermen gebruikt. Ook worden enige engelse termen gebruikt die moeilijk in één nederlandse term te vertalen zijn. Deze worden hier uitgelegd.

Aanmeren	Een schip voor en achter vastleggen
Amplitude	Wijdte waarover de trilling plaatsvindt
Autoriteit	Overheid
Bassin	Waterbekken in haven of dok
Bathymetrie	Het hoogteverloop van de bodem
Bezettingsgraad	Verhouding tussen het feitelijk en mogelijk gebruik
Biotisch	Uit levende organismes bestaand
Boeg	Voorste gebogen gedeelte van een schip aan weerszijden van de voorsteven
Bottle-neck	Knelpunt, moeilijkste deel van het geheel
Bow thruster	Zijroer aan de boeg van een schip met als doel de draaicapaciteit te verbeteren
Brekertype	De wijze waarop een golf breekt (surging, plunging, collapsing, spilling)
Bulk	Onverpakte lading
Capaciteit	Vermogen (In geval van een haven: De hoeveelheid schepen, lading of anderszins dat op tijdsbasis in de haven geholpen kán worden)
Carrier	Vrachtvaarder
Checklist	Systematische lijst
Configuratie	Groepering, formatie, opstelling
Collapsing	Het brekertype, waarbij de golven direct op de bodem slaan, zonder tussenliggende waterlaag ( $\xi \approx 3$ , $\xi = \tan\alpha / (H/L)^{1/2}$ )
Coriolis kracht	Manier om draaiing van de aarde weer te geven, welke als gevolg heeft dat water op het noordelijk halfrond naar rechts stroomt en op het zuidelijk halfrond naar links
Defaultwaarde	Een waarde die wordt aangenomen bij gebrek aan een ingevoerde waarde
Determinisme	Leer, waarbij variabelen, zonder onzekerheid mee te nemen, als getal worden ingevoerd in berekeningen
Diepgang	Maximale afstand in meters tussen de waterlijn en de kiel van een schip
DiffRACTIE	Verschijsel waarbij golven om een constructie heenbuigen
Diffusie	Vermenging tussen afwijkende stoffen
Dimensie	Afmeting
2 (3)- Dimensionaal	Geeft het aantal te beschouwen richtingen weer
Down time	De tijd dat schepen aanwezig zijn, maar niet nuttig zijn
Drift	Afwijking van de te volgen ideale lijn
Drifthoek	Afwijking van de hoek van de te volgen ideale lijn
Dynamisch	Bewegend
Ecologie	Wetenschap van levende gemeenschappen
Empirisch	Volgens de leer dat kennis uit ervaring en proefondervinding komt
Erosie	Afslijting of uitholling van land door werking van wind en stroming
Estuarium	Door wisselwerking tussen zee en rivier beïnvloede riviermond
Expert kennis	Kennis uit menselijke deskundigheid
Fase	Elke bijzondere stand of waarde in een terugkerende opeenvolging van beweging
Fast time	Waarbij in modellen de tijd sneller verloopt dan de werkelijke tijd



Fender	Rubberen of anderszins profiel waar het schip tijdens het aanmeren en aan de kade liggen zijn energie aan afgeeft
File	Bestand; Groep gegevens onder een bepaalde naam opgeslagen en op te roepen
Framework	Raamwerk, structuur (In computerprogramma: Wijze waarop verschillende modules met elkaar communiceren en volgorde waarop zij aangeroepen worden)
Frequentie	Getal dat aangeeft hoe vaak een verschijnsel plaatsvindt in bepaalde tijd
Fysiek	Tastbaar
Geofysica	Wetenschap die zich bezighoudt met de natuurkundige eigenschappen van de bodem
Getijdencyclus	Tijd waarna het getijdecomponent zich herhaalt
Gradiënt	Grootte die de richting en grootte bepaalt waarin een andere grootte verandert
Grid	Rekenrooster
Haven	Veilige ligplaats voor schepen
Hek	Achterzijde van een schip
Hydrodynamica	Leer van de beweging van vloeistoffen
IJken	Maten en gewichten vergelijken met een graadmeter
Infrastructuur	Het geheel van auto-, spoor-, straat-, waterwegen, havens, vliegvelden en elektrische installaties, wat de onderbouw van het economisch leven vormt
Interface	Apparatuur waarmee de gebruiker en de computer aan elkaar worden gekoppeld
Interferentie	Werking van golven op elkaar bij samentreffen
Iteratie	Herhaling
Jetty	Piervormige steiger waaraan een schip kan aanmeren
Kade	Oeverdams, waaraan schepen kunnen aanleggen, laden en lossen
Kiel	Het onderste deel van een schip
Kinetische energie	Arbeidsvermogen van beweging
Kortkammig	Golfveld, waarbij de kammen evenwijdig aan de kust niet oneindig doorlopen en daardoor onregelmatig is
Lay-out	Hier: Plattegrond, waarbij onderdelen als lijnen worden geschematiseerd
Manoeuvreren	Wenden, draaien van een schip
Meteorologie	Weerkunde
Modaliteit	Vervoerswijze (trein, vrachtwagen, zeeschip, binnenschip)
Module functie	Hier: Afscheiden deel van een computerprogramma met eigen en vermogens
Monochromatisch	Waarbij in een golfveld een uniforme periode heerst
Morfologie	Beschrijving van de (veranderende) vorm van de aardoppervlak
Nautiek	Het scheepswezen
Offshore	Uit de kust liggend
Overslaan	Van het ene naar het andere overbrengen
Plimsoll Mark	Teken op het schip dat de toegestane diepgang aangeeft
Plunging	Brekertype, waarbij een golfveld over korte afstand zijn energie door breking overbrengt aan de omgeving, waarbij er een waterlaag tussen de golftop en de bodem aanwezig is ( $\xi \approx 0.5$ )
Potentiaal	Waarde van de grootte vermogen
Quarry run	Materiaal dat overblijft in de groeven
Raai	Rekenlijn
Random	Zonder enige selectie
Rapid assessment	Snel verkrijgen van resultaten

---

Real time	Waarbij in modellen de werkelijke tijd gelijk is aan de gemodelleerde tijd
Refractie	Het veranderen van de voortplantingsrichting van golven door diepteverschillen
Reflectiecoëfficiënt	Vermenigvuldigingsfactor, waarmee de golfhoogte na terugkaatsing ten opzichte van de golfhoogte voor terugkaatsing wordt aangegeven
Regulering	Hier: Het stroomlijnen van verkeersstromen door schepen regels op te leggen
Remote sensing	Waarbij gemeten wordt door de terugkaatsing van een zelf uitgezonden straal te meten
Risico	Kans vermenigvuldigd met het gevolg
Romp	Het lichaam van een schip zonder de tuigage
Schematisatie	Een als vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid
Sedimentatie	Aanzanding van sediment op de bodem of aan de kust
Seiche	Golf die doordat zijn frequentie en de eigenfrequentie van een afgesloten bassin overeenkomen opgezweept wordt
Simulatie	Nabootsen van functies of verrichtingen
Single Buoy Mooring	Een boei waaraan olieschepen kunnen aanmeren, laden en lossen
Slib	Bodembestanddelen die door het water zijn meegevoerd en vermengd zijn met water
Spilling	Brekertype, waarbij een golfveld over grote afstand, geleidelijk breekt en daardoor weinig kracht op de bodem uitoefent ( $\xi \approx 0.2$ )
Statisch	Bewegingloos
Surging	Brekertype, waarbij de helling steil is ten opzichte van de golfsteilheid, waardoor golven grotendeels terugkaatsen ( $\xi \approx 5$ )
Suspensie	Vloeistof waarin zich een fijn verdeelde vaste stof bevindt
Transferfunctie	Functie die aangeeft hoe een grootheid zich gedraagt als gevolg van veranderingen van een andere grootheid
Transmissie	Overbrenging; Hier: De overbrenging van golfenergie van de ene zijde van een golfbreker naar de andere zijde
Tros	Kabel, bestaand uit enkele strengen, waarmee schepen worden vastgelegd aan de kade
Turbulentie	Onregelmatige wervelingen in het water
Uniform	Gelijkvormig
Variabele	Veranderlijke grootheid. Hier: Elke grootheid die specifiek is voor een bepaald havenontwerp, op een bepaalde plaats en zodoende bepaald moet worden tijdens het totale ontwerpproces
Vector	Grootheid die niet alleen een grootte maar ook een richting heeft
Vuistregel	Regel die gemakkelijk toepasbaar is, in de meeste gevallen opgaat en een schatting geeft van de waarde van een variabele
die	
Zetting	Inklinking van de bodem



## Bijlagen

# Bijlage A1: Randvoorwaarden

Voordat binnen het ontwerpproces van de natte infrastructuur van een zeehaven het daadwerkelijke ontwerpen plaats kan hebben, moeten de randvoorwaarden bepaald zijn. De ontwerper heeft geen invloed op deze randvoorwaarden. Ze worden opgelegd door de omgeving of door de opdrachtgever.

In deze bijlage wordt beschreven welke randvoorwaarden benodigd zijn om tot een ontwerp van een zeehaven te komen, op welke wijze deze verkregen kunnen worden en welke hulpmiddelen er gebruikt kunnen worden om ze overzichtelijk en bruikbaar te presenteren.

Het gebruik van de beschreven methoden kost geld en het is daarom zinvol eerst te controleren of de benodigde informatie al bestaat. De informatie kan al bekend zijn, doordat bij projecten, die in de omgeving van het betreffende gebied zijn uitgevoerd, de randvoorwaarden zijn bepaald. Lokale autoriteiten hebben ook vaak al gegevens voorradig.

## A1.1 Plaatsbepalingssystemen

Informatie die verkregen wordt, is plaatsafhankelijk. Om de informatie juist te interpreteren moet duidelijk zijn op welke plaats de informatie is verkregen.

### Plaatsbepaling in situ

De precieze plaats, waarop metingen worden gedaan, wordt bepaald aan de hand van een aantal vaste punten waarvan de positie bekend is. Deze punten kunnen op de wal liggen, in de lucht of in het water. Op de wal worden vaak vuurtorens als referentiepunten gebruikt, in de lucht satellieten en in het water worden boeien gebruikt als referentie. Met behulp van radiogolven, laserstralen, licht of radar wordt de hoek en afstand tot de punten bepaald. Twee referentiepunten zijn hierbij voldoende om de plaats van een punt te definiëren.

De verkregen informatie kan plaatsgebonden worden weergegeven in een database, in handgemaakte tekeningen, in een CAD-tekening (Computer Aided Design) of in een GIS-file (Geografisch Informatie Systeem). De informatie kan omgezet worden van het ene medium naar het andere.

In databases wordt de informatie aan een plaats gebonden door coördinaten toe te kennen aan de meetpunten. De informatie wordt in tabellen en grafieken gepresenteerd. In de volgende alinea's worden het gebruik van GIS-systemen en CAD-systemen toegelicht.

### GIS

In een GIS-systeem wordt de kaart van het modelgebied onderverdeeld vlakjes. De informatie wordt gerelateerd aan de geografische kaart door elk vlakje één of meerdere waarden te geven. Het soort waarde is afhankelijk van het beschouwde onderwerp. Bijvoorbeeld voor het geval de bathymetrie beschouwd wordt, kan er aan elk vlakje een hoogte toegewezen worden en een grondsoort. In verschillende lagen kunnen verschillende soorten informatie aan hetzelfde punt toegewezen worden. De grootte van de vlakjes bepaalt de nauwkeurigheid.

Er bestaan talloze GIS-pakketten, die elk een aantal functies aan de gebruiker verschaffen. Het soort en aantal gebruiksfuncties verschilt per pakket en daarmee verschilt het toepassingsgebied. Elk GIS-pakket heeft een functie, waarmee oppervlaktes en volumes berekend kunnen worden. Dit kan voor een globaal havenontwerp zeer nuttig zijn (hoeveelheid baggerwerk, volume golfbreker).

## **CAD**

In een CAD-systeem worden objecten getekend die niet aan een plaats gebonden zijn. De getekende lijnstukken kunnen gemakkelijk verschoven of bewerkt worden. De ondergrond is wel plaatsgebonden en de objecten kunnen hierop getekend, bewerkt en verschoven worden.

Er bestaan zeer veel CAD-pakketten, die elk hun eigen toepassingsgebied hebben. Er zijn bijvoorbeeld CAD-pakketten voor metaalbewerking en voor bouwkundig constructietekenen. De verschillen tussen de pakketten zit in de functies die ze aan de gebruiker bieden.

Het opzetten van een model in een CAD-systeem is relatief eenvoudig en de informatie kan overzichtelijk gepresenteerd worden. Het werken met lijnstukken zorgt ervoor dat informatie ook alleen op die lijnstukken gedefinieerd is. Tussen lijnstukken moet geïnterpoleerd worden om informatie te verkrijgen. Verder kan geen numerieke informatie aan punten toegewezen worden, waar dat bij een GIS-systeem wel mogelijk is. Zo kunnen bijvoorbeeld grondsoort of inwonersaantallen niet aan een punt toegewezen worden.

## **A1.2 Geofysica**

In de te behandelen geofysica zijn verwerkt:

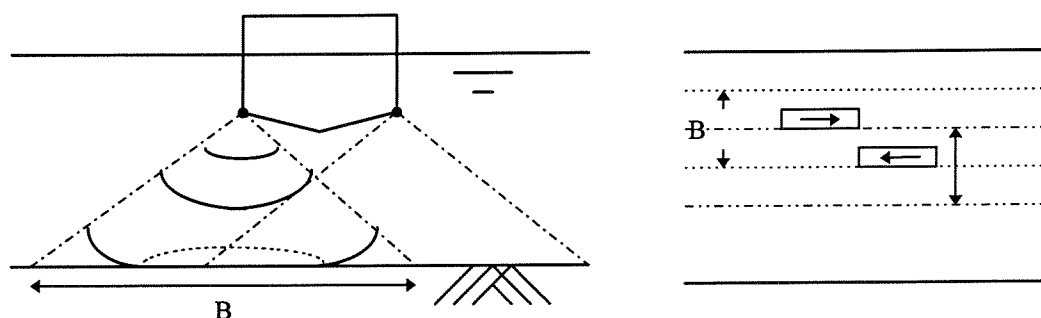
- De bodemsoort, het materiaal waar de bodem uit bestaat. Belangrijk hierin is vooral of de bodem hard of zacht is, dus of de bodem uit rots, slib of zand bestaat. Een bodemsoort wordt gekenmerkt door een aantal eigenschappen, zoals hoek van inwendige wrijving, soortelijk gewicht, klitcapaciteit en waterdichtheid.
- De bathymetrie van de bodem.
- Het verloop van de grondlagen over de diepte.

### **Dieptemeting**

De bathymetrie wordt bepaald door middel van metingen. Een schip vaart hierbij een van te voren bepaalde koers. Hier moet de positie van het schip op elk moment bekend zijn. Het schip is uitgerust met een sonar in de bodem. Gedurende de hele tocht zendt de sonar geluidsgolven uit, die reflecteren tegen de bodem. Uit de tijd die de golven erover doen terug te keren naar het schip kan de bodemdiepte bepaald worden.

Bij een uit slib bestaande bodem verloopt de dichtheid van de bodem over de diepte (zie ook bijlage B1). Golven met een bepaalde frequentie reflecteren wanneer de bodem een bepaalde dichtheid heeft. Door de frequentie zodanig te kiezen dat de golven reflecteren bij de dichtheid van de bodem die als nautische bodem genormeerd is, kan direct de diepte bepaald worden.

De golf, die uitgezonden wordt, verspreidt zichzelf over een bepaalde breedte, zodat tijdens een tocht de diepte over een bepaalde baan, met bepaalde breedte wordt gemeten. Door ofwel meerdere sonars naast elkaar op het schip te plaatsen, ofwel het schip terug te laten varen parallel aan de eerste baan, worden meerdere resultaten over dezelfde punten verkregen. Hierdoor neemt de betrouwbaarheid toe.



Figuur A1.1: Bodemmeting met sonar

### Grondsoortbepaling

De grondsoort kan op verschillende manieren bepaald worden. Er kunnen grondmonsters genomen worden, er kunnen conclusies getrokken worden uit sonarmetingen en er kan gesondeerd worden.

Bij het nemen van monsters wordt er op meerdere plaatsen een koker in de grond gedrukt. Deze wordt hierna gevuld met grond getrokken. De grond blijft in de koker zitten, omdat de koker na het plaatsen aan de onderzijde afgesloten wordt. Uit de opbouw van de grond in de koker kan het verticale bodemprofiel in een punt bepaald worden. Het is vaak een probleem dat het monster tijdens het vervoer geroerd wordt. Het monster is dan niet meer representatief voor de werkelijke bodemstructuur. De monsters moeten op meerdere plaatsen genomen worden om betrouwbare resultaten te verkrijgen. Het bodemprofiel kan namelijk ook bij dicht bij elkaar gelegen punten verschillen.

Op basis van sonarmetingen kan slechts de dichtheid van de bovenste bodemlagen bepaald worden. Diepte en dikte van onderliggende lagen blijft onbekend.

Bij het maken van sonderingen wordt een conus de grond ingedrukt. Meetapparatuur in de conus meet het verloop over de diepte van de waterdruk, de drukweerstand en de trekweerstand (kleef). Uit de gemeten weerstanden kunnen conclusies getrokken worden over de grondsoorten in de verschillende bodemlagen.

Evenals monsters moeten sonderingen op meerdere plekken uitgevoerd worden om betrouwbare resultaten te verkrijgen.

## A1.3 Ontwerpschip

Het ontwerpschip is het maatgevende schip waarop een dimensie in de haven ontworpen moet worden. Alle eigenschappen die specifiek voor het schip zijn, zijn hierin verwerkt. Men kan denken aan de lengte van het schip, de breedte, de manoeuvreerbaarheid, de blokkagecoëfficiënt, enz. Voor elke ontwerpvariabele kan een ander schip maatgevend zijn.

### Bepaling ontwerpschip

Uit het totale scheepsaanbod moeten de schepen met de grootste afmetingen, ofwel de ongunstigste eigenschappen, gekozen worden. Bijvoorbeeld voor het bepalen van de diepte van een vaarweg is het geladen, varende schip met de grootste diepgang het ontwerpschip. Rekening moet gehouden worden met toekomstige ontwikkelingen, zoals de ontwikkeling van grotere schepen. Wanneer er slechts incidenteel grote schepen de haven zullen aandoen, kan besloten worden de haven te dimensioneren op kleinere schepen. Het ongemak van weren van grote schepen kan opwegen tegen de kosten voor de dimensionering op grote schepen.

De eigenschappen van de schepen kunnen opgevraagd worden bij de bouwers van schepen. Ook bestaan er databases, waarin alle schepen binnen de wereldvloot en hun eigenschappen en afmetingen zijn opgenomen.

## A1.4 Scheepsaanbod

Met het scheepsaanbod worden alle schepen bedoeld die in een tijdsbestek de haven zullen binnengaan en verlaten. Hierin zitten:

Verkeersintensiteit: Zonder specifiek naar soorten schepen te kijken worden aantallen schepen per tijdseenheid geteld. Hierbij moet ook een aankomstverdeling bepaald worden die verschilt per dag, per week, of per seizoen.

Soort lading: Schepen kunnen olieproducten, containers, groentes enz. vervoeren. Schepen met verschillende soorten lading kunnen een verschillende kade- en vaargeulfaciliteiten nodig hebben.

Eigenschappen niet-ontwerp schepen: Alle schepen, die niet als ontwerpschip beschouwd worden, zijn ondergebracht in het 'scheepsaanbod'.

### Toekomstvoorspellingen

Havens worden aangelegd of uitgebreid omdat er een capaciteitsprobleem is. Een haven zodanig aanpassen dat de haven een capaciteit krijgt, die voldoende is voor het huidige aanbod, is niet voldoende. Zeer waarschijnlijk zou in dat geval de haven in korte tijd wederom aangepast moeten worden.

Door onderzoek te doen naar toekomstige ontwikkelingen kan een voorspelling gedaan worden over de benodigde capaciteit in de toekomst. Afgewogen moet worden voor welke periode de haven ontworpen wordt. Extrapolatie van ontwikkelingen in het verleden, rekening houdend met veranderingen in de situatie op de wereldmarkt, de haven zelf en het achterland, moeten leiden tot relatief betrouwbare voorspellingen.

Er blijft altijd onzekerheid bestaan omtrent de toekomstvoorspellingen. Daarom moet de haven zo robuust mogelijk ontworpen worden, dat wil zeggen, de haven moet zo gemakkelijk mogelijk aangepast kunnen worden.

Er kunnen meerdere toekomstscenario's uit de voorspellingen blijken. Het is nuttig een haven te ontwerpen die zo ingericht is dat de haven voldoet bij elk scenario.

Een haven kan beter een overcapaciteit hebben dan een tekort aan capaciteit. De eenmalige kosten van het bouwen van een haven met te ruime capaciteit kunnen uiteindelijk lager zijn dan de kosten van regelmatig wachtende schepen.

### Eigenschappen schepen

De eigenschappen van de schepen kunnen zoals bij het ontwerpschip beschreven is bij de bouwers ervan opgevraagd worden.

## A1.5 Massadichtheid van water

De waterdichtheid is afhankelijk van de lokatie van de (toekomstige) haven. De saliniteit en de temperatuur van het water bepalen de dichtheid van het water. Per seizoen verschilt de temperatuur van het water, zodat ook de dichtheid en daarmee de diepgang van schepen per seizoen verschilt.



### **In situ metingen**

Door op verschillende tijdstippen en op verschillende plaatsen monsters te nemen, kunnen saliniteit en temperatuur bepaald worden. De monsters kunnen gemakkelijk uit een helikopter of een schip genomen worden. Met specifieke apparatuur worden de temperatuur en saliniteit direct na de monsterneming, dus nog in het water, uit de monsters bepaald. Met deze apparatuur is er geen risico dat de temperatuur verandert tijdens het vervoer naar de plaats waar het monster beoordeeld zou worden.

### **Delft3D**

Het modelleringsprogramma Delft3D is ontwikkeld om binnen een gebied de stromingen te voorspellen. Binnen Delft3D bestaat een module waarmee de dichtheid voorspeld kan worden. Hierbij wordt o.a. de invloed van zoetwaterrivieren, de getijdestroming en dichtheidsstroming meegenomen. Een uitgebreidere beschrijving van Delft3D is opgenomen in bijlage A3.

## **A1.6 Golfveld**

Met het golfveld worden alle golven bedoeld, die in een bepaalde tijd in de omgeving van (de te bouwen) havens verschijnen. Om het golfveld in ondiep water te kunnen voorspellen is het golfveld op open zee, in diep water, benodigd.

Een golfveld heeft een zeer onregelmatig karakter. Een golfveld bestaat uit zeer veel individuele golven, die allen een andere golfhoogte en golflengte hebben. Het gemiddelde van die golfhoogten en -lengtes verandert in de tijd en per plaats. Het golfveld wordt daarom geïnterpreteerd met behulp van statistieken. De golfhoogten en golflengtes worden beschreven met behulp van de kans op voorkomen. In de praktijk wordt voor een ontwerpvariabele een norm opgesteld voor de toegestane kans op voorkomen van een golf. Hierbij wordt de maatgevende golfhoogte of golflengte bepaald en met behulp daarvan wordt de dimensie van de variabele bepaald. Bijvoorbeeld voor de kruinhoogte van een golfbreker kan de norm gelden dat 10 % van de golven in een storm die eens per 25 jaar voorkomt over de golfbreker heen mag slaan. Uit de beschrijving van het golfveld kan bepaald worden dat de bij die kans behorende golfhoogte 5 meter bedraagt. De kruinhoogte moet dan op een golf van 5 meter gedimensioneerd worden.

In deze paragraaf wordt de beschrijving beperkt tot deining en zeegang. Deining en zeegang zijn windgolven met perioden van ongeveer 1 tot 20 s. Deining is op grote afstand van de lokatie opgewekt. Tijdens het voortplanten van de golven is het spectrum vervormd tot een evenwichtssituatie. Zeegang zijn golven die plaatselijk opgewekt zijn..

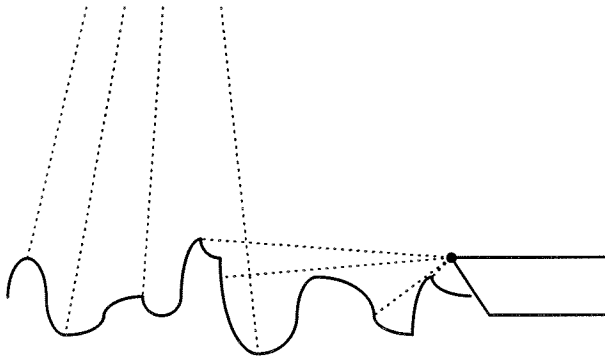
### **Metten van golven**

Het meten van golven kan met verschillende methoden gebeuren. Achtereenvolgend zullen worden beschreven:

- Boeien met meetapparatuur
- Radar op een schip, of op een satelliet
- Elektrische weerstandsmeting
- Visuele meting

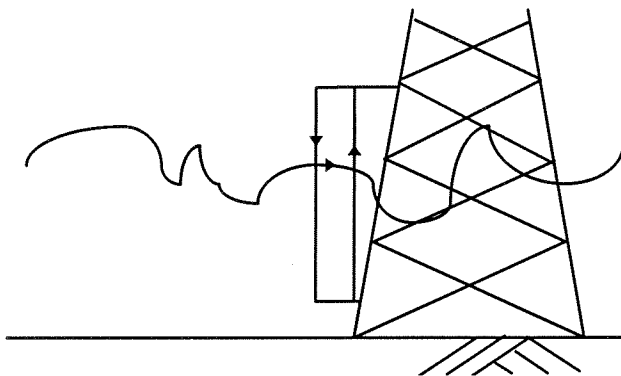
Boeien in het water, zoals de WAVEC en de WAVERIDER, meten hun eigen versnelling en aan de hand daarvan wordt de hoogte van golven bepaald. De boeien kunnen uitgerust zijn met een richtingsmeter, zodat ook de spreiding van de golven in richting gemeten kan worden. Boeien kunnen ook uitgerust zijn met een hoekmeter, die de golfsteilheid meet. Hiermee kunnen ook de golflengtes afgeleid worden. Een beperking van boeien is dat zij brekende en steile golven ontwijken. Een deel van de golven wordt daardoor niet gemeten.

Een radar op een schip neemt de kleine capillaire afwijkingen op de golven waar. Hieruit kan de positie van het wateroppervlak afgeleid worden, waarna de golfhoogten en golflengtes bepaald kunnen worden. Een voordeel van radarmetingen vanaf een satelliet boven radarmeting vanaf een schip is dat vanaf de bovenzijde gemeten wordt, terwijl een radar op een schip horizontaal meet. Metingen vanaf een schip blijven beperkt tot het meten van de hoogste golven, terwijl metingen vanaf een satelliet een vollediger beeld geven. Het gebruik van een satelliet is echter zeer kostbaar. Het meten van golven vanaf een schip met behulp van een radar is overigens geen gebruikelijke procedure.



*Figuur A1.2: Golfmetingen met radar vanaf schip en satelliet*

Op een vaste constructie in zee, bijvoorbeeld een offshore-platform, kan meetapparatuur geplaatst worden. Dit kan bijvoorbeeld een laser zijn die continue de afstand tot het wateroppervlak meet. Met een electriciteitsdraad kan continue de hoogte van het wateroppervlak gemeten worden. Hierbij wordt een stroomcircuit gecreëerd, gebruik makend van de geleiding van het water. De hoogte, waarop het circuit gesloten wordt, geeft de waterhoogte aan.



*Figuur A1.3 : Electricische weerstandsmeting*

Ervaren mensen kunnen visueel een redelijke schatting maken van de significante golfhoogte in een golfveld. De golfhoogte, die mensen visueel waarnemen, heeft normaal slechts een kleine afwijking van het gemiddelde van het hoogste derde deel van de golven. Golflengtes zijn minder goed te schatten door mensen.

### **Schatting door strijklengte**

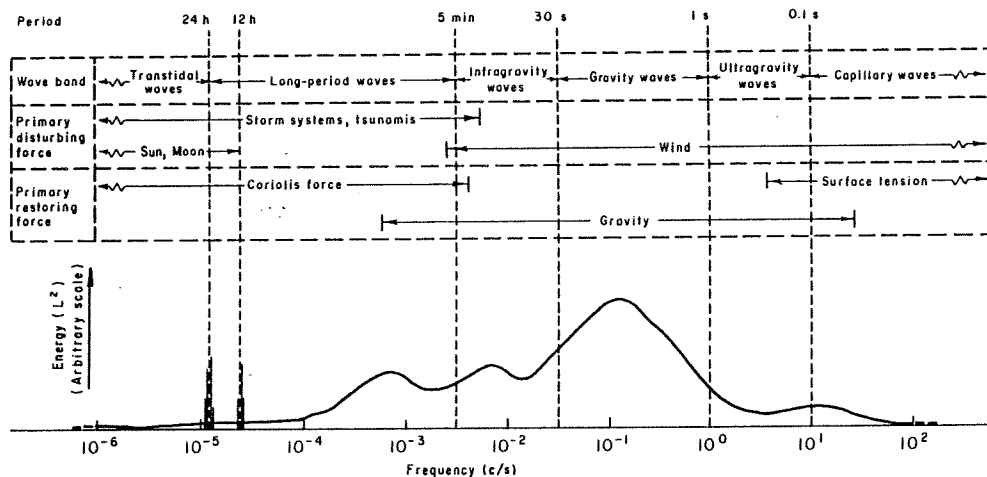
Golven worden opgewekt door de wind. Deze golven kunnen in de omgeving van de te bouwen constructie opgewekt worden of elders. Wanneer zij elders opgewekt worden ontstaat deining op de te

beschouwen lokatie. De golfenergie is dan geconcentreerd in een kleine band frequenties (zie volgende paragraaf). Wanneer de golven worden opgewekt in de omgeving van de lokatie ontstaat zeeegang. De maatgevende golfhoogte hiervan is te schatten door de strijklengte en -duur van de wind te beschouwen.

Een methode voor deze schatting is de volgende. Er wordt uitgegaan van een constante wind, die uit metingen bepaald moet worden. Verdere beperkingen voor de schatting zijn dat er diep water aanwezig is en dat de er loodrecht op een rechte kustlijn gekeken wordt. Na lange tijd en grote strijklengte zijn golven volledig ontwikkeld. Empirisch bepaalde formules zijn beschikbaar waarmee de golfhoogte afhankelijk van de strijklengte, de tijd en de wind bepaald kan worden.

## Spectrum

Een spectrum geeft de verdeling van de totale energie in een golfveld over de verschillende frequenties aan. Meerdere onderzoekers hebben beschrijvingen voor de vorm van een standaard spectrum geformuleerd. Een golfveld op zee heeft namelijk de neiging de energie volgens een standaard spectrum te verdelen. Voorbeelden hiervan zijn onder andere het JONSWAP-spectrum, het ETA-spectrum en het Pierson-Moskovitz-spectrum. Na het opwekken van een golfveld door de wind ontstaat na enige tijd door energieoverdrachten de evenwichtssituatie. Deze evenwichtssituatie geeft het standaard spectrum



Figuur A1.4 : Verdeling energie in spectrum

Een spectrum geeft de vorm van de verdeling van de golfenergie over de verschillende frequenties en richtingen weer.

Standaard vormen van spectra zijn alleen van toepassing op diep water; In ondiep water is het golfveld dermate vervormd dat de evenwichtsverdeling niet verschijnt.

## Modellering van golfontwikkeling

Met computermodelleringen, zoals SWAN, WATRON, ENDEC, SKYLLA, ODIFLOCS, REFRAC, DIFFRAC en PHAROS kan het diep water golfveld vertaald worden naar een ondiep water golfveld. Elk programma heeft zijn eigen beperkingen. Sommige programma's werken met raaien, andere met grids, het aantal dimensies verschilt per programma, het aantal beschouwde factoren verschilt en de aanpak wat betreft faseneligheden verschilt. Hiermee verschilt per programma het toepassingsgebied. Het hier beschouwde toepassingsgebied, het golfveld als randvoorwaarde, kan bepaald worden met de modelleringsprogramma's SWAN en WATRON.

## **WATRON**

WATRON is een 1D-model, waarin numeriek de ontwikkeling van golven gemodelleerd kan worden. Als invoer dienen de omstandigheden in een bepaald punt geven te worden. In dit punt moeten de optredende golven bekend zijn. Vaak ligt een punt waar de golven bekend zijn op diep water. Wanneer nu de verschillende omstandigheden over een raai bekend zijn, berekent WATRON de ontwikkeling van golven over die raai. Uitvoer zijn de optredende golven in een punt aan het einde van die raai. WATRON houdt in zijn berekeningen rekening met windwrijving, diepteverschillen, bodemwrijving, en stroming.

De berekeningen worden gemaakt door na elke lengtestap de invloeden op golven te projecteren op de golven.

Het maken van een model in WATRON is eenvoudig. De resultaten zullen echter geen grote nauwkeurigheid bezitten. Het modelleringsprogramma wordt vooral gebruikt om een globale indruk te krijgen van golfhoogten in ondiep water.

## **SWAN**

SWAN is een 2D -model (Er is ook een 1D-versie), waarmee numeriek over grid-punten de golfvoortplanting berekend kan worden. Voor het gebruik van SWAN is als invoer het golfveld op alle open randen van het modelleringsgebied benodigd.

In de berekeningen worden de spreiding van golfenergie in verschillende richtingen meegenomen, evenals bodemwrijving, stroming, golfgroei door wind en breken van golven. Deze invloeden moeten over het gehele modelleringsgebied bekend zijn.

Na elke tijdstap bepaalt SWAN in elk gridpunt het spectrum. Invoer voor een gridpunt is het golfveld uit de vorige tijdstap in dat punt, de golfvelden in aangrenzende gridpunten in de vorige tijdstap en de invloed op de golven over een gridvlakje, zoals de windwrijving en de stroming.

Nadeel ten opzichte van het 1D -model WATRON is dat over het gehele modelleringsgebied alle invloeden op de golven bekend moeten zijn en ingevoerd moeten worden in het model. Het ontwikkelen van een model kost daardoor veel tijd. De resultaten zullen echter nauwkeurig zijn. SWAN wordt gebruikt om een gedetailleerd beeld te verkrijgen van het optredende golfveld in de nabijheid van de aan te leggen of uit te breiden haven.

## **A1.7 Stroming**

De stromingen zijn van belang, omdat stromingen grote invloed hebben op sedimenttransport en daarmee veranderingen van de kustlijn en de bathymetrie. Tevens is stroming van belang voor de manoeuvreerbaarheid van schepen.

Stroming hangt nauw samen met het getijde. Getijden veroorzaken het grootste deel van de stromingen in kustgebieden. Een klein deel kan zijn oorsprong vinden in zoetwaterrivieren die uitmonden in de zee. Verder kan door het breken van golven en de energieomzettingen die daarbij plaatsvinden een stroming ontstaan in de brekerzone.

Stromingen verschillen in de tijd, per plaats en over de hoogte, zowel in richting als in snelheid. Net als bij golven is een stromingsveld te weinig uniform om het veld volledig te beschrijven. Daarom worden ook bij stromingen statistieken in de tijd gebruikt om het veld te beschrijven.

### **Metten van watersnelheden en richtingen**

De stromingen kunnen bepaald worden door direct de stromingen te meten of door de ontwikkeling van waterstanden in de tijd te interpreteren. In het volgende worden eerst drie methoden om stromingen direct te meten beschreven. Dit wordt gevolgd door een korte vergelijking tussen bepaling van stromingen door waterstandinterpretatie en door direct meten.

Om stromingen te meten kunnen propellermeters in het water geplaatst worden. Door het aantal omwentelingen van de propeller in de tijd te meten, kunnen de stroomsnelheden verkregen worden. Meerdere propellers moeten op verschillende plaatsen en op verschillende dieptes geplaatst worden om bruikbare resultaten te krijgen.

Met een radar, gesitueerd op het vaste land, kan de stroming op zee gemeten worden (Ocean Surface Current Radar). Dit 'remote sensing' systeem kan gebruikt worden bij elke weersomstandigheid. De capillaire windgolfjes op het oppervlak worden gemeten en daaruit worden de stroomsnelheden en -richtingen afgeleid. Een beperking van deze methode is dat de stromingen op het oppervlak gemeten worden, terwijl de stroming over een diepte gewenst is. Met lokale gegevens, zoals een dieptegemiddelde stromingsvector en de wind, kunnen de gegevens over oppervlaktestroming omgezet worden in gegevens over dieptegemiddelde stroming.

Een andere manier om stromingsgegevens te verkrijgen is akoestisch meten. Hierbij worden geluidsgolven, vanaf een schip, of vanaf de bodem, het water ingezonden, die weerkaatsen tegen deeltjes, die in het water zweven. Deze deeltjes hebben door de stroming van het water een snelheid en de geluidsgolven ondergaan daardoor een faseverschuiving bij het terugkaatsen tegen die deeltjes. Uit deze faseverschuiving wordt de stroomsnelheid bepaald. Deze methode wordt veel toegepast.

Bij het direct meten van stromingen wordt op een bepaalde plaats en op een bepaalde diepte gemeten. Plaatselijke verstoringen in bijvoorbeeld de bathymetrie kunnen de stromingen op een bepaalde plaats echter beïnvloeden. Er moeten zeer veel metingen uitgevoerd worden om een betrouwbaar beeld van het stromingsveld in een gebied te verkrijgen.

Door de veranderingen van de waterhoogten in de tijd kunnen bij bekende bathymetrie conclusies worden getrokken over de stromingen. Er wordt direct een integraal beeld verkregen van de dieptegemiddelde stromingen in een gebied. De stromingen op een bepaalde plaats, op een bepaalde diepte kunnen niet bepaald worden met deze methode. Wanneer de dieptegemiddelde stroming gewenst is, heeft het gebruik waterstandsmetingen en interpretatie van de stromingen daaruit de voorkeur. Wanneer het verloop van de stromingen over de diepte in een klein gebied benodigd is worden vaak directe stromingsmetingen gebruikt.

### **Modelleren stromingen**

De stromingen kunnen met computermodellerings, zoals Delft 2D en Delft3D, beschreven worden. Invoer dient het verloop van de waterstanden in de tijd te zijn of de stromingen op de randen van het modelleringsgebied. Voor een beschrijving van stromingsmodelleringsprogramma's wordt verwezen naar bijlage A3.

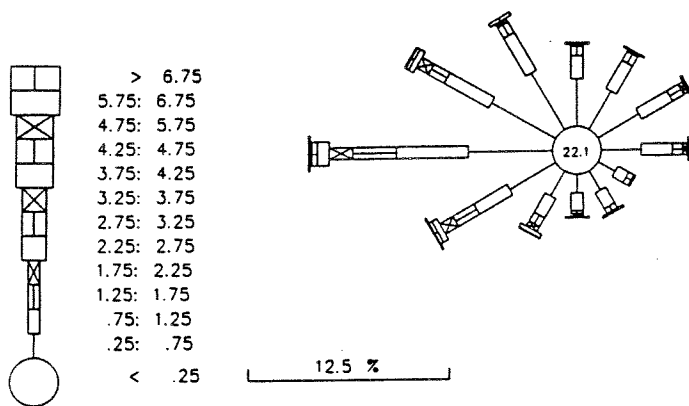
## **A1.8 Windveld**

De wind beïnvloedt het manoeuvreergedrag van schepen.

In de beschrijving van een windveld zitten zowel de windsnelheden als de windrichtingen. Er kunnen meerdere richtingen maatgevend zijn, omdat de maatgevende windrichtingen zeer veranderlijk zijn in de tijd. Twee opeenvolgende windvlagen kunnen uit verschillende richtingen komen.

Het windveld wordt minder dan golven en stromingen beïnvloed door een nieuw aan te leggen haven. Door de aanwezigheid van golfbrekers wordt het deel van het windveld, dichtbij het wateroppervlak beïnvloed. De hoogtegemiddelde wind verandert hier niet significant door. Bij golven en stroming wordt het veld over de gehele hoogte door de golfbrekers beïnvloed en de dieptegemiddelde stroming en wind verandert daardoor wel significant.

De statistieken kunnen overzichtelijk gepresenteerd worden in een windroos.



Figuur A1.5: Voorbeeld van een windroos

### Metten van windsnelheden en -richtingen

Door plaatsing van een propellermeter kunnen de maatgevende windsnelheden bepaald worden. Aan de propellermeter kan een windrichtingsmeter bevestigd worden. De snelheid en richting van de wind verandert door de wrijving met het aardoppervlak met de hoogte. Vaak wordt de situatie gepresenteerd die op 10 meter boven het aardoppervlak heerst.

De windstatistieken zijn vaak al bekend bij plaatselijke meteorologische instellingen. Doordat zij al jaren metingen uitvoeren zijn de statistieken betrouwbaar.

## A1.9 Getijde

Met getijden worden hier het verloop van de waterhoogten in de tijd bedoeld. Deze veranderen onder invloed van het getij. De getijdestroming kan uit de waterhoogteverschillen bepaald worden wanneer de bathymetrie bekend is.

### Metten van langzaam veranderende waterhoogten

Getijden kunnen beschreven worden op basis van stromingen en van waterhoogten. Stroomsnelheidsmeters en waterhoogtemeters kunnen dus gebruikt worden om het getij te beschrijven. Door de gegevens bijvoorbeeld aan een Fourier transformatie te onderwerpen kunnen statistische gegevens verkregen worden. Bij een Fourier transformatie wordt een Fourier-reeks opgesteld die het gedrag van de waterhoogte moet benaderen. In een Fourier-reeks worden een groot aantal sinusoiden, met elk een amplitude en fase, gesommeerd tot een benaderingsformule voor het verloop van de waterhoogte in de tijd. De onbekende amplitudes en fasen in deze formule worden gespecificeerd door de formule te vergelijken met de metingen. De Fourier-analyse kan ook gebruikt worden om periodieke windgolven analytisch te beschrijven.

De gemiddelde waterhoogten kunnen op dezelfde wijze bepaald worden als de golven bepaald worden. Verschil met de bepaling van golven is echter dat de waterstand veel minder snel verandert ten gevolge van getijden dan ten gevolge van golven. Golfsteilheid en golfrichting zijn voor getijden van klein belang.

Vaste waterstandmeters worden het meest gebruikt om langzaam veranderende waterhoogten te bepalen. Hierbij wordt op een aantal plaatsen een paal in het water gezet die uitgerust is met een elektrische weerstandsmeter of met een ander soort waterhoogtemeter.

### **Schatten van getij**

De getijden worden opgewekt door de invloed van de aantrekkingskrachten van de maan, aarde en zon. Deze drie hemellichamen bewegen om elkaar heen. Elk van deze bewegingen heeft zijn eigen periode. Zo is bijvoorbeeld de periode van het draaien van de maan om de aarde 12 uur en 25 minuten.

De verschillende bewegingen kunnen wat betreft de invloed op het getij gescheiden worden. Op een bepaalde plaats op aarde (Greenwich) zijn deze verschillende getijdecomponenten (O2, M2, enz.) bekend en daaruit kan het getij op een willekeurige lokatie bepaald worden.

De getijden verplaatsen zich met een bepaalde snelheid over de aarde. Daardoor is er een faseverschuiving op de te beschouwen lokatie ten opzichte van Greenwich. Verder moet het tijdsverschil met Greenwich in rekening worden gebracht en moet er een correctie op de fase worden aangebracht, omdat de continenten zorgen voor een vertraging. De correctie in verband met de invloed van de continenten is vaak bekend uit metingen en wordt het havengetal genoemd.

Deze schatting behelst alleen de fasen van de verschillende getijdecomponenten. De amplitudes van die componenten moeten nog uit metingen bepaald worden. Dit is echter voor zeer veel plaatsen in de wereld al gedaan, zodat het getij op die plaatsen bekend is.

### **Modelleren van getijstroming**

Met een modelleringsprogramma, zoals Delft3D-FLOW (deel van Delft3D) kunnen de getijdestromingen en de waterhoogten berekend worden, ook als de geometrie door ingrijpen veranderd is. In bijlage A3 is een korte beschrijving van Delft3D opgenomen.

## **A1.10 Tijdschaal**

Met tijd worden hier de tijdsinvloeden in rekening gebracht. Gemiddelde situaties kunnen veranderen in de tijd, zoals bijvoorbeeld het scheepsaanbod, de waterhoogte en de ontwikkeling van nieuwe technieken. Hierbij behoeven geen voorspellingen gedaan te worden die verder in de tijd reiken dan de levensduur van de haven.

### **Bepalingswijze levensduur**

De levensduur van een haven kan niet eenduidig bepaald worden. Voorspellingen over een te verre toekomst kunnen niet gedaan worden. Voorspellingen worden vaak voor een periode van niet langer dan 30 jaar gedaan. Voor kunstwerken, zoals golfbrekers, is het niet economisch de levensduur korter dan 50 jaar te maken. Het is echter vaak economisch niet haalbaar om een haven aan te leggen die slechts over een periode van 30 jaar in gebruik zal zijn. Havens zullen vaak na hun ontwerp levensduur niet ongebruikt achtergelaten worden, maar zodanig aangepast worden dat hun levensduur verlengd wordt.

De lay-out van een haven moet zo zijn, dat de capaciteit voor ongeveer 30 jaar voldoende is. Hierbij moet de haven zo ingericht zijn dat deze capaciteit vergroot kan worden zonder te grote aanpassingen.

### **Ontwikkelingen technieken**

De ontwikkelingen van zowel overslag- als bouwtechnieken kunnen op dezelfde wijze geschat worden als de ontwikkeling van het scheepsaanbod. Extrapolatie van ontwikkelingen in het verleden, met daarbij in ogenschouw genomen de veranderingen op de wereldmarkt moeten leiden tot betrouwbare voorspellingen. Opgemerkt wordt hierbij dat de ontwikkelingen in het recente verleden erg snel zijn gegaan en dat hier een stagnatie in zou kunnen komen. De ontwikkelingen kunnen concreet gemaakt worden door ze uit te drukken in een capaciteitswinst voor de haven.

Ontwikkelingen in technieken op het gebied van constructie, overslag, doorvoer, metingen en informatievoorziening aan schippers zijn positief voor de capaciteit van een haven. Er hoeft geen rekening gehouden te worden met deze ontwikkelingen omdat op dit moment met de technieken gewerkt moet worden die op dit moment beschikbaar zijn.

### **Bepaling waterspiegelstijging**

Door het smelten van ijs in de wereld door de opwarming van de aarde stijgt de waterspiegel in de tijd. Deze ontwikkeling is op elke plaats op aarde kwantitatief hetzelfde en data hierover is bekend. Er wordt over het algemeen uitgegaan van een zeespiegelrijzing van 30 tot 50 cm per eeuw.

## **A1.11 Lokatie**

Een ontwerp is in hoge mate afhankelijk van de lokatie. De goederen of diensten, die in hoge mate beschikbaar zijn bij de lokatie moeten optimaal gebruikt worden om de kosten te beperken. De ontwerper moet bij het ontwerp al rekening houden met de materialen die voorradig zijn in het te beschouwen gebied, de kosten van arbeid en het materieel dat aldaar aanwezig is. De uitgangssituatie voor de aan te leggen haven, waar onder andere de kustlijn en het achterland onder vallen, is ook afhankelijk van de lokatie.

### **Rekening houden met de lokatie**

Door communiceren en samenwerken met lokaal personeel kan goed inzicht verkregen worden in de plaatselijke situatie. Deze mensen hebben door ervaring goed inzicht in de voorradigheid van materiaal en materieel en de werkwijzen en gewoonten van het lokale personeel.

Door al tijdens het ontwerpen contact te onderhouden met personen uit het te beschouwen gebied kan de plaatselijk problematiek verwerkt worden in het ontwerp en de planning van de bouw.

De plaatselijke gegevens kunnen vaak bij gemeentes opgevraagd worden. Hierbij wordt gedacht aan landkaarten en informatie over aanwezige infrastructuur.

## **A1.12 Droge infrastructuur van een zeehaven**

Met droge infrastructuur van een haven worden hier alle infrastructuur en infrastructurale voorzieningen bedoeld, die op het vaste land liggen. Dit omvat dus onder andere het overslagmaterieel, de opslag van goederen en de doorvoermodaliteiten.

Het ontwerpen van de natte en de droge infrastructuur van een haven kunnen niet los van elkaar gezien worden. De totale capaciteit van een haven wordt mede bepaald door de capaciteit van de droge infrastructuur. Wanneer de droge infrastructuur een kleine capaciteit heeft kan de droge infrastructuur werken als 'bottleneck' voor de hele haven. Een deel van de capaciteit van de natte infrastructuur is dan nutteloos. Ook bij een uitbreiding van de natte infrastructuur van een bestaande haven moet dus goed bekeken worden of de droge infrastructuur aangepast kan worden aan de toenemende capaciteit.

Voor het ontwerp van de droge en de natte infrastructuur worden gedeeltelijk dezelfde randvoorwaarden en eisen gebruikt, zoals bijvoorbeeld de benodigde capaciteit en het scheepsaanbod. Het ontwerp van de lay-out van de natte infrastructuur van een haven is afhankelijk van die van de droge infrastructuur. Kades hebben aan de droge zijde een bepaalde ruimte nodig om de goederen



effectief over te kunnen slaan. De opslag van goederen en het vervoer van goederen naar de opslagterreinen moet effectief kunnen gebeuren. Het doorvoertransport is vaak aan bestaande infrastructuur gebonden en hiermee moet bij het ontwerpen van de lay-out van de natte infrastructuur rekening worden gehouden.

### **Relatie droge infrastructuur - natte infrastructuur**

Bij een uitbreiding van een bestaande haven is alle droge infrastructuur al aangelegd. De plaats van deze infrastructuur is dan een randvoorwaarde voor het ontwerp van de natte infrastructuur.

Wanneer een nieuwe haven aangelegd moet worden bestaat er vaak meer vrijheid ten aanzien van de plaatsing van de wegen, spoorwegen, terminals en dergelijke. De doorvoerwegen moeten echter wel aansluiten op de wegen in het achterland en vaak is er slechts een beperkte hoeveelheid ruimte beschikbaar.

Een weg op land is goedkoper dan een waterweg en daarmee, ondanks een eventueel beperkte hoeveelheid ruimte, flexibeler qua ontwerp.

Ondanks dat in dit rapport de natte infrastructuur afzonderlijk van de droge infrastructuur beschreven wordt, moet er terdege rekening worden gehouden met het ontwerp van de droge infrastructuur.

## **A1.13 Informatie**

Met informatie kan aan de hoeveelheid informatie, die aan de navigator van schepen wordt verschaft gedacht worden. Hierbij wordt gedacht aan de afbakening van de vaargeul, Vessel Traffic System (VTS), informatie over bathymetrie, golven, wind enz., duidelijkheid over wachttijden ten gevolge van getijdenvensters, duidelijkheid over voorrangssituaties enz.

De afbakening van de geul wordt over het algemeen bewerkstelligt met boeien.

Een Vessel Traffic System is een systeem, dat bestaat uit één of meer radars en een Control Centre. De radar neemt alle schepen in de totale haven waar en geeft de informatie over deze schepen (plaats, grootte, snelheid, richting) door aan het Control Centre. Hier wordt al deze informatie geprojecteerd op een beeldscherm, zodat een overzichtelijk beeld ontstaat van de bewegingen in de haven. Vanuit dit Control Centre kunnen nu schippers gewaarschuwd worden voor komende gevaarlijke situaties en kan het vaarverkeer gecontroleerd worden.

De informatievoorziening beïnvloedt de capaciteit van een haven significant. Door goede informatie te verschaffen kunnen bijvoorbeeld breedtes van vaargeulen en dus baggerkosten beperkt worden. Omdat een haven ontworpen wordt op een bepaalde capaciteit en de informatievoorziening de capaciteit beïnvloedt, moet al voor het ontwerpen van de haven een onderzoek naar en een keuze voor de te gebruiken informatiesystemen gemaakt worden.

## **A1.14 Integratie data**

De gegevens, zoals die verkregen zijn in deze fase, worden in de modelleringsprogramma's, die gebruikt worden bij de controles (Bijlage A3), gebruikt. Deze gegevens moeten wel toepasbaar gemaakt worden voor deze programma's.

## **SCATTER**

Het computerprogramma SCATTER is ontwikkeld om datareeksen overzichtelijk en bruikbaar te presenteren.

De invoer voor SCATTER komt uit databases. Andere modelleringsprogramma's kunnen gebruik maken van dezelfde databases en kunnen hun uitvoergegevens naar dezelfde databases wegschrijven. SCATTER combineert verschillende soorten gegevens. Zo kan door SCATTER bijvoorbeeld zowel het golfveld, het stromingsveld, de bathymetrie als het windveld in een punt in één figuur worden samengebracht. SCATTER heeft functies om de data in overzichtelijke plaatjes weer te geven. Zo kan er bijvoorbeeld uit alle windmetingen een windroos gegenereerd worden en kunnen kansdichtheidsfuncties van golfhoogten aangemaakt worden.

Enkele gemakkelijke technieken zijn in SCATTER geïmplementeerd om gegevens aan te passen. Zo kan het golfmodelleringsprogramma WATRON aangeroepen worden om diep water golven te vertalen naar ondiep water golven en kan de waterspiegelstijging ten gevolge van wind

## Bijlage A2: Vuistregels

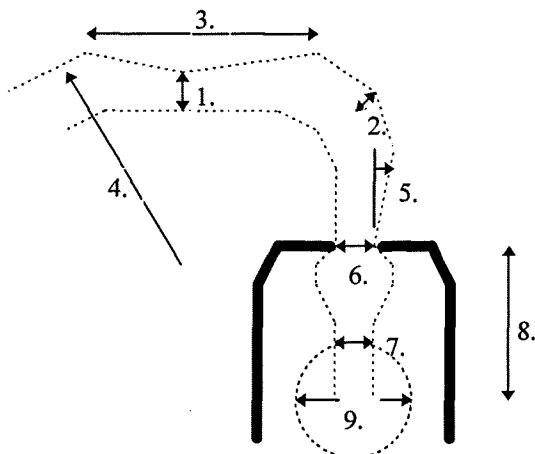
Aan de dimensies van de ontwerpvariabelen zoals dieptes en breedtes van vaargeulen, wordt in het ontwerpproces eerst een waarde toegekend via vuistregels. Deze waarden worden hierna gecontroleerd met vuistregels, simulaties en modelleringen. Wanneer hieruit blijkt dat de waarden niet voldoen, worden zij opnieuw bepaald en opnieuw gecontroleerd. Dit proces gaat door tot de meest economische waarde gevonden is.

Verschillende bronnen geven verschillende vuistregels. Van een aantal bronnen zijn hier vuistregels gegeven. De PIANC-regels worden hier uitgebreider behandeld omdat deze op veel plaatsen in de wereld als maatgevend geaccepteerd zijn.

Deze bijlage bestaat uit twee onderdelen. In het eerste deel worden de dimensies van de ontwerpvariabelen besproken en in het tweede deel wordt besproken welke vuistregels gebruikt kunnen worden bij de controleberekeningen.

### A2.1 Dimensies ontwerpvariabelen

De te behandelen dimensies van de vaargeulen worden weergegeven in figuur A2.1.



Figuur A2.1 : Dimensies vaargeulen

#### A2.1.1 Buitenvaargeul

##### Breedte rechte vaargeulsegmenten (1.)

PIANC:

$$w = w_{BM} + \sum_{i=1}^n w_i + w_{BR} + w_{BG}$$

Voor éénrichtingsverkeer

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum_{i=1}^n W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_P \quad \text{Voor tweerichtingsverkeer}$$

- met:
- $W$  = Vaargeul bodem breedte
  - $W_{BM}$  = Basis manoeuvreerbreedte
  - $W_i$  = Extra breedte om verlies aan manoeuvreerbaarheid en koersvastheid door invloeden als wind en golven te compenseren
  - $W_{BR}$  = Afstand bank - schip
  - $W_{BG}$  = Afstand bank - schip
  - $W_P$  = Tussenafstand schepen

De waarden voor de verschillende variabelen worden gegeven door de volgende tabellen:

Ship Manoeuvrability	good	moderate	poor
Basic Manoeuvring Lane, $W_{BM}$	1.3B	1.5B	1.8B

Tabel A2.1 : Basis manoeuvreerbreedte

Width for bank clearance ( $W_{Br}$ or $W_{Bt}$ )	Vessel Speed	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
Sloping channel edges and shoals:	fast	0.7 B	-
	moderate	0.5 B	0.5 B
	slow	0.3 B	0.3 B
Steep and hard embankments, structures:	fast	1.3	-
	moderate	1.0 B	1.0 B
	slow	0.5 B	0.5 B

Tabel A2.2 : Afstand bank- schip

Width for passing distance, $W_p$	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
<b>Vessel speed (knots)</b>		
- fast > 12	2.0 B	-
- moderate > 8 - 12	1.6 B	1.4 B
- slow. 5 - 8	1.2 B	1.0 B
<b>Encounter traffic density</b>		
- light	0.0	0.0
- moderate	0.2 B	0.2 B
- heavy	0.5 B	0.4 B

Tabel A2.3 : Tussenafstand schepen

WIDTH $w_i$	Vessel Speed	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water	
(a) Vessel speed (knots) - fast > 12 - moderate > 8 - 12 - slow 5 - 8		0.1 B	0.1 B	
		0.0	0.0	
		0.0	0.0	
(b) Prevailing cross wind (knots) - mild $\leq 15$ ( $\leq$ Beaufort 4) - moderate > 15 - 33 (> Beaufort 4 - Beaufort 7)  - severe > 33 - 48 (> Beaufort 7 - Beaufort 9)	all	0.0	0.0	
	fast	0.3 B	-	
	mod	0.4 B	0.4 B	
	slow	0.5 B	0.5 B	
	fast	0.6 B	-	
	mod slow	0.8 B 1.0 B	0.8 B 1.0 B	
(c) Prevailing cross current (knots) - negligible < 0.2 - low 0.2 - 0.5  - moderate > 0.5 - 1.5  - strong > 1.5 - 2.0	all	0.0	0.0	
	fast	0.1 B	-	
	mod	0.2 B	0.1 B	
	slow	0.3 B	0.2 B	
	fast	0.5 B	-	
	mod	0.7 B	0.5 B	
	slow	1.0 B	0.8 B	
	fast	0.7 B	-	
	mod	1.0 B	-	
	slow	1.3 B	-	
	(d) Prevailing longitudinal current (knots) - low $\leq 1.5$ - moderate > 1.5 - 3  - strong > 3	all	0.0	0.0
		fast	0.0	-
mod		0.1 B	0.1 B	
slow		0.2 B	0.2 B	
fast		0.1 B	-	
mod slow		0.2 B 0.4 B	0.2 B 0.4 B	
(e) Significant wave height $H_s$ and length $\lambda$ (m) - $H_s \leq 1$ and $\lambda \leq L$  - $3 > H_s > 1$ and $\lambda = L$  - $H_s > 3$ and $\lambda > L$	all	0.0	0.0	
	fast	$\approx 2.0$ B		
	mod	$\approx 1.0$ B		
	slow	$\approx 0.5$ B		
	fast	$\approx 3.0$ B		
	mod slow	$\approx 2.2$ B $\approx 1.5$ B		
(f) Aids to Navigation - excellent with shore traffic control - good - moderate with infrequent poor visibility - moderate with frequent poor visibility		0.0	0.0	
		0.1 B	0.1 B	
		0.2 B	0.2 B	
		$\geq 0.5$ B	$\geq 0.5$ B	
(g) Bottom surface - if depth $\geq 1.5T$ - if depth < 1.5T then - smooth and soft - smooth or sloping and hard - rough and hard		0.0	0.0	
		0.1 B	0.1 B	
		0.1 B	0.1 B	
		0.2 B	0.2 B	
(h) Depth of waterway - $\geq 1.5T$ - 1.5T - 1.25T - < 1.25T		0.0	$\geq 1.5T$ 0.0	
		0.1 B	< 1.5T-1.15T 0.2 B	
		0.2 B	< 1.15T 0.4 B	
(i) Cargo hazard level - low - medium - high		0.0	0.0	
		$\approx 0.5$ B	$\approx 0.4$ B	
		$\approx 1.0$ B	$\approx 0.8$ B	

Tabel A2.4 : Extra manoeuvrebreedtes

De keuze voor 1- of 2-richtingsverkeer kan gemaakt worden op basis van het verkeersaanbod en de lengte van de vaargeul. In de concept-ontwerpfase is dit een aanname.

Andere vuistregels, die gebruikt worden voor de breedtes van vaargeulen, zijn:

*Manoeuvreeerbreedte:*

3-4 B	Exxon, Olie-tankers > 60.000 dwt
2B + Lsin $\beta$ (b)	Shell
3.4 B (b)	Seibol et al, 200.000 dwt

*Afstand bank- schip:*

0.5 B (a), 2 B (b), 3 B	Exxon
0.6 B (a), 1.5 B (b, c)	McAleer
1.8 B (a)	Iijima et al
1.0 B (b)	Seibol et al

*Tussenafstand schepen:*

1.0 B (a, b), > 1 B	Seibol et al, Exxon
0.8 B (a) 1.0 B (b, c) >100ft	McAleer et al
1L	Iijima et al

*Totale breedte (1-richtingsverkeer):*

4-5B (a), 7-8 B (b), 9-10 B	Exxon
5B (a), 7B (b)	IOTC
3B + Lsin $\beta$	Shell
2.8-3.4 B (a), 4.6-5B (b,c)	McAleer et al
5.4 B +120m (a)	Iijima et al
5.4 B	Seibol et al
3.6-6 B	Thoresen
5 B (a), 7-8 B (b)	UNCTAD

*Totale breedte (2-richtingsverkeer):*

5.5-6.5B (a), 10-11 B (b), >13 B	Exxon
3B + Lsin $\beta$	Shell
5.2-6.2 B (a), 7.2-8.0B (b,c)	McAleer et al
7.2 B +240m+L (a)	Iijima et al
9.8 B	Seibol et al
6.2-9B	Thoresen
Breedte 1-richting +3-5 B	UNCTAD

a = rustig vaarwater ( $u_{10} < 10\text{m/s}$ ,  $H_s < 1\text{ m}$ ,  $V_c < 0.3\text{ m/s}$ )

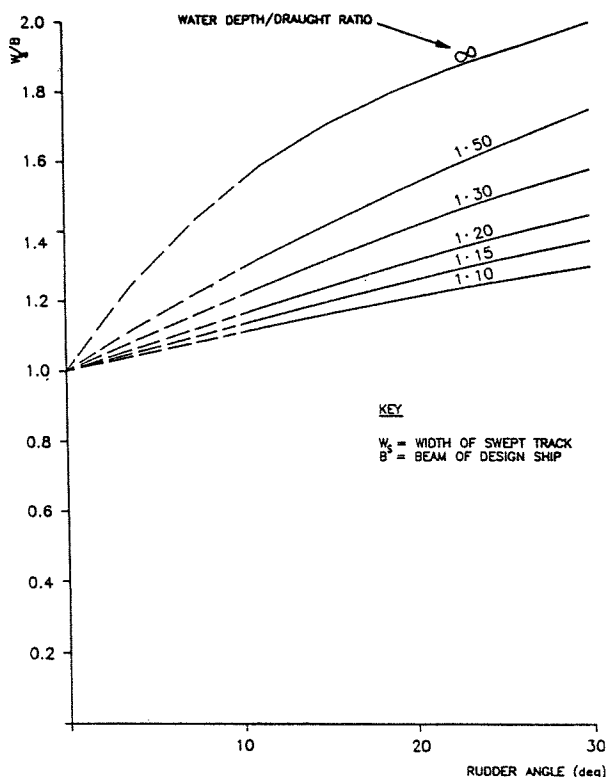
b = gemiddelde omstandigheden ( $u_{10} < 17.5\text{m/s}$ ,  $H_s < 3\text{ m}$ ,  $V_c < 0.6\text{ m/s}$ )

c = onrustig vaarwater ( $u_{10} < 30\text{ m/s}$ ,  $H_s > 3\text{ m}$ ,  $V_c < 1.0\text{ m/s}$ )

## Breedte bochten in vaargeulen (2.)

PIANC:

In bochten wordt een andere factor bij de basis manoeuvreerbreedte geteld. Deze is afhankelijk van de hoek van de bocht en de diepte van de vaargeul. Deze factor heeft gemiddeld een waarde van: 0.15 - 0.2.



Figuur A2.2 : Breedtetoeslag in bochten

Andere regels voor extra breedte in bochten zijn:

$L^2/8R$	Shell, $5 < R/L < 10$
$2.0 B$	Maquet, $R/L > 8$
$1.65-2.15 B$	McAleer et al, hoek $< 26^\circ$
$2.25-2.9 B$	McAleer et al, hoek $< 40^\circ$
$1-2 B$ (a), $2B$ (b,c)	Exxon
$2 B$	Thoresen, rechte vaargeul
$4 B$	Thoresen, meerdere bochten

## Afstand tussen bochten (3.)

PIANC:

Afstand begin bocht- einde vorige bocht  $> 5L$

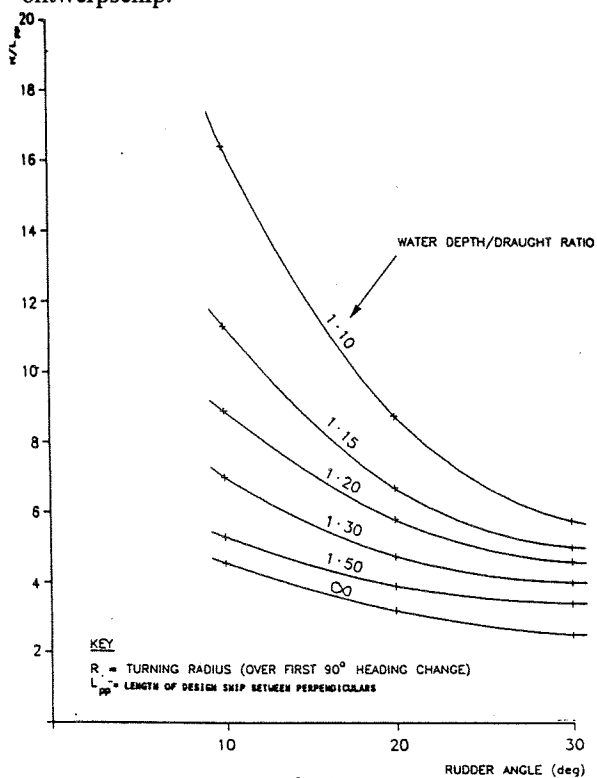
Andere vuistregels hiervoor zijn:

$> 2 L$ of $> 200m$	Thoresen
$> 10 L$	UNCTAD
$> 10 L$	Shell

## Hoeken van bochten in vaargeulen (4.)

PIANC:

De toegestane hoek in bochten is afhankelijk van de diepte van de vaargeul en de lengte van het ontwerpschip.



Figuur A2.3 : Toegestane hoek in bochten

Andere vuistregels zijn:

$$5 < R/L < 10$$

$$R/L > 8$$

$$R/L = 3$$

$$R/L = 5$$

$$R/L > 8$$

$$R/L > 10$$

$$R/L > 8$$

Shell

Maquet,  $\gamma > 30^\circ$

E Exxon,  $\gamma < 25^\circ$

E Exxon,  $\gamma > 25^\circ$

E Exxon,  $\gamma > 35^\circ$

UNCTAD

Thoresen

## Verbreding bij bochten (5.)

PIANC:

Verbreding met hoek  $< 1: 2.5$

Andere vuistregels zijn:

$$1:2.5 - 1: 5$$

$$1: 20$$

E Exxon

McAleer et al



## Diepte vaargeulen

PIANC:

Diepte/diepgang-ratio	=1,1 - 1,15	Voor golfvrij water
Diepte/diepgang-ratio	=1,3	Voor gemiddelde golven
Diepte/diepgang-ratio	=1,5	Voor ongunstige golf-omstandigheden

Met het Froude-getal moet nog gecontroleerd worden of de ontwerpsnelheid mogelijk is bij deze diepte.

$$F_{nh} = V / (\sqrt{gh}) \quad F_{nh} < 0,6 - 0,7$$

met:	$F_{nh}$	= Froude getal
	$V$	= Snelheid schip
	$g$	= Gravitatiekracht
	$h$	= Waterdiepte

Verder moet de overdiepte nog gecontroleerd worden.

$$\text{Overdiepte} = h - 2,4 \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{(1 - F_{nh}^2)}}$$

met:	$\nabla$	= Volume van verplaatste water
	$L_{pp}$	= Lengte schip

Overdiepte = 0,3 m	Voor uit slib bestaande bodem
Overdiepte = 0.5 m	Voor zandige bodem
Overdiepte > 1 m	Voor rotsbodem

Voldoet de diepte niet aan het Froude getal criterium of aan overdiepte criterium, dan moet met een hogere diepte/diepgang-ratio de diepte opnieuw bepaald worden. Door met verschillende scheepstypen de diepte te bepalen, kan gecontroleerd worden of de keuze voor het ontwerpschip de juiste was. Andere bronnen geven andere vuistregels. Gemiddeld geldt:

$$\text{Diepte/diepgang-ratio} = 1.2$$

Andere richtlijnen voor de overdiepte zijn:

netto 0.5 m	Thoresen, zachte bodem
netto 1.0 m	Thoresen, harde bodem
bruto 1-1.5 m	UNCTAD
netto 2 ft	McAlear et al

### A2.1.2 Binnenvaargeul

#### Breedte haveningang (6.)

PIANC:

Het PIANC geeft geen vuistregels voor de breedte van de haveningang.

Vuistregels die wel gegeven worden zijn:

0.7-1.0L	Thoresen
>1.1L	Exxon, met getijdestroming
6B (a), 7-9B (b), 9B (c)	Exxon

### Breedte binnenvaargeul (7.)

*PIANC:*

De tabellen voor de breedte van de buitenvaargeul die door het PIANC gegeven zijn kunnen ook voor de binnenvaargeul gebruikt worden.

Een andere vuistregel is:

7B	UNCTAD
----	--------

### Diepte binnenvaargeul

Dezelfde normen voor de diepte van de buitenvaargeul kunnen voor de binnenvaargeul gebruikt worden.

### Lengte binnenvaargeul (8.)

3-5L	Thoresen, voor schepen in ballast
7-8L	Thoresen, voor geladen schepen
3-4 km	UNCTAD

## A2.1.3 Draaibassins

### Diameter (9.)

*PIANC:*

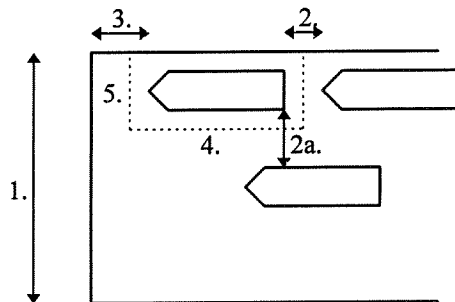
1.6 L (a)	met sleepboten
2L (b)	met sleepboten
3L (b)	zonder sleepboten

Andere vuistregels zijn:

1.1-2L	Shell
1.6-2L (a), 2-3.5L (b)	Exxon
1.6 L (a), 2.0 L (b)	Thoresen, met sleepboten
3.0 L (a), 4.0 L (b)	Thoresen, zonder sleepboten
2.0 L en 4.0 L	UNCTAD, met en zonder sleepboten

### A2.1.4 Havenbassins

De dimensies in een havenbassin worden weergegeven in figuur A2.4.



Figuur A2.4 : Dimensies havenbassin

#### Breedte havenbassins (1.)

De richtlijnen voor de breedte van havenbassins zijn, volgens UNCTAD:

$4B + 100$	Voor 1 zijde aanleggen en container schepen
$5B + 100$	Voor 2 zijden aanleggen en container schepen
$4B + 100$	Voor tankers, 1 of 2 zijden aanleggen en geen wind
$6B + 100$	Voor tankers, 1 of 2 zijden aanleggen en wind
$L + B + 50$ ( $8B + 50$ )	Voor lange bassins (>1000 m) (keren mogelijk)

Andere vuistregels zijn:

2.5-3.5B	Shell, aan 1 zijde aanleggen
4B (a), 4-5B (b)	Exxon, aan 1 zijde aanleggen
4-5 B	Shell, aan 2 zijden aanleggen
$2B_{\max} + 30m.$	Thoresen, voor korte bassins
$2B_{\max} + 50m.$	Thoresen, voor lange bassins

### A2.1.5 Kades

#### Ruimte tussen schepen (2.)

Voor de ruimte tussen afgemeerde schepen moet gelden:

0.25L	Exxon
$1B_{\max}$	Shell
$0.1L_{\max}$	Thoresen
$0.2L_{\max}$	Thoresen, bij harde wind
$L_{\max} + B_{\max} + 30m$	Velsink, hart op hart afstand jetties
30-100m	Thoresen, tussen 2 afgemeerde olietankers
50-150m	Thoresen, tussen 2 afgemeerde gastankers
(2a.)	
50-150m	Thoresen, tussen afgemeerde olietanker en varend schip
50-250m	Thoresen, tussen afgemeerde gastanker en varend schip

### Ruimte tussen kade en kop schip (3.)

0.1-0.15L	Thoresen
10-15m	UNCTAD

### Lengte gebaggerde bodem om enkel afgemeerd schip (4.)

2L	Exxon
1.25L, 1.5L	Thoresen, met en zonder sleepboten

### Breedte gebaggerde bodem om enkel afgemeerd schip (5.)

0.4 B (a), 0.5 B (b)	Exxon
1.25 B	Thoresen

### Richting kades

<i>PIANC:</i>	
Hoek ten opzichte van wind	< 30°

## A2.1.6 Golfbrekers

### Materiaal bescherm laag

Met de formule van Hudson kan een eerste aanname gedaan worden over de benodigde grootte van de stenen.

$$M = \frac{\rho_s H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha}$$

met:	M	= massa steen
	$\rho_s$	= dichtheid stenen
	H	= maatgevende golfhoogte
	$K_D$	= empirische coëfficiënt, waarin o.a. het type materiaal en de veiligheid
	$\Delta$	= relatieve dichtheid stenen
	$\alpha$	= helling golfbreker

Typische waarden voor  $K_D$  zijn:

Natuurlijke rotsen:	$K_D = 3$
Betonkubussen:	$K_D = 8$
Tetrapods:	$K_D = 10$
Akmon:	$K_D = 17$
Dolos:	$K_D = 22$

Typische waarden voor  $\cot\alpha$  zijn:

Natuurlijke rotsen klein:	$\cot\alpha = 3.0$
Natuurlijke rotsen groot:	$\cot\alpha = 2.0$
Betonkubussen:	$\cot\alpha = 2.0$
Speciale betonvormen:	$\cot\alpha = 1.5$

Ook de formule van Irribarren kan hiervoor gebruikt worden, maar deze is minder praktisch en wordt daarom minder gebruikt.

Deze formules geven de  $M_{50\%}$  van een laag.

### Materiaal steenlagen

Het materiaal in de tussenlagen moet een gewicht hebben van 1/15-1/25 van de laag erboven. Hiermee wordt de  $M_{50\%}$  bedoeld, dus het gewicht van de steen die zwaarder is dan 50% van alle stenen in de laag.

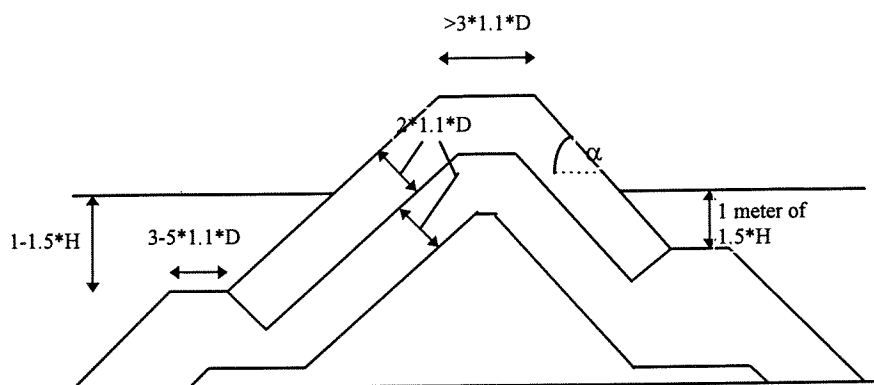
De gradatie binnen een laag moet binnen bepaalde grenzen liggen.

Wijde gradatie:	$D_{85}/D_{15} = 1.5-2.5$
Zeer wijde gradatie:	$D_{85}/D_{15} = 2.5-5.0+$

In tussenlagen mag de gradatie ruim zijn  
De gradatie in de kern mag zeer wijd zijn.

### Afmetingen

Vuistregels voor afmetingen in een rubble mound golfbreker zijn weergegeven in figuur A2.5.



**Figuur A2.5** : Vuistregels dimensies rubble mound golfbreker

In de figuur stelt  $H$  de maatgevende golfhoogte voor en  $D$  de diameter van de blokken ( $D_{50\%}$ ).

De kruinbreedte wordt gegeven door:

$$B = m' K_{\Delta} \left( \frac{W}{\rho_a g} \right)^{1/3}$$

met: B = Kruinbreedte  
m' = Aantal blokken op kruin (Bij golfoverslag minstens 3)  
K<sub>Δ</sub> = Empirische coëfficiënt, afhankelijk van bloktype (vaak ≈1.1)  
ρ<sub>a</sub> = Dichtheid blok  
g = Gravitatieconstante

De laagdikte wordt gegeven door:

$$t = m K_{\Delta} \left( \frac{W}{\rho_a g} \right)^{1/3}$$

met: t = Laagdikte  
m = Aantal lagen blokken, afhankelijk van veiligheid (vaak 2)  
K<sub>Δ</sub> = Empirische coëfficiënt, afhankelijk van bloktype (vaak ≈1.1)

## Kruinhoogte

Voor de bepaling van de kruinhoogte moet eerst een norm worden opgesteld voor de hoeveelheid water, die over de kruin heen mag slaan. Deze kan bijvoorbeeld zijn: Bij een storm, die een kans op voorkomen heeft van eens in de 25 jaar mag 10% van de golven over de golfbreker heenslaan. Door de golfoploop op de ontworpen helling te berekenen (schatten) kan de kruinhoogte bepaald worden.

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.6 \gamma \varepsilon_p \quad \text{met een maximum van } 3.2 \gamma$$

met: R<sub>u2%</sub> = Hoogte die 2% van de golven overschrijdt.  
H<sub>s</sub> = Significante golfhoogte  
γ = Totale reductiefactor voor invloed berm, ruwheid en ondiep water  
ε<sub>p</sub> = Golfsteilheid, relatief tot de helling van de constructie, gebaseerd op de piekperiode van de golven.

## A2.2 Controle dimensies

### A2.2.1 Maximale golfhoogten

#### Golfhoogten voor sleepbootoperaties

PIANC:

$$H_{s,max} = 1.5 \text{ m}$$

Dezelfde vuistregel wordt door UNCTAD gegeven.

#### Maximale golfhoogte voor aanmeren

PIANC:

$$H_{s,max} = 1.0 \text{ m}$$

Andere vuistregels zijn:

H = 1.5-2.0 m	Versluis, olietankers aan jetty, zonder deining
H = 1.0-1.5 m	Versluis, olietankers aan jetty, met deining
H <sub>s</sub> = 1.5-2 m	Shell, T<10s
H <sub>s</sub> = 1-1.5 m	Shell, T>10s

Thoresen geeft hiervoor een tabel.

Type of ship and velocity	Surge m	Sway m	Heave m	Yaw degr.	Pitch degr.	Roll degr.
Fishing boats						
L <sub>OA</sub> = 25-60 m	±0.75	+2.0	±0.5	6	4	8
Coasters						
L <sub>OA</sub> = 60-120m	±1.0	+2.0	±0.75	3-5	2-3	6
Velocity						
Size of ship	m/sec		m/sec	degr/sec		degr/sec
About 1000 dwt	0.6	-	0.6	2.0	-	2.0
« 2000 »	0.4	-	0.4	1.5	-	1.5
« 5000 »	0.3	-	0.3	1.0	-	1.0

Tabel A2.5 : Maximale scheepsbewegingen tijdens afmeren

#### Maximale golven tijdens laden en lossen

De maximaal toegestane golven verschillen per richting van inval, per scheepstype, scheepsgrootte en er bestaan meerdere bronnen voor richtlijnen. Naast enkele gespecificeerde cijfers worden hier enkele tabellen gegeven.

PIANC:

H = 3m	Olie tanker, surge
H = 3m	Olie tanker, sway
H = 1-2 m	Containerschip, surge
H = 0.6-1.2 m	Containerschip, sway

Vuistregels uit andere bronnen zijn:

H = 2-3 m

H = 2.0-3.0 m

Shell, olietankers aan jetties

Versluis, olietankers aan jetty

Er bestaan tabellen voor maximale scheepsbewegingen en voor maximale golven. Tabel A2.6 tot A2.11 zijn voorbeelden hiervan.

Source	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)
Bruun	±0.5	±0.3	±0.3
Frankel	±0.6	±0.6	-
Hwang and Divoky	±0.49	-	-
Nagy	-	-	±0.9
Slinn	±0.46	±0.24	-
Stone	±1.0	±0.6	±0.6
Range	±0.46 to ±1.0	±0.24 to ±0.6	±0.3 to ±0.9
Average	±0.6	±0.4	±0.6

Tabel A2.6: Maximale scheepsbewegingen voor afgemeerde containerschepen

Type of ship	Surge m	Sway m	Heave m	Yaw degr.
Oil tanker	±2,0	±0,5	±0,5	1,0
Ore bulk (crane unloading)	±1,5	±1,0	±0,5	0,5
L.N.G. tanker	±0,2	±0,1	±0,1	0,5
Container	±0,5	±0,3	±0,3	0,5
Ro/Ro (side)	±0,3	±0,2	±0,1	0,2
Ro/Ro (bow or stern)	±0,1	0,0	±0,1	0,2

Tabel A2.7 : Maximale scheepsbewegingen voor grote schepen



Type of ship	Surge m	Sway m	Heave m	Yaw degr.	Pitch degr.	Roll degr.
Fishing boats						
$L_{OA} = 25-60$ m						
Lo/Lo	$\pm 0,75$	+1,5	$\pm 0,3$	3-5	4	3-5
Elevator crane	$\pm 0,08$	+0.15				1.5
Suction pump	$\pm 1.5$					
Coasters						
$L_{OA} = 60-150$ m						
Ship crane	$\pm 1.0$	+1.5	$\pm 0.5$	1-3	1-2	2-3
Berth crane	$\pm 1.0$	+1.5	$\pm 0.6$	2-4	1-2	3-5
Container ships						
$L_{OA} = 100-200$ m						
90-100 % efficiency	$\pm 0.5$	+0.8	$\pm 0.45$	0.5	1.5	3
50 % »	$\pm 1.0$	+2.0	$\pm 0.6$	1.5	2.5	6
Ferries						
$L_{OA} = 100-150$ m		+0.8	$\pm 0.5$	1	1	2

Tabel A2.8 : Maximale scheepsbewegingen onder werkcondities

	At berth
Marinas	0,15
Fishing boats	0,40
General cargo (< 30000 dwt)	0,70
Bulk cargo (< 30000 dwt)	0,80
» (30000-100000 dwt)	0,80-1,50
Oil tankers (< 30000 dwt)	1,00
» (30000-150000 dwt)	1,00-1,70
Passenger ship	0,70

Tabel A2.9 : Maximale golfhoogtes voor golven aan de kop

Type of ship	Limiting wave height $H_s$ in m	
	0° (head on or stern on).	45° - 90°
General cargo	1.0	0.8
Container, Ro/Ro ship	0.5	
Dry bulk 30000-100 000 dwt.loading	1.5	1.0
» unloading	1,0	0.8-1.0
Tankers 30 000 dwt	1.5	
» 30 000-200 000 dwt	1.5-2.5	1.0-1.2
» 200 000 dwt	2.5-3.0	1.0-1.5

Tabel A2.10 : Maximale golfhoogtes bij verschillende invalrichtingen

type of operation	vessel size dwt	max. wave height and period			
		workability condition		survival condition	
		H <sub>s</sub> (m)	period (s)	H <sub>s</sub> (m)	period (s)
1 Container	up to 20,000	0.3	up to 6.0	0.75	up to 7.0
2 General Cargo	up to 20,000	0.5	up to 7.0	0.75	up to 7.0
3 Ro-Ro Vessels	up to 20,000	0.5	up to 7.0	0.75	up to 7.0
4 Dry Bulk- Unloading	up to 20,000	0.5	up to 7.0	0.75	up to 7.0
	20,000 - 60,000	0.75	up to 8.0	1.0-1.5	up to 8.0
	60,000 - 120,000	1.00	up to 9.0	1.5-2.0	up to 9.0
	120,000 and above	1.25	up to 9.0	2.0-2.5	up to 10.0
4a Dry Bulk - Loading	up to 20,000	0.5-0.75	up to 7.0	0.5-0.75	up to 7.0
	20,000 - 60,000	1.0-1.5	up to 8.0	1.0-1.5	up to 8.0
	60,000 - 120,000	1.5-2.0	up to 9.0	1.5-2.0	up to 9.0
	120,000 and above	2.0-2.5	up to 10.0	2.0-2.5	up to 10.0
5 Liquid Bulk Loading/Unloading	up to 20,000	0.5-0.75	up to 7.0	0.5-0.75	up to 7.0
	20,000 - 60,000	1.0-1.5	up to 8.0	1.0-1.5	up to 8.0
	60,000 - 120,000	1.5-2.0	up to 9.0	1.5-2.0	up to 9.0
	120,000 and above	2.0-2.5	up to 10.0	2.0-2.5	up to 10.0
LNG-carrier (beam-head waves)	130.000 m <sup>3</sup>	1.7-2.5	up to 8.5	1.7-2.5	up to 8.5
		1.2-1.9	8.5-10	1.2-1.9	8.5-10
		0.6-1.2	10-12	0.7-1.2	10-12
		0.3-0.7	12-15.5	0.4-0.7	12-15.5

Tabel A2.11 : Maximale golven voor afgemeerde schepen

## A2.2.2 Wind

### Maximale wind bij varen in haven

windsnelheid/snelheid schip = 6-7

Thoresen

### Maximale wind bij afmeren

10 m/s  
Beaufort 7  
12.5-15 m/s

Thoresen, olie- gastankers  
Shell, containers  
Shell, tankers

**Maximale wind voor afgemeerde schepen**

20 m/s

Thoresen

**A2.2.3 Scheepssnelheden****Maximale scheepssnelheid bij afmeren***PIANC:*

In tabel A2.12 zijn de regels voor de scheepssnelheid gegeven.

Ship Size (dwt)	Impact Velocity (m/sec)	
	Exposed-Berth	Protected Berth
≤ 10 000	0.40	0.30
30 000	0.20	0.15
250 000	0.15	0.10

Tabel A2.12 : Maximale snelheid schepen bij afmeren

Andere regels hiervoor zijn:

0.05 m/s

Thoresen

0.15 m/s

Shell

**Snelheid schip bij aanhaken sleepboten**

3-4 knopen

Thoresen

4 knopen

Velsink

**Minimale snelheid schip bij binnenvaren haven**

6 knopen

Velsink

5 knopen

Exxon

**A2.2.4 Stromingen****Maximale stroomsnelheid bij de kades voor aanleggen schepen***PIANC:*

3 knopen

Voor evenwijdige stroming

0.75 knopen

Voor loodrechte stroming

Andere vuistregels zijn:

1.5 m/s (3 knopen)

Thoresen, evenwijdige stroming

0.5 m/s

Thoresen, loodrechte stroming

## Maximale stroomsnelheid in haveningang

PIANC:

4-5 knopen                      Dwarsstroming

Een andere vuistregel is hiervoor:

3 knopen                          Thoresen

### A2.2.5 Manoeuvrerbaarheid schepen

Volgens PIANC is het criterium voor de breedte van een vaargeul, dat de werkelijk bevaren breedte niet meer dan 70% van de totale breedte van de vaargeul mag bedragen.

Voor de roerhoek van een schip tijdens het doorlopen van de vaargeul geeft PIANC per invloed voor roeractiviteit een maximale waarde (Tabel A2.13). De roerhoek ten gevolge van meerdere effecten wordt ook gegeven.

Phenomenon	$ \delta_m $
Bank Effects	$\leq 5^\circ$ to $7^\circ$
Cross Wind and Current	$\leq 25^\circ$
Reserve	$5^\circ$
Bends	$\leq 15^\circ$

*Figuur A2.13: Toegestane roeractiviteit*

$\delta_{rms}$	$< 10^0$	Grote tankers in rechte vaargeulen
$\delta_{max}$	$< 20^0$	Voor schepen met goede manoeuvrerbaarheid
$\sigma_\delta$	$< 17^0$	
$\text{tg } \beta_{max}$	$< 0.3$	
$\text{tg } V_c/V_s$	$< 0.25$	

Met:	$\delta_{rms}$	= Root mean square roerhoek (Gemiddelde van kwadraten van alle metingen van roerhoeken)
	$\delta_{max}$	= Maximale roerhoek
	$\sigma_\delta$	= Standaard deviatie
	$\beta_{max}$	= Evenwichtsupstuurhoek
	$V_c$	= Stroomsnelheid
	$V_s$	= Scheepssnelheid

Andere criteria voor de roerhoek zijn:

$ \delta_{gem} $	$< 15^0$	Eda
$\sigma_\delta$	$< 10^0$	Koelé
Tijd dat de hoek groter is dan $15^0$ moet kleiner zijn dan 10% van de totale tijd		
Ammar		
$\beta_{max}$	$< 15^0$	Shell

### A2.2.6 Diepte vaargeulen

PIANC:

Risico wordt gedefinieerd als:

$$\text{Risico} = \text{frequentie ongelukken} * \text{aantal slachtoffers}$$

Dit produkt mag een waarde hebben van:

$$1: 10^{-6} - 1: 10^{-8}$$

Het risico mag volgens normen bedragen:

0.03 ongelukken in 1000 scheepsbewegingen	Noord Europese havens
Kans op bodemcontact eens in de 25 jaar < 0.1	NL
Kans op bodemcontact eens in de 25 jaar < 0.027	UK
1 bodemcontact in 10,000 scheepsbewegingen	PEMEX

Andere bronnen geven vuistregels voor maatregelen om het risico te verkleinen. Daar wordt per onderdeel van de haven een norm opgesteld, waarmee het onderdeel onder het ongedefinieerde risico zal blijven.

### A2.2.7 Capaciteit haven

Er worden geen vuistregels gegeven voor de capaciteit van een gehele haven. Voor de kadebezetting worden wel regels gegeven.

#### Kadebezetting

Tabel A2.14 geeft de door UNCTAD aangeraden kadebezetting.

<i>Number of berths in the group</i>	<i>Recommended maximum berth occupancy (Percentage)</i>
1	40
2	50
3	55
4	60
5	65
6-10	70

*Tabel A2.14 : Kadebezetting volgens UNCTAD*

Tabel A2.15 geeft eenzelfde tabel van Thoresen.

Number of berths	Berth occupancy factor in percentage		
	Control of arrival of ship to berth		
	None	Average	High
1	25	35	45
2	40	45	50
3	45	50	55
4	55	60	65
5	60	65	70
6 or more	65	70	75

Tabel A2.15 : Kadebezetting volgens Thoresen

Deze kadebezetting resulteert in normen voor de wachttijd voor schepen aan de kade:

Gemiddelde wachttijd/ servicetijd aan kade = 20%	Thoresen
Gemiddelde wachttijd/ servicetijd aan kade = 10-30%	UNCTAD

## A2.2.8 Dimensies golfbreker

### Steengrootte

De formule van Hudson voor het ontwerpen van de grootte van de blokken in de beschermlaag luidt:

$$M = \frac{\rho_s H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha}$$

met:	M	= Massa stenen
	$\rho_s$	= Dichtheid stenen
	H	= Golfhoogte
	$\alpha$	= Helling golfbreker
	$\Delta$	= Relatieve dichtheid stenen ten opzichte van water
	$K_D$	= Schadecoëfficiënt

In de schadecoëfficiënt is niet alleen de geaccepteerde schade opgenomen; ook de klitcapaciteit van de stenen zit hierin. Hierdoor verschilt de waarde per soort steen. Richtlijnen voor waarden hiervoor zijn:

$K_D$	= 3.5	Natuurlijke rotsen, brekende golven
$K_D$	= 4	Natuurlijke rotsen, niet-brekende golven
$K_D$	= 8-10	Betonnen elementen

Bij deze waarden wordt uitgegaan van een schade van ongeveer 5%.

Een meer totaal beeld van de waarden van  $K_D$  wordt in tabel A2.16 gegeven.

Schade/Type steen	Akmon	Cube	Ruw steen	Glad steen	Tetrapod	Tribar
0%	4.8	3.5				
1%	11	7				
2%	12	8				
5%	17	14	4	2.4	8.3	10.4
5 tot 10 %			4.9	3	10.8	14.2
10 tot 15 %			6.6	3.6	13.4	19.4
15 tot 20 %			8	4.1	15.9	26.2
20 tot 30 %			10	5.1	19.2	35.2
30 tot 40 %			12.2	6.7	23.4	41.8
40 tot 50 %			15	8.7	27.8	45.9

Tabel A2.16 :  $K_D$  - waardes verschillende steentypes

Tabel A2.17 geeft ook waarden voor  $K_D$ . Hierbij wordt echter in de formule het gewicht niet in kg uitgedrukt, maar in Newton.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n <sup>3</sup>	Placement	Structure Trunk		Structure Head		Slope Cot #
			$K_D^2$		$K_D$		
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarystone Smooth rounded Smooth rounded Rough angular	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0 5 5
	>3	Random	1.6 <sup>4</sup>	3.2	1.4 <sup>4</sup>	2.3	
	1	Random		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9 1.6 1.3	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Rough angular Rough angular Parallelepiped <sup>7</sup>	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5 5
	2	Special	5.8	7.0	5.3	6.4	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	—	—	
			7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.0 5.5 4.0	1.5 2.0 3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3 7.8 6.0	9.0 8.5 6.5	1.5 2.0 3.0
			15.8 <sup>8</sup>	31.8 <sup>8</sup>	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 <sup>9</sup> 3.0
Dolos	2	Random	15.8 <sup>8</sup>	31.8 <sup>8</sup>	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 <sup>9</sup> 3.0
			8.5	7.5	—	5.0	5
Modified cube	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
Hexapod	2	Random	11.0	22.0	—	—	5
Toskane	2	Random	12.0	15.0	—	—	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	5
Quarystone ( $K_{gp}$ ) Graded angular	—	Random	2.2	2.5	—	—	

Tabel A2.17 :  $K_D$ - waardes voor formule uitgedrukt in Newton

De formule van Van der Meer neemt meer variabelen mee in de berekening. De formule luidt:

$$\frac{H_s}{\Delta d} = 6.2P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \quad \text{Voor 'plunging' brekers } (\xi \approx 1.5)$$

$$\frac{H_s}{\Delta d} = 1.0P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right) \xi_m^P \sqrt{\cot \alpha} \quad \text{Voor 'surging' brekers } (\xi \approx 5)$$

- Met :
- P = Porositeit (voor golfbrekers 0.4-0.5)
  - S<sub>d</sub> = Schadecoëfficiënt
  - N = Aantal golven (3000 golven met T= 6s representeren een storm van 5 uur)
  - ξ<sub>m</sub> = Brekerparameter

De te gebruiken schadecoëfficiënt voor een twee lagen dikke beschermlaag staat aangegeven in tabel A2.18.

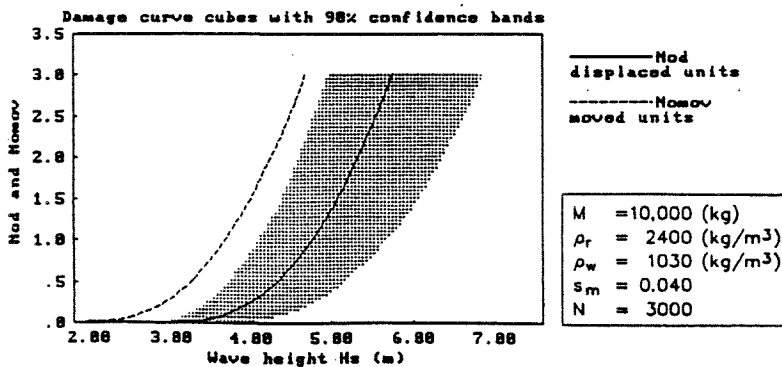
Slope	Initial damage	Intermediate damage	Failure
1:1.5	2	3 - 5	8
1:2	2	4 - 6	8
1:3	2	6 - 9	12
1:4	3	8 - 12	17
1:6	3	8 - 12	17

Tabel A2.18 : S-waardes in formule van Van der Meer

Voor betonnen elementen wordt de schade anders gedefinieerd, namelijk:

- N<sub>od</sub> Aantal verplaatste blokken uit de beschermlaag
- N<sub>omov</sub> Aantal kapotte én verplaatste blokken

N<sub>od</sub> is qua waarde ongeveer de helft van S. Met het programma BREAKWAT worden figuren van de hoogte van de golven ten opzichte van de schade (N<sub>od</sub> en N<sub>omov</sub>) gegenereerd (zie figuur A2.6). Hiermee kan de steengrootte gecontroleerd worden.



Figuur A2.6 : Door BREAKWAT gegenereerde figuur



## Teen

De stabiliteit van stenen in de teen van een golfbreker kan gecontroleerd worden met de volgende formule:

$$\frac{H_s}{\Delta d_{n50}} = \left(0.24 \frac{h_t}{d_{n50}} + 1.6\right) S^{0.15}$$

Met :  $h_t$  = Diepte teen onder wateroppervlak

S heeft vrijwel dezelfde waarde als bij de berekeningen voor de beschermlaag.



## Bijlage A3: Controle ontwerp

Gemaakte ontwerpen moeten gecontroleerd worden. Voor de globale ontwerpen moeten controleberekeningen uitgevoerd worden zodat de alternatieve ontwerpen vergeleken kunnen worden. Tevens moet globaal onderzocht worden of zij aan de eisen voldoen. Voor de gedetailleerde ontwerpen worden de controles uitgevoerd zodat bekend wordt welke delen van het ontwerp nog verfijnd moeten worden en welke delen optimaal aan de criteria en eisen voldoen.

De controleberekeningen kunnen in verschillende fasen, met verschillende betrouwbaarheden, worden uitgevoerd. De ontwerpen uit de alternatiefontwikkelingsfase worden gecontroleerd met expert kennis en vuistregels. Deze vuistregels zijn in bijlage A2 behandeld.

Naarmate er gedurende het ontwerpproces minder alternatieven overblijven, moeten de controles betrouwbaarder en nauwkeuriger worden uitgevoerd. Middelen, die de ontwerper tot zijn beschikking heeft om deze controles uit te voeren, worden beschreven in dit hoofdstuk.

### Computermodelleringen

Een belangrijk hulpmiddel bij het controleren van een ontwerp is de computer. De computer biedt de mogelijkheid op een snelle manier relatief betrouwbare voorspellingen te doen.

Er bestaan vele computerprogramma's, die elk behulpzaam kunnen zijn bij het oplossen van een specifiek probleem. De makers van de computerprogramma's hebben de numerieke representatie van de natuurlijke processen al bedacht en ingevoerd in de computer. Voor elk programma is bekend welke nauwkeurigheid het biedt.

De gebruiker van de computerprogramma's dient zelf nog het specifieke probleem te modelleren. Afhankelijk van de gewenste betrouwbaarheid en nauwkeurigheid wordt een keuze gemaakt voor een programma en wordt het model gemaakt. Hoe gedetailleerder het model in het programma wordt ingevoerd, hoe nauwkeuriger de resultaten zullen zijn. Echter, het bouwen van een gedetailleerd model kost veel tijd. Wanneer een model éénmaal gebouwd is, kunnen er vaak gemakkelijk veranderingen in aangebracht worden, zodat vrij snel gecontroleerd kan worden of de veranderingen ook daadwerkelijk verbeteringen zijn.

### A3.1 Golfindringing in havens

Binnen de haven moet de golfhoogte beperkt blijven. Schepen kunnen bepaalde handelingen niet uitvoeren wanneer de golven te hoog zijn. Hierbij kan gedacht worden aan het aan- en afmeren, het laden en lossen, het veilig manoeuvreren en het aangehaakt worden aan sleepboten. Voor elk van deze handelingen geldt een bepaalde maximale golfhoogte, die per type schip verschilt. De richting van de golven ten opzichte van het schip is van belang, omdat schepen in verschillende richtingen anders reageren op golven.

Golven in de haven kunnen het gevolg zijn van verschillende mechanismes:

- Binnendringing door de golfbrekeropeningen
- Transmissie van golven door golfbrekers heen
- Overtopping van golfbrekers
- Opwekking door schepen

Een aantal invloeden zorgt ervoor dat de golven van richting en grootte veranderen bij het voortplanten door de haven:

- Reflectie tegen golfbrekers, kades of andere objecten binnen de haven
- Wrijving met de bodem, lucht en wanden
- Diffractie langs golfbrekerhoofden of andere objecten binnen de haven
- Shoaling, refractie en breking door diepteverschillen
- Wisselwerking met stromingen

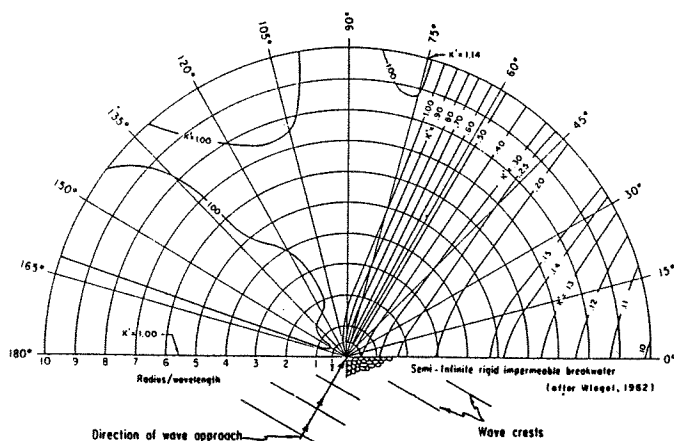
### Methode Wiegel

Met de methode Wiegel, die beschreven wordt in de Shore Protection Manual, kan de diffractie om een golfbrekerhoofd globaal worden bepaald aan de hand van een aantal standaard figuren. In deze empirisch bepaalde figuren zijn lijnen getekend, waarbij een lijn uniforme golfhoogten representeert. Deze figuren kunnen over de ontwerp-tekening worden heengelegd, waarna gemakkelijk de golfhoogte in de haven afgelezen kan worden.

In de figuren wordt gewerkt met dimensieloze parameters, zodat de figuren voor alle golfhoogten en golflengtes geschikt zijn. Voor verschillende hoeken van inval van de golven worden verschillende figuren gepresenteerd.

Ook voor openingen tussen golfbrekers zijn figuren gegeven, waarbij voor elke verhouding tussen grootte van de opening en golflengte een andere figuur gebruikt moet worden.

Een beperking van deze methode is dat alleen diffractie beschouwd wordt. Invloeden van diepteverschillen op de golven, reflectie, transmissie en wrijving worden dus niet meegenomen. Verder moet voor elke hoek van inval en grootte van de opening een andere figuur gebruikt worden. Wanneer de werkelijke waarden daar van afwijken, moet geïnterpoleerd worden tussen verschillende figuren. Een andere beperking is dat er van uitgegaan wordt dat het aankomend golfveld uniform is. In werkelijkheid zijn de golflengtes en golfhoogten in een golfveld niet uniform verdeeld.



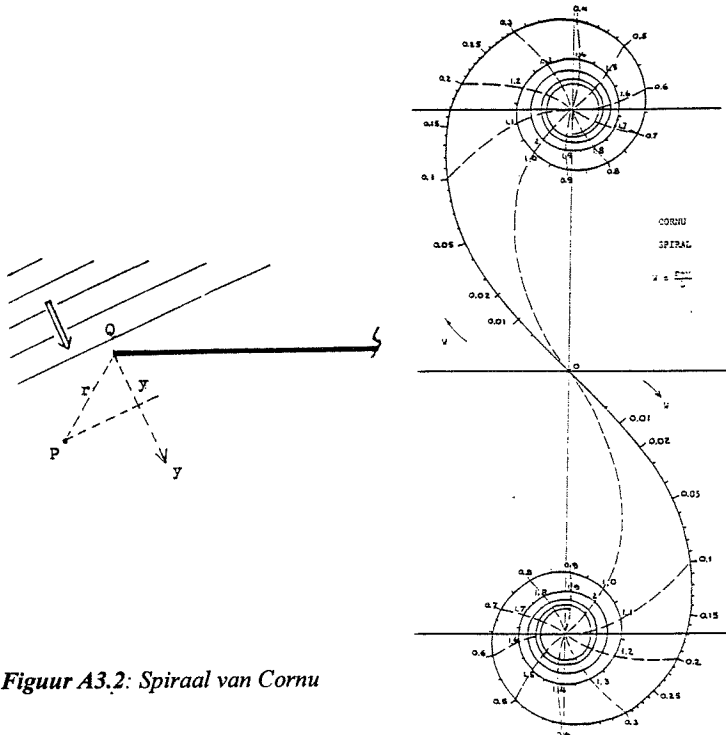
**Figuur A3.1** : Golf-diffractie diagram volgens methode Wiegel

### Spiraal van Cornu

Een andere methode om globaal en snel de diffractie rond golfbrekers te bepalen, is het gebruik van de spiraal van Cornu (Figuur A3.2). Waar bij de methode Wiegel een golfveld bepaald wordt, wordt bij de spiraal van Cornu de golfhoogte in een punt achter een golfbreker bepaald.

Bij deze methode wordt de afstand van het te beschouwen punt tot het golfbrekerhoofd, relatief tot de golflengte, bepaald. Hierbij wordt de richting van de invallende golven meegenomen. Uit de spiraalfiguur kan hiermee de reductiefactor op de golfhoogte bepaald worden.

Wanneer de golfhoogte achter een opening bepaald moet worden, wordt de relatieve afstand tot beide golfbrekerhoofden bepaald en wordt uit de spiraalfiguur wederom de relatieve golfhoogte bepaald. Voordeel van deze methode is dat er niet geïnterpoleerd hoeft te worden tussen figuren. Nadeel is dat de golfhoogte slechts in één punt wordt bepaald. Verder kent deze methode dezelfde beperkingen als de methode Wiegel.



Figuur A3.2: Spiraal van Cornu

## DIFFRAC

Het computerprogramma DIFFRAC kan gebruikt worden om tijdens het ontwerpproces bijvoorbeeld 3 à 4 overgebleven alternatieven te controleren op golfindringing in de haven.

De gebruiker van het programma dient het te beschouwen gebied in een aantal bassins onder te verdelen. Op de randen van de bassins dienen randvoorwaarden te worden ingevoerd en tevens moet gedefinieerd worden wat de aard van de rand is. De randen kunnen een open connectie hebben met een ander bassin, de randen kunnen golven (gedeeltelijk) reflecteren, de randen kunnen een ingang vormen van het systeem, waar golven dus binnenkomen, of ze kunnen de uitgang zijn van het systeem, waar golven het systeem verlaten. DIFFRAC houdt numeriek de energiehuishouding binnen een bassin bij en vertaalt de hoeveelheid energie naar golfhoogten.

In het 2-D programma DIFFRAC kunnen diepteverschillen niet gemodelleerd worden. Het programma is dus alleen geschikt voor situaties waar de diepte per bassin uniform is. Een verdere beperking is dat slechts een uniform golfveld gemodelleerd kan worden. Transmissie door golfbrekers kan gemodelleerd worden met een reductiefactor voor de golfhoogten op de randen van het systeem. Het programma berekent standaard de invloeden van reflectie, richtingsverspreiding en diffractie op de golven.

## PHAROS

Het opzetten van een model in het programma PHAROS kost veel tijd, omdat dit programma de invloeden van veel factoren meeneemt. Het programma is daarom vooral geschikt om in de laatste fase van het ontwerpproces te gebruiken, om de golfindringing in 1 of 2 alternatieve havens te berekenen.

PHAROS maakt zijn berekeningen op grond van een tweedimensionaal grid. Het grid bestaat uit driehoeken van variabele grootte. De grootte van de gridvlakjes is zodanig, dat er meerdere (7 à 8) gridpunten binnen een golflengte vallen, zodat een volledig beeld van een enkele golf verkregen wordt. Op de hoekpunten van een gridvlakje wordt de golfpotentiaal elke tijdstap vergeleken met de energie in een hoekpunt van een naburig gridvlakje. De derde dimensie, de diepte, wordt meegenomen door elk punt een dieptewaarde toe te kennen.

Op de randen van het systeem worden de transmissie, reflectie en refractie door en langs de golfbrekers gemodelleerd. Door de berekeningsmethode kan het programma het breken van golven, bodemwrijving en stromingsinvloeden meenemen.

PHAROS is in staat de indringing van zowel lange (seiches) als korte (windgolven) golven in havens te berekenen, evenals de krachten die zij op de constructies uitoefenen. Met het bekend zijn van de golfstatistieken in de haven kan gecontroleerd worden of havenbassins of schepen resoneren met die golven. Frequentiespreiding (geen uniform golfveld) kan meegenomen worden door de invloeden van de verschillende frequenties gewogen te sommeren.

## A3.2 Golfreactie afgemeerde schepen

Schepen kunnen slechts aan- of afmeren bij bepaalde maximale golfhoogten. Bij lagere maximale golven kan geladen en gelost worden. Als deze waarden overschreden worden ontstaat er down-time. De maatgevende waarden van de maximale golfhoogten verschillen per scheepstype en tevens per richting van de invallende golven.

### Vuistregels

Zonder specifiek naar de situatie te kijken kan gezegd worden dat schepen slechts kunnen werken bij een bepaalde maximale golfhoogte. Deze maximale golfhoogte is onder andere afhankelijk van het type schip, de richting van waaruit de golven komen en de activiteit van het schip. Wanneer de golfindringing berekend is, zoals in paragraaf A3.1 beschreven is, kunnen al uitspraken gedaan worden over de tijden dat schepen niet kunnen werken.

Er bestaan vuistregels, die geen rekening houden met de richting van de invallende golven of het type schip. Daarnaast bestaan er meer gedetailleerde vuistregels die redelijk nauwkeurig de drie bovengenoemde invloeden in rekening brengen. In bijlage A2 zijn enkele vuistregels gegeven.

Er wordt bij deze vuistregels niet gekeken naar de specifieke situatie. Stroming en tweede orde effecten, zoals weerkaatsing tegen de wal, of golfopwekking door de beweging van het schip, kunnen significante invloed hebben op de tijdsperioden waarin schepen kunnen werken. Deze worden hier niet meegenomen.

### BAS

BAS is een modelleringsprogramma, waarmee de bewegingen van een afgemeerd schip onder invloed van stroming, wind en golven, berekend kunnen worden. Hieruit kan de down-time voor schepen aan de kade bepaald worden. Tevens kunnen fender- en troskrachten, tijdens het aan de kade liggen, berekend worden. Met de resultaten hiervan kunnen de aanlegfaciliteiten geoptimaliseerd worden. De bewegingen worden voor alle 6 vrijheidsgraden van een schip bepaald.

De processen, die met BAS worden berekend, zijn beperkt van belang bij de afweging tussen verschillende havenontwerpalternatieven. Het gebruik van BAS beperkt zich dan ook tot de laatste fase van het ontwerpproces, wanneer nog slechts 1 of 2 alternatieven over zijn. Verder dient de invoer te bestaan uit onder andere een gedetailleerd golfveld en een gedetailleerd kadeontwerp, wat nog niet beschikbaar is in de eerste fasen van het ontwerpproces.

BAS werkt in het tijdsdomein. Afzonderlijk worden de bewegingen van het schip in 6 richtingen per tijdstap bepaald.

### A3.3 Stromingen

Stroming is van groot belang bij het ontwerp van een haven. Dwarsstroming heeft grote invloed op de koersvastheid van schepen. De dwarsstroming mag in de buurt van de haven en in de haven niet te groot zijn om veilig in- en doorvaren te garanderen. Langsstroming heeft invloed op de manoeuvreerbaarheid van een schip.

Verder heeft stroming grote invloed op het sedimenttransport en op golven.

#### Delft3D

Het computerprogramma Delft3D heeft een zeer uitgebreid toepassingsgebied. De naam Delft3D representeert een framework, waar een zestal aparte programma's omheen is gebouwd. De aparte programma's (modules) kunnen apart worden gebruikt, maar kunnen ook worden gecombineerd met behulp van het framework. Zij kunnen dan tegelijkertijd gebruikt worden en een geïntegreerd beeld geven van de processen. Een voorbeeld hiervan is de invloed van stroming op golven. Met Delft3D kan de invloed van stroming, naast alle andere invloeden op de golfontwikkeling, meegenomen worden in de golfberekening. De modules wisselen informatie uit via het framework.

De modules zijn:

- Hydrodynamische module (TRISULA), waarin stromingen gesimuleerd worden. Invloeden van getijde, wind, dichtheid, golven en turbulentie worden meegenomen bij de berekening.
- Waterkwaliteit module (DELWAQ/DELPAR).
- Sedimenttransport module, waarmee de transporten van zowel zand als silt in zowel gesuspendeerde als vaste vorm gemodelleerd kunnen worden.
- Golf module (HISWA), waarmee de golfontwikkeling van kortkammige golven in wijzigende waterdieptes en stromingsvelden berekend kan worden.
- Morfologische module, die bodemveranderingen door de invloed van sedimenttransporten berekent.
- Ecologische module, waarin de ecologische veranderingen bepaald kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is de wisselwerking tussen biotische ecosystemen en abiotische systemen.

Delft3D is een 3-dimensionaal programma waarin ook de diepte-invloed meegenomen wordt. Daardoor is het toepassingsgebied zeer breed. Er kunnen bijvoorbeeld estuaria en riviermonden, met grote diepteverschillen, beschouwd worden.

Delft2D is in wezen hetzelfde programma als Delft3D. De resultaten worden echter sneller verkregen, maar zij zijn ook minder nauwkeurig. Waar Delft3D vooral in de laatste fase van het ontwerpproces wordt gebruikt, wordt Delft2D vooral in een eerdere fase met meerdere alternatieven gebruikt.

## TRISULA

Stromingen kunnen bepaald worden met behulp van TRISULA (Als onderdeel van Delft3D Delft3D-FLOW genoemd). Er bestaat zowel een 3-dimensionale als een 2-dimensionale versie van TRISULA.

De 2-D versie berekent de dieptegemiddelde stroming over een 2-dimensionaal grid, waarbij na elke tijdstap de invloeden op de stroming binnen een gridvlakje worden bepaald. Deze bestaan uit de invloeden van naburige vlakjes en fysische invloeden, zoals de Coriolis kracht, dichtheidsverschillen, temperatuuruitwisseling met de lucht, horizontale turbulentie, diepte-invloeden, wind, getijden en golven.

Bij de driedimensionale versie worden ook nog de bodemwrijving, de wrijving tussen lagen, verticale drukverschillen, verticale turbulentie en bodemverschillen meegenomen in de berekeningen. Het beschouwingsgebied is verdeeld in een 3-dimensionaal grid. Hierbij is ondanks eventuele bodemhoogteverschillen het aantal verticale lagen constant. Hiermee is het toepassingsgebied van de 3-D versie uitgebreider dan dat van de 2-D versie. Ook gebieden waar dichtheidsstroming een grote rol speelt en waar de bodem niet constant is, kunnen beschouwd worden.

## A3.4 Sedimenttransport

Sedimentatie in havens en vaargeulen moet beperkt blijven, om de benodigde diepte te blijven garanderen. Wanneer de sedimentatie in vaargeulen snel gaat zal er vaak onderhoudsbaggerwerk plaats moeten hebben, wat tot hoge kosten leidt.

Sedimentatie kan leiden tot kustmorfologische veranderingen. Voor bestaande bebouwing en milieu kunnen de gevolgen onacceptabel zijn. Er kunnen maatregelen getroffen worden, maar er moet dan wel kennis zijn over de gevolgen van de aanleg van bijvoorbeeld een haven en de gevolgen van de te nemen maatregelen.

De sedimenttransport module van Delft2D en Delft3D is in staat sedimenttransporten te modelleren. Andere programma's, die hiervoor ontworpen zijn, zijn UNIBEST, SUSTIM, SUTRENCH, SILTAC en SILTHAR. Deze programma's zullen in hieronder kort beschreven worden.

### UNIBEST

UNIBEST is ontworpen om sedimentatie aan kustlijnen te voorspellen. Het programma bestaat uit een viertal modules, die via een framework met elkaar in verbinding staan. De 4 modules zijn:

- **Kustlijnveranderingsmodule.** Met deze module worden de veranderingen aan de kustlijn onder invloed van de sedimenttransportgradiënten bepaald. Hierbij wordt de kust gemodelleerd als één lijn, waarvan het verloop in de tijd wordt bepaald. De module is speciaal geschikt om de gevolgen van ingrepen met betrekking tot de kustlijn te bepalen.
- **Langstransportmodule.** Met deze module worden de door golven en getijden ontstane langsstromingen en de gevolgen voor het sedimenttransport bepaald. Over een tweedimensionaal grid worden hiertoe onder andere de invloeden van golfbreking, bodemwrijving, stromings- en bodemrefractie van golven en de waterspiegelgradiënt onder invloed van het getij meegenomen in de berekeningen. Uit het resultaat, de sedimenttransporten en de gradiënten daarin, kan de erosie in de tijd bepaald worden.
- **Duin-erosiemodule.** Met de duin-erosiemodule kunnen de gevolgen van extreme omstandigheden op kusten, die duinen als zeewering hebben, berekend worden. Ook kunnen eventuele maatregelen getoetst worden. Over een raai, loodrecht op de kust, worden per tijdstap de golven, turbulentie, gesuspendeerd materiaal en de waterdiepte bepaald. Hieruit kan het duinprofiel in de tijd bepaald worden. De module is vooral gericht op het deel van de kust dat boven de waterspiegel ligt.
- **Tijdafhankelijk dwarstransport module.** Met behulp van deze module kan bepaald worden wat de ontwikkeling van de kust in dwarsrichting in de tijd is. Hierbij wordt vooral de invloed van brekende golven en de daardoor ontstane stromingen in rekening gebracht. Seizoensinvloeden



kunnen goed in beeld gebracht worden met deze module. De module gaat uit van een raai die loodrecht op de kust georiënteerd is en berekent per tijdstap het bodemprofiel.

UNIBEST geeft resultaten die veel gevolgen van de bouw van een haven duidelijk maken. Vrijwel alle invloeden die van belang zijn worden meegenomen. Daarnaast is het programma redelijk nauwkeurig. Het gemak waarmee de modellen ontwikkeld kunnen worden zorgt er voor dat het programma ook al in de concept-ontwerpfase gebruikt kan worden.

## **SUSTIM**

SUSTIM is een programma dat erosie, sedimentatie en sedimenttransporten berekent voor situaties met fijn zand. De processen die beschreven worden met SUSTIM zijn het zakken van deeltjes door zwaartekracht, het mixen van deeltjes door golven en turbulentie en het loskomen van de bodem van sediment door golven en stroming.

De modellering vindt plaats in een 3-dimensionaal grid. De situaties waar SUSTIM specifiek geschikt voor is, zijn sedimentstromingen in en rond harde elementen zoals havens, offshore platforms en pijpleidingen.

Het toepassingsgebied van SUSTIM is geen belangrijke factor in de afweging van verschillende havenontwerpalternatieven. De resultaten geven eerder een beeld over de te nemen maatregelen tegen erosie en sedimentatie. SUSTIM wordt daardoor vooral gebruikt in de laatste fase van het ontwerpproces.

## **SILTAC**

SILTAC is een computerprogramma waarmee sedimentatie in vaargeulen voorspeld kan worden. Informatie over sedimentatie en erosie heeft alleen waarde over een geheel aantal getijdencycli. SILTAC geeft daarom slechts resultaten na een geheel aantal cycli. De stromings- en golfcondities zijn constant gedurende een simulatie.

Bij het berekenen van de sedimenttransporten volgt SILTAC stromingsraaien. In de vaargeul veranderen de stromingsraaien door de toegenomen diepte sterk in richting en breedte. Aan de hand van deze verschillen in richting en breedte van de raaien (verschillen in richting en snelheid van de stroming), berekent SILTAC de sedimenttransporten en de sedimentatie in de tijd.

SILTAC werkt alleen betrouwbaar als de gradienten en diepteverschillen evenwijdig aan de vaargeul klein zijn. Verder wordt alleen het gesuspendeerde materiaal in de berekeningen betrokken. Door deze beperkingen en het feit dat niet alle invloeden meegenomen kunnen worden, is SILTAC alleen te gebruiken in de ontwerpfase waar nog geen grote nauwkeurigheid verwacht wordt. In deze fasen moeten globale verschillen tussen een aantal ontwerpen gekwantificeerd worden.

## **SILTHAR**

In havenbassins zijn stroomsnelheden vaak kleiner dan op open zee. SILTHAR berekent de sedimentatie in de havenbassins aan de hand van die stroomsnelheidsverschillen. De stromingsverschillen tussen havenbassins en open zee worden berekend aan de hand van vier verschijnselen, namelijk:

- In- en uitstroom van het getij
- Diffusieve wateruitwisseling tussen de havenbassins en de hoofdstroom langs de haven
- Dichtheidsstroming
- Het in- of uitlaten van water uit het bassin

Het verschil tussen de stroming buiten het havenbassin en in het havenbassin wordt bepaald en daaruit wordt de sedimentatie na een geheel aantal getijdencycli bepaald. De sedimentatie wordt slechts

berekend over het gehele bassin, er wordt dus geen kwantitatieve informatie over verloop van de sedimentatie over het bassin gegeven.

In de resultaten worden de verschillende invloeden gescheiden gepresenteerd, zodat duidelijk is waar de oplossingen voor het sedimentatieprobleem liggen.

De beperkingen die het programma kent, zorgen ervoor dat het gebruik alleen nuttig is in de beginfasen van het ontwerpproces.

### **A3.5 Manoeuvrerbaarheid schepen**

De dimensies van vaargeulen moeten zo bepaald worden dat schepen veilig kunnen manoeuvreren. De richtlijnen voor het ontwerp van de dimensies van vaargeulen nemen niet de specifieke situatie in de beschouwingen mee. Zeker bij het manoeuvreren van schepen zijn zeer veel aspecten van belang, die niet onafhankelijk beschouwd kunnen worden. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan de combinatie van extreme golfomstandigheden en twee schepen die elkaar passeren. Met een computermodellering kunnen alle aspecten geïntegreerd worden bekeken, wat kan leiden tot een economische ontwerpbreedte.

#### **SHIPMA**

Met het computerprogramma SHIPMA kan de manoeuvrerbaarheid van de vaargeulen getoetst worden. De omstandigheden als wind, golven en stroming worden ingevoerd in het model, waarna een ontwerpschip de te volgen koers krijgt opgedragen. De automatische besturing van het schip volgt nu de opgedragen lijn. De besturingskenmerken, zoals roerhoeken tijdens het varen en schroefstoten, worden opgeslagen en op grond daarvan kan het ontwerp worden beoordeeld. Wanneer het model eenmaal is ingevoerd kunnen situaties gemakkelijk worden veranderd, zodat het ontwerp bij verschillende omstandigheden getoetst kan worden.

Het programma volgt het schip over een raai. Na elke tijdstap wordt de positie van het schip bepaald en tevens de omstandigheden, zoals stromingen, golven en wind. Verder worden de manoeuvre-eigenschappen van het schip bepaald, zoals bijvoorbeeld de roerhoeken. Uit deze gegevens bepaalt het programma de acties, die het schip moet ondernemen om na de volgende tijdstap nog steeds op de opgedragen koers te varen.

Een beperking van deze methode is dat er gevaren wordt met een automatische bestuurder en dat dus het menselijk handelen is uitgeschakeld.

#### **Scheepssimulator**

In ontwerpfasen, waar nog een aantal alternatieve ontwerpen getoetst moeten worden, kan worden volstaan met het gebruik van fast time simulatoren, zoals het computerprogramma SHIPMA. In de detail ontwerp fase wordt meer nauwkeurigheid verwacht en moet de ontworpen haven gesimuleerd worden met behulp van een real time simulator.

Hiertoe wordt de gehele omgeving in een computer getekend en weergegeven op een beeldscherm. De bestuurder van het schip staat op een nagebootste brug van een schip en vaart de haven binnen.

Wanneer de omgeving éénmaal is getekend, kunnen verschillende veranderingen in de situatie aangebracht worden. Voordeel van deze real time simulatoren is dat het menselijk handelen meegenomen wordt in de beoordeling. Een ander voordeel is dat de loodsen al voor de haven gebouwd is, vertrouwd kunnen raken met de nieuwe haven. Zeker wanneer er op meerdere tijdstippen, bij verschillende omstandigheden en met verschillende navigators gewerkt wordt, gaat er echter veel tijd in

een simulatie zitten. Een ander nadeel is dat er slechts een beperkt aantal scheepssimulatoren beschikbaar zijn. Verder is het gebruik van een real time simulator duur.

## A3.6 Diepte vaargeulen

De ontwerprichtlijnen voor de diepte van vaargeulen zijn bepaald aan de hand van een deterministische beschouwing. Met een computermodellering kunnen alle aspecten die een rol spelen, in een geïntegreerd beeld beschouwd worden. Dit kan leiden tot een economische ontwerpdiepte.

### HARAP

De ontworpen diepte kan gecontroleerd worden met het modelleringsprogramma HARAP (verbeterde versie van een computerprogramma, genaamd CHOP). Met dit programma wordt de kans op bodemcontact van een schip bepaald. Door het programma verscheidene malen simulaties uit te laten voeren met verschillende omstandigheden en verschillende scheepstypen kunnen statistieken aangaande het risico verkregen worden. Deze moet de ontwerper beoordelen en toetsen aan de eisen voor de haven. Tevens kunnen aan te houden getijdevensters bepaald worden uit de resultaten. De down-time die ontstaat, moet ook beoordeeld worden door de ontwerper.

De gebruiker van HARAP dient eerst de randvoorwaarden in te voeren. Deze bestaan uit het bodemprofiel, het ontwerpschip, het golfveld, de stromingen, de wind, het getij, enzovoort. Het totale beschouwingsgebied kan hierbij onderverdeeld worden in segmenten die elk hun eigen randvoorwaarden hebben. Het schip wordt nu opgedragen de gedefinieerde vaargeul te doorvaren, waarna het programma na elke tijdstap controleert welke verticale positie het schip heeft. Na het doorvaren van de vaargeul berekent HARAP de statistische kans op bodemcontact. Met de randvoorwaarden en de eisen wat betreft het toegestane aantal bodemcontacten, bepaalt het programma tevens het getijdevenster en het meest optimale vertrektijdstip van het schip.

Het opzetten van een model in HARAP is arbeidsintensief. De resultaten zijn vooral van belang voor het optimaliseren van een ontwerp. Voor een afweging tussen meerdere alternatieven geven de vuistregels een voldoende indicatie over de benodigde diepte in de vaargeul. Tevens kan de grootte van de vensters aan de hand van dit programma bepaald worden. HARAP wordt daarom vooral in de laatste fase van het ontwerpproces van een zeehaven gebruikt, wanneer er nog slechts enkele alternatieve ontwerpen afgewogen behoeven te worden.

## A3.7 Capaciteit havenonderdelen en haven als geheel

De verschillende gemiddelde down-times die ontstaan bij verschillende onderdelen van de haven zijn opgeteld niet de totale gemiddelde down-time van de haven. Met een computermodellering kan het geïntegreerde beeld worden verkregen en kunnen er uitspraken gedaan worden over de totale down-time van de haven en daarmee van de capaciteit.

### Wachttijdtheorie

Met een wachttijdtheorie kunnen globaal de wachttijden in havens berekend worden. Uitgaande van een bepaalde aankomstverdelingsfunctie voor schepen en een standaard verdelingsfunctie voor overslagduur kan aan de hand van tabellen de gemiddelde wachttijd bepaald worden.

Voorwaarde is wel dat er een vast aantal kades is. Kades waar een variabel aantal schepen, afhankelijk van de scheeps lengte, aan kan leggen kunnen niet beschouwd worden met deze methode. Uiteraard kan dit wel bewerkstelligt worden door de situatie te simplificeren en de situatie te modelleren als een vast aantal aanlegplaatsen.

Door de beperkingen die aan deze methode vastzitten wordt de wachttijdtheorie alleen gebruikt in de ontwerpfasen, waarin snelheid van verkrijgen van resultaten belangrijker is dan nauwkeurigheid.

## **PROSIM**

Met behulp van het modelleringsprogramma PROSIM kan een geïntegreerd beeld verkregen worden van de totale down-time in een haven. In een model worden schepen random of via een bepaalde verdelingsfunctie aangemaakt, waarna ze het systeem binnenkomen. Tijdens het doorlopen van het systeem, wat door meerdere schepen tegelijk gedaan kan worden, ontstaan in bepaalde situaties wachttijden, die door PROSIM worden opgeslagen. Uit deze wachttijden kunnen later conclusies worden getrokken. Door een langere tijd te simuleren en meerdere simulaties uit te voeren kunnen statistische gegevens verkregen worden.

Het creëren van een model kost veel tijd. Wanneer een systeem eenmaal is aangemaakt kan deze gemakkelijk gewijzigd worden, zodat meerdere situaties vergeleken kunnen worden. PROSIM werkt objectgeoriënteerd. Dit houdt in dat niet processen maar objecten worden gevolgd. De processen volgen uit de acties van de objecten. Bij het gebruik van PROSIM binnen een havenontwerp kan een schip of een havenmeester een voorbeeld zijn van een te gebruiken object. De verschillende havenonderdelen waar wachttijden kunnen ontstaan worden gemodelleerd als weerstanden. Het feit dat PROSIM objectgeoriënteerd is maakt het gebruik overzichtelijk.

Het ontwerp van een haven moet grotendeels afgerond zijn, voordat het nut heeft PROSIM te gebruiken. De verschillende havenonderdelen moeten gespecificeerd zijn en ook de wachttijden die ontstaan bij elk havenonderdeel moeten bekend zijn. PROSIM wordt daarom vooral gebruikt om de laatste 2 à 3 overgebleven alternatieven te controleren.

## **A3.8 Ontwerp dwarsdoorsnede golfbrekers**

De stabiliteit van het materiaal in rubble mound golfbrekers onder golfbelasting kan gecontroleerd worden met empirische formules. De bekendste formules hiervoor zijn de formule van Hudson en de formule van Van der Meer.

## **BREAKWAT**

Het computerprogramma BREAKWAT kan behulpzaam zijn bij het maken van een ontwerp van een dwarsdoorsnede van een golfbreker. Het programma wordt vooral gebruikt voor de dimensionering van de variabelen in de dwarsdoorsnede. In het programma zijn de formules, die door van der Meer zijn afgeleid, verwerkt. Het gebruik van BREAKWAT kan tijdswinst opleveren doordat berekeningen niet handmatig gemaakt behoeven te worden.

Een belangrijke ontwerpvariabele die gecontroleerd kan worden met BREAKWAT is de steengrootte in de bescherm laag van een rubble mound golfbreker. Met de formule van Hudson dient eerst een schatting gemaakt te worden van de benodigde steengrootte. Deze steengrootte wordt, samen met andere ontwerpvariabelen als de helling van de golfbreker, als invoer gebruikt in BREAKWAT. Het programma bepaalt op basis hiervan de schadekans, afhankelijk van de significante golfhoogte. Uit de grafiek hiervan kan de ontwerper aflezen of de gekozen steengrootte voldoet aan de normen voor acceptatie van het risico. Eventueel kan een iteratieslag worden uitgevoerd door een tweede berekening te maken met een andere steengrootte of een andere helling van de golfbreker.

Ook de formule van Van der Meer voor overslag van golven over een golfbreker, de formule voor stabiliteit van tenen en de formules voor bermgolfbrekers kunnen in BREAKWAT snel toegepast worden om het ontwerp te optimaliseren.

### **Fysische modellen**

Een ontworpen golfbreker kan getest worden met een schaalmodel. Hierbij wordt de situatie in een stroomgoot fysisch nagebootst. Het bouwen van een model kost veel tijd, maar wanneer dit éénmaal gedaan is, kunnen zeer veel omstandigheden getest worden. Ook zeer extreme omstandigheden kunnen gemakkelijk gesimuleerd worden.

De resultaten zijn niet geheel vrij van onzekerheden. Het goed schalen kan bijvoorbeeld problemen opleveren. Kleine stenen reageren anders op kleine golven dan grote stenen op grote golven. Verder moeten de kleine stenen dezelfde pakking en klitcapaciteit krijgen als de grote stenen. Door voldoende proeven te doen met situaties, waarvan ook het werkelijke gedrag bekend is, kan het model geïjkt worden.

## **A3.9 Golven op een helling**

De formules voor de invloed van golven op de stabiliteit van stenen op een helling en de golfoploop zijn empirisch bepaald. De werkelijke ontwerpsituatie kan echter afwijken van de situaties waarmee de formules geïjkt zijn. Het werkelijke gedrag van de golven moet daarom in bepaalde situaties nog gecontroleerd worden. Voor deze controles kunnen, naast computermodellerings, fysische modellen gebruikt worden. Deze zijn beschreven in de voorgaande paragraaf.

### **ODIFLOCS**

Met het modelleringsprogramma ODIFLOCS kan de golfontwikkeling op constructies gemodelleerd worden. Over een raai loodrecht op helling wordt een beeld geschetst van de golven in de tijd. De diepte wordt meegenomen door aan elk punt een dieptewaarde toe te kennen.

Elke tijdstap wordt op elk punt een gesimplificeerde golfontwikkelingsvergelijking toegepast. Deze vergelijking is niet-lineair en neemt dus tweede orde effecten mee. De verandering van de golfhoogte en fasenelheid wordt na elke tijdstap waargenomen. Een verschil met modelleringsprogramma's als DIFFRAC en SWAN is dat er bij ODIFLOCS niet naar een 2-dimensionaal golfveld wordt gekeken, maar naar de golven over een 1-dimensionale raai. Verder is de toegepaste formule anders dan bij genoemde programma's en zijn de tijd- en lengtestappen dermate klein dat de ontwikkeling van een enkele golf gemodelleerd kan worden. Uit de golfsnelheden en -hoogten kunnen de krachten op een constructie bepaald worden.

ODIFLOCS wordt vooral in de laatste fase van het ontwerpproces toegepast. Weliswaar kennen de berekeningen in ODIFLOCS een aantal vereenvoudigingen, de resultaten zijn alleen nodig in de laatste fase van het ontwerpproces.

### **SKYLLA**

SKYLLA heeft hetzelfde toepassingsgebied als ODIFLOCS. Dit programma gebruikt echter een niet-gesimplificeerde theorie om de golfontwikkeling te modelleren. Hierdoor vergt een simulatie in dit programma veel meer rekentijd. De resultaten zijn echter zeer nauwkeurig.

SKYLLA werkt in een 2-D ruimte. Het grid wordt uitgezet over de diepte en over een as loodrecht op de helling van de constructie. De ontwikkeling van golven over de diepte wordt dus ook meegenomen. In elk gridpunt worden elke tijdstap de formules opgelost. Door de gecompliceerdheid van de gebruikte formules is het nodig dat de tijd- en lengtestappen kleiner zijn dan in ODIFLOCS. Verder is het te beschouwen gebied een dimensie groter dan in ODIFLOCS. Door deze invloeden is er zeer veel rekentijd nodig om een simulatie uit te voeren.

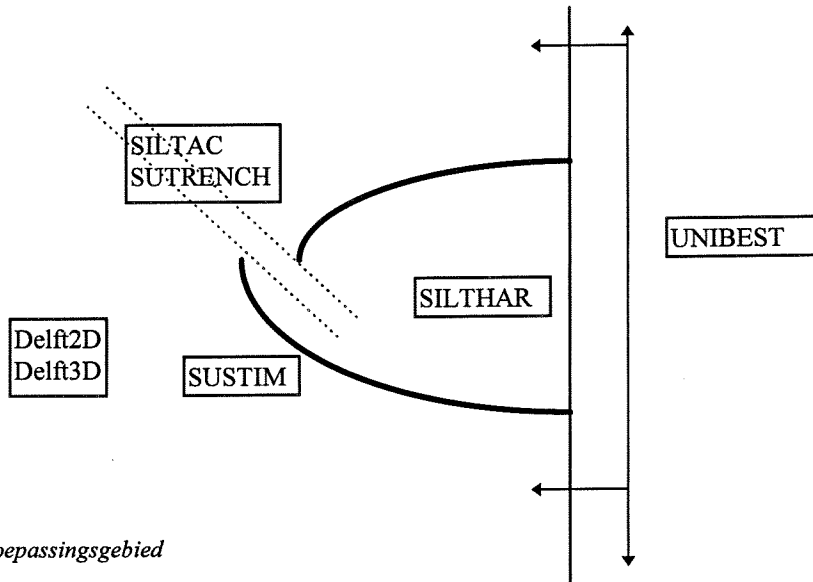
Het programma is slechts bruikbaar op zeer snelle computers door de lange rekentijd. Er moeten nog enkele verbeteringen worden geïmplementeerd. Zo moet het programma bijvoorbeeld nog geschikt gemaakt worden om een niet-uniform golfveld te behandelen.

### A3.10 Overzicht computerprogramma's voor havenontwerp

In de onderstaande figuren zal een overzicht gegeven worden van alle in dit rapport beschreven computerprogramma's.

#### Toepassingsgebieden sedimentatie modelleringsprogramma's

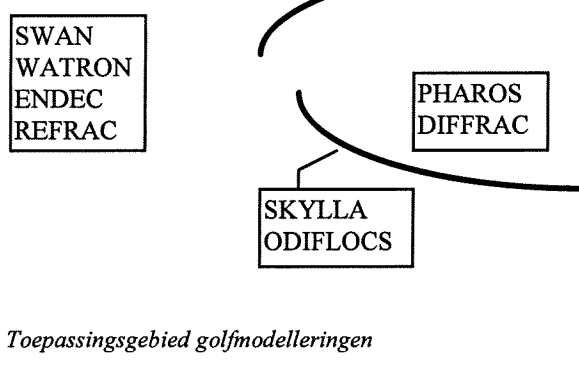
In figuur A3.3 wordt geschetst op welke plekken in de buurt van een haven het gebruik van de verschillende modelleringsprogramma's voor de bepaling van stromingen en de daaruit voortvloeiende sedimentatie, erosie en sedimenttransporten, van belang kunnen zijn.



Figuur A3.3: Toepassingsgebied

#### Toepassingsgebieden golfmodelleringsprogramma's

In figuur A3.4 zijn de plaatsen, waar de modelleringsprogramma's voor bepaling van de ontwikkeling van golven gebruikt kunnen worden, geschetst.



Figuur A3.4: Toepassingsgebied golfmodelleringen

### Samenvatting computerprogramma's

In tabel A3.1 is een korte samenvatting gegeven van alle beschreven computerprogramma's.

Programma	Paragraaf	Doel	Toepassingsgebied	Berekening over	Bijzonderheden	Fase gebruik
GIS	3.1	Gegevens aan plaats binden	Gehele omgeving	Gridpunten	Plaats en volumes	Detail
CAD	3.1	Gegevens aan plaats binden	Gehele omgeving	Raaien	Schuiven met lijnen	Detail/globaal
SCATTER	3.14	Presentatie hydraulische condities	Bouwlokatie	Databases	Enkele berekeningen	Detail/globaal
SWAN	3.6	Golfvoortplanting	Open zee- lokatie	3-D Grid	Richtingsspreiding	Detail
WATRON	3.6	Golfvoortplanting	Open zee- lokatie	Raaien	xx	Globaal
ENDEC	xx	Golfvoortplanting	Open zee- lokatie	Raaien	Breken en bodem	Globaal/detail
REFRAC	xx	Golfvoortplanting	Open zee- lokatie	Raaien	Constante energie	Globaal
PHAROS	6.1	Golfindringing havens	Haven	2-D Hor. Grid	Lange/korte golven	Detail
DIFFRAC	6.1	Golfindringing havens	Haven uniforme diepte	Basins	Geen bodeminvloeden	Globaal/detail
SKYLLA	6.9	Golven op verlopende bodem	Constructies hard/zacht	2-D Vert. Grid	Fase niet gemiddeld	Zeer detail
ODIFLOCS	6.9	Golven op verlopende bodem	Constructies hard/zacht	Raai/tijdstappen	Fase niet gemiddeld	Detail
BAS	6.2	Down-time schip aan kade	Reactie afgemeerd schip	Tijdstappen	Fender- troskrachten	Detail
Delft2D	6.3	Stromingen en gevolgen	Kusten, estuaria	2-D Grid	Meerdere aspecten	Globaal/detail
Delft3D	6.3	Stromingen en gevolgen	Kusten, estuaria	3-D Grid	Meerdere aspecten	Detail
SUSTIM	6.4	Sedimenttransport	Harde objecten	3-D Grid	Fijn zand	Detail
SILTAR	6.4	Sedimenttransport	Haven basins	Verschil in-uit basin	Uitsluitend havenbasins	Globaal
UNIBEST	6.4	Sedimenttransport	Kust	Lijn/1-D/2-D Grid	Transport en sedimentatie	Detail
SILTAC	6.4	Sedimenttransport	Vaargeulen	Raaien	Gesuspendeerd materiaal	Globaal
SUTRENCH	xx	Sedimenttransport	Vaargeulen	Gridpunten	Geen brekende golven	Detail
SHIPMA	6.5	Manoeuvrbaarheid in vaargeul	Vaargeulen	Raai/tijdstappen	Besturingskenmerken	Detail/globaal
HARAP	6.6	Dieptecontrole vaargeul	Vaargeulen	Raai/tijdstappen	Kans bodemcontact	Detail
PROSIM	6.7	Capaciteit havenonderdelen	Haven	Tijdstappen	Wachttijden	Detail
BREAKWAT	6.8	Rubble mound/berm golfbrekers	Kruin, berm, materiaal	Formules	Risico-acceptatie	Globaal/detail

Tabel A3.1 : Samenvatting computerprogramma's voor zeehavenontwerp





# Bijlage B1:      Ontwerpvariabelen en afhankelijkheden

## B1.1 Inleiding

De ontwerpvariabelen zijn de onderdelen van een haven waar de ontwerper tijdens het ontwerpproces zijn eigen invulling aan kan geven.

Eén van de eerste fasen van het ontwerpproces van een zeehaven is het genereren van alternatieve ontwerpen. Hoewel deze ontwerpen op basis van creativiteit gemaakt worden, is kennis over de verschillende onderdelen van het ontwerp onontbeerlijk. Het uiteindelijke ontwerp dient aan alle eisen te voldoen en om dit te bereiken wordt er met iteratieslagen teruggekoppeld naar de ontwerpfase. Het aantal benodigde iteratieslagen is afhankelijk van de kwaliteit van het oorspronkelijke ontwerp.

Bij het genereren en aanpassen van ontwerpen dienen de onderlinge afhankelijkheden tussen de verschillende variabelen in een ontwerp beschouwd te worden. Gebonden aan deze afhankelijkheden is een ontwerper niet volledig vrij in het maken van een ontwerp.

In deze bijlage worden puntsgewijs alle ontwerpvariabelen in een zeehavenontwerp beschreven. Alle aspecten waar de ontwerper rekening mee moet houden, worden kort beschreven. De beschrijving van een variabele zal worden afgesloten met een samenvatting in de vorm van een afhankelijkheidsdiagram. Gedurende het ontwerpproces worden de ontwerpvariabelen niet afzonderlijk beschouwd, maar wordt het geïntegreerde beeld van de totale haven in ogenschouw genomen. Ten behoeve van de overzichtelijkheid worden de verschillende variabelen hier toch afzonderlijk behandeld. Het geïntegreerde beeld volgt uiteindelijk uit de samenvoeging van de afhankelijkheidsdiagrammen, welke in paragraaf B1.9 tot stand komt.

### “Lay-out”

De eerste alternatiefontwerpen bestaan uit schetsen van de lay-out van een haven. De dimensies worden niet gekwantificeerd, slechts de plaats en de richting van de verschillende ontwerpvariabelen. De onderdelen in een haven worden schematisch voorgesteld door lijnen. De dimensies moet echter wel in de gaten gehouden worden om te voorkomen dat de verschillende onderdelen elkaar overlappen. Met lay-out wordt in dit hoofdstuk de plaats en de richting van het behandelde onderdeel in een haven bedoeld.

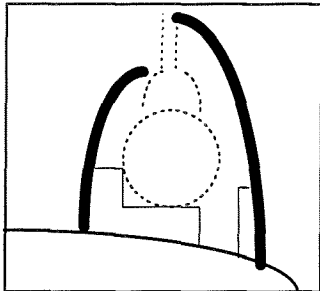
### Overzicht ontwerpvariabelen

Een haven kan uitgevoerd worden als offshore haven, als SBM, of als haven aan de kust (Figuur B1.1). Schepen kunnen ook aanleggen aan een open jetty. Dit kan alleen wanneer de golven laag genoeg zijn. Dezelfde beschrijving van de variabelen als voor een aan de kust gelegen haven kan voor een jetty gebruikt worden. Echter er worden hierbij geen golfbrekers aangelegd.

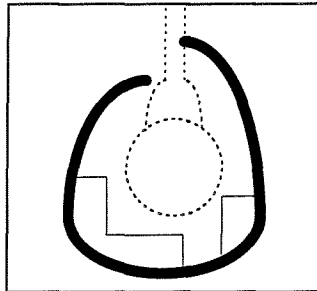
De beschrijvingen voor de golfbrekers en de vaargeulen zijn voor de offshore haven en de aan de kust gelegen haven analoog.

Vanwege de beperkte ruimte in een offshore haven worden de goederen vaak direct overgeslagen naar het vasteland. De lay-out van de kades verschilt daardoor met die in een haven aan de kust. Voor de benodigde lengtes en tussenaafstanden van de kades speelt dit geen rol. Voor de beschrijvingen van de kades wordt uitgegaan van een haven aan de kust.

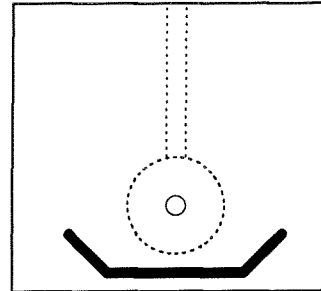
Bij een SBM worden geen binnenvaargeulen aangelegd. De beschrijvingen voor binnenvaargeulen en havenbassins gelden daarom niet voor SBM's.



*Figuur B1.1a: Kusthaven*

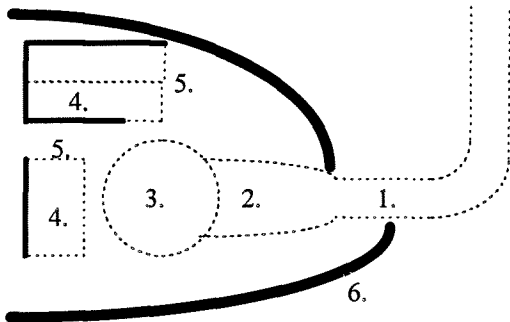


*Figuur B1.1b: Offshore haven*



*Figuur B1.1c: SBM*

In figuur B1.2 wordt een overzicht gegeven van de variabelen die onderdeel uitmaken van de vaarwegen. Tevens staan de kades hierin aangegeven. In paragraaf B1.3 wordt de buitenvaargeul beschreven, in paragraaf B1.4 de binnenvaargeul, paragraaf B1.5 behandelt de draaibassins en paragraaf B1.6 de havenbassins. De kades worden beschreven in paragraaf B1.7.

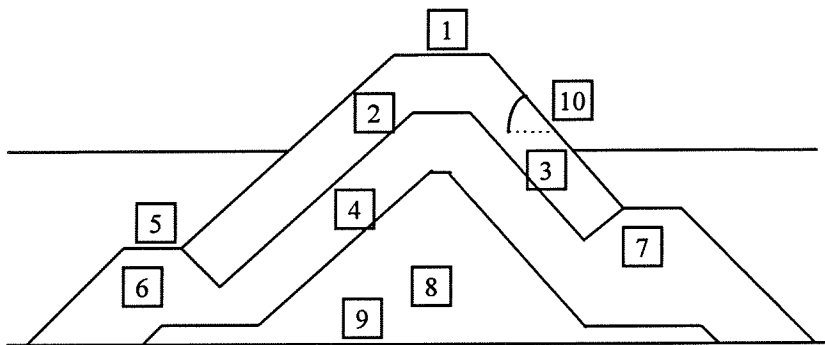


*Figuur B1.2: Vaarwegen en kades*

1. Buitenvaargeul
  - Breedte
  - Diepte
  - Lay-out
2. Binnenvaargeul
  - Breedte
  - Diepte
  - Lay-out
3. Draaibassin
  - Diameter
  - Diepte
  - Plaats
4. Havenbassins
  - Breedte
  - Diepte
  - Lay-out
5. Kades

- Type kade
- Lengtes
- Lay-out
- 6. Golfbrekers
  - Type
  - Dimensies
  - Lay-out

In figuur B1.3 staan de onderdelen van een rubble mound golfbreker aangegeven. Deze worden in paragraaf B1.8 behandeld.



**Figuur B1.3 :** Onderdelen rubble mound golfbreker

1. Kruin
2. Beschermlaag
3. Achterbeschermlaag
4. Tussenlagen
5. Berm
6. Teen
7. Achterteen
8. Kern
9. Filter
10. Hellingen

Naast deze fysieke ontwerpvariabelen bestaan er tevens enkele niet-fysieke ontwerpvariabelen. Niet-fysieke ontwerpvariabelen zijn onderdelen in een havenontwerp die in het fysieke uiterlijk en de lay-out niet aanschouwd kunnen worden.

De niet-fysieke ontwerpvariabelen zijn (zie paragraaf B1.2):

1. Acceptatie risico
2. Acceptatie vertraging
3. Vensters
4. Verkeersregulering

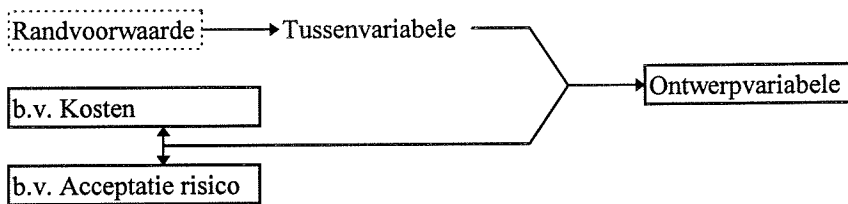
### **Uitleg afhankelijkheidsdiagrammen**

De beschrijvingen van de ontwerpvariabelen worden afgesloten met een samenvatting in de vorm van een afhankelijkheidsdiagram. De afhankelijkheidsdiagrammen hebben als doel een snelle en overzichtelijke indruk te geven van de afhankelijkheden binnen een havenontwerp.

De afhankelijkheidsdiagrammen dienen van links naar rechts gelezen te worden. Aan de linkerzijde van het diagram staat aangegeven welke aspecten en variabelen bekend moeten zijn voor de bepaling van de aan de rechterzijde genoemde ontwerpvariabele. Hierbij staan in de blokjes met onderbroken omlijning de randvoorwaarden, welke beschreven zijn in bijlage A1 van dit rapport. De blokjes met gesloten omlijning geven ontwerpvariabelen aan, welke in dit hoofdstuk beschreven worden. Tussen de linkerzijde en de rechterzijde van het diagram kunnen tussenvariabelen aangegeven zijn. Deze zijn slechts in de diagrammen opgenomen om te verduidelijken op welke wijze een variabele van een andere variabele of van een randvoorwaarde afhankelijk is.

De pijlen geven aan dat een variabele of randvoorwaarde leidt tot een ontwerpvariabele. De te bepalen variabele staat dus achter het pijltje en is afhankelijk van de variabele, waar het pijltje vandaan komt. Een dubbel pijltje tussen twee variabelen geeft aan dat er een afweging gemaakt moet worden tussen deze twee. Een verandering in de ene variabele impliceert een verandering in de andere.

Enkele variabelen zijn omwille van de overzichtelijkheid onderverdeeld in onderdelen. De beschrijving van deze onderdelen wordt afgesloten met een afhankelijkheidsdiagram waarin alle onderdelen zijn verwerkt.



*Afhankelijkheidsdiagram B1.0 : Uitleg afhankelijkheidsdiagram*

## B1.2 Niet-fysieke ontwerpvariabelen

De niet-fysiek ontwerpvariabelen worden hier als ontwerpvariabelen beschouwd omdat ze kunnen veranderen tijdens het ontwerpproces. In beginfasen van het ontwerpproces worden de acceptatie vertraging en acceptatie risico vaak echter als eis beschouwd. Wanneer het ontwerp verder ontwikkeld is, kan de norm in overleg met de opdrachtgever verworpen worden en kan er onderbouwd een afweging gemaakt worden tussen kosten voor fysieke ontwerpvariabelen en de acceptatie van vertraging en risico.

De niet-fysieke ontwerpvariabelen worden altijd tezamen met fysieke (geld kostende) variabelen bepaald. Het gebruik van de niet-fysieke ontwerpvariabelen kan een reductie opleveren in de kosten voor de fysieke variabelen. Het gebruik ervan gaat echter wel vaak gepaard met verlies aan capaciteit van de haven, of verlies aan gemak voor de schepen.

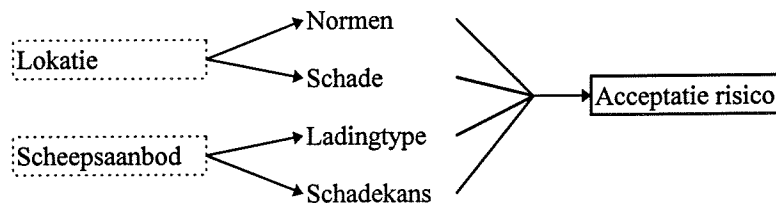
### B1.2.1 Acceptatie risico

Risico wordt gedefinieerd als het produkt van de kans op schade en de schade zelf. Risico is nooit geheel uit te sluiten, het is alleen terug te brengen tot een acceptabel niveau. Er bestaat altijd een kans op schade. Door maatregelen te nemen, bijvoorbeeld door de kruinhoogte van golfbrekers zeer hoog te maken, kan de kans op schade klein gemaakt worden. Dit brengt echter vaak te hoge kosten met zich mee.

Schade kan bestaan uit schade aan schepen, schade aan goederen, schade aan milieu, schade aan landmaterieel, overlijden van mensen (zeer onacceptabel), schade aan industrie en huizen op land en vertraging voor schepen doordat vastgelopen schepen de vaargeulen versperren. Wat acceptabel is, is een keuze van de ontwerper, of een keuze die genormeerd is door externen zoals de lokale overheid.

Door verkeersreguleringen, instellen van vensters en acceptatie van vertragingen kan het risico op een acceptabel niveau gehouden worden zonder de kosten te hoog te laten worden.

De mate waarin risico geaccepteerd wordt, is afhankelijk van de lokatie, omdat er op elke lokatie andere normen kunnen gelden. Tevens blijkt uit de lokatie of er veel schade kan optreden aan de bebouwing en het leven om de haven heen. Verder is de acceptatie van het risico afhankelijk van het scheepsaanbod. Wanneer er gevaarlijke lading vervoerd wordt, moet er minder kans op schade zijn. Bij een hoge intensiteit van grote schepen is de kans op schade relatief groot.



*Afishankelijkheidsdiagram B1.1 : Acceptatie risico*

## B1.2.2 Acceptatie vertraging

In een haven ontstaan altijd wachttijden voor schepen. Deze wachttijden kunnen op verschillende plekken in de haven ontstaan, bijvoorbeeld tijdens het laden en lossen, tijdens getijdenvensters, bij voorrangssituaties en bij het bezwijken van de golfbrekers.

Bepaalde vertragingen zullen altijd een minimale tijd vergen. Op deze minimale wachttijden heeft de ontwerper geen invloed. Vele wachttijden die kunnen ontstaan voor schepen in een haven kan de ontwerper echter wel beïnvloeden. Zo kan de ontwerper bijvoorbeeld besluiten een getijdenvenster in te stellen, hij kan de golfbrekers hoger of sterker maken, hij kan meerdere vaarbanen binnen de vaargeulen laten baggeren en hij kan effectiever overslagmaterieel gebruiken. Al deze maatregelen kosten geld en vertragingen kunnen er nooit volledig mee worden uitgesloten. Er zal een afweging gemaakt moeten worden tussen kosten en accepteren van vertragingen.

De tijden dat er niet gevaren, geladen of gelost kan worden, terwijl schepen hier wel gereed voor zijn, wordt down-time genoemd. Deze down-time moet op een acceptabel niveau blijven. Hierbij moet zowel gedacht worden aan de gemiddelde down-time als de down-time voor een individuele schip. Wat acceptabel is, wordt bepaald door de ontwerper.

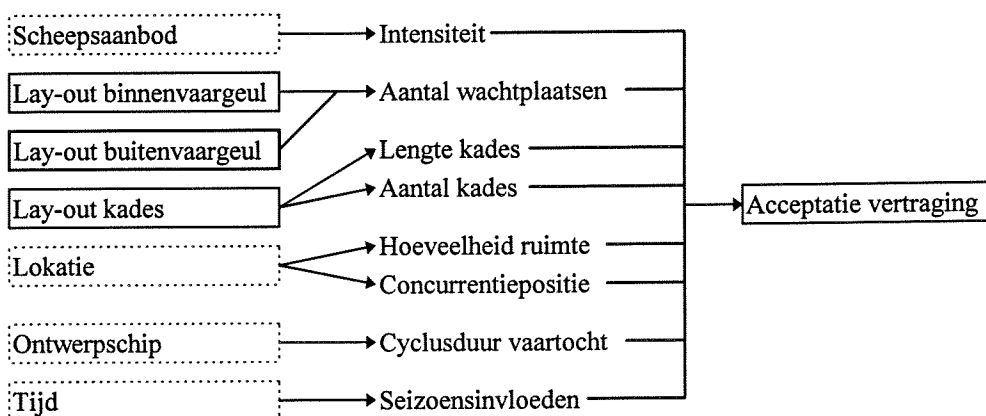
De mate waarin vertragingen geaccepteerd worden, is afhankelijk van de lay-out van de vaargeul en die van de haven. Wanneer er namelijk wachtplaatsen zijn aangelegd in de haven of in de vaargeul is het gemakkelijker om in te spelen op vertragingen.

Verder is de acceptatie van vertraging afhankelijk van de lokatie van de haven. Vertraging zorgt namelijk voor een verlies aan concurrentiepositie. De concurrentiepositie van een haven kan nog verder verslechterd worden als de kosten voor wachtende schepen erg hoog zijn. Lage aanlegkosten van een haven kunnen ook leiden tot lage havengelden, welke schepen moeten betalen voor het gebruik van de haven.

De individuele down-time van een schip mag niet te hoog worden en aan de totale gemiddelde down-time van alle schepen die de haven aandoen worden ook eisen gesteld. In drukke seizoenen kan de down-time heel hoog worden, terwijl door de invloed van de rustige seizoenen de jaarlijkse gemiddelde down-time aan de eisen voldoet.

Voor bepaalde schepen is de down-time in een haven slechts een marginaal deel van de totale duur van zijn vaartocht. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer het laden en lossen van een schip erg lang duurt, of wanneer er grote afstanden worden afgelegd.

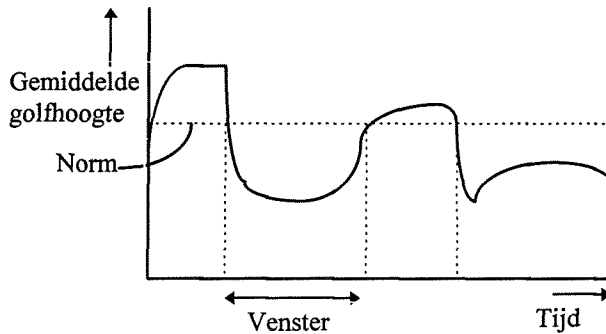
Wanneer het scheepsaanbod groot is, kan een aantal wachtende schepen positief werken voor de bezettingsgraad, de tijd die een onderdeel per tijdseenheid effectief wordt benut, van de verschillende onderdelen van de haven.



Afhankelijkheidsdiagram B1.2 : Acceptatie vertraging

### B1.2.3 Vensters

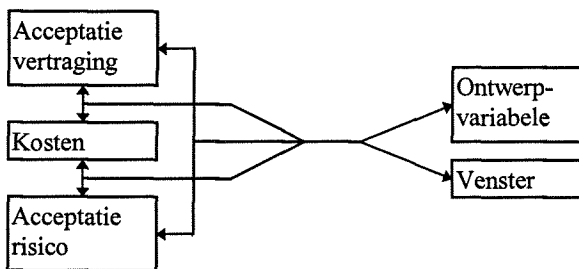
Vensters verbieden bepaalde schepen het gebruik van vaargeulen of faciliteiten bij bepaalde omstandigheden. Buiten het venster mogen schepen geen gebruik maken van het onderdeel van de haven waar het venster op van toepassing is (Zie figuur B1.4).



Figuur B1.4 : Voorbeeld van een venster

Vensters kunnen bijvoorbeeld worden ingesteld voor omstandigheden zoals lage waterstanden (getijdenvenster), sterke stroming (stromingsvenster), harde wind en hoge golven. Schepen kunnen ook geboden worden hun snelheid te beperken in een vaargeul (snelheidsvenster).

Vensters zorgen voor een besparing op de kosten en een verlaging van het risico. Vensters zorgen echter wel voor een vergroting van de down-time binnen een haven. Tussen deze drie variabelen moet een afweging gemaakt worden om de dimensies van een venster te bepalen. Een vergroting van een venster leidt tot een vergroting van de dimensies van een ontwerpvariabele. Een voorbeeld hiervan is dat wanneer een getijdenvenster vergroot wordt, de vaargeul dieper gebaggerd zal moeten worden.



Afhankelijkheidsdiagram B1.3 : Vensters

### B1.2.4 Verkeersregulering

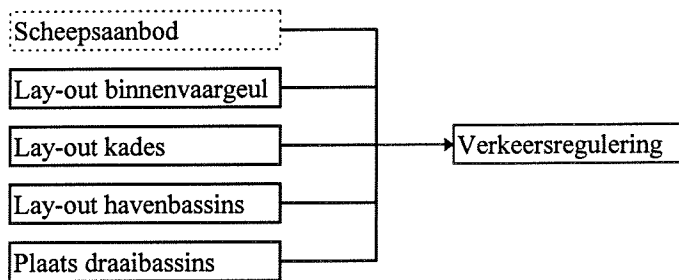
Door het reguleren van de verkeersstromen kan een capaciteitswinst binnen de haven ontstaan. De verkeersregulering uit zich in voorrangregels en informatieverschaffing daaromtrent aan de schippers. De wijze waarop de informatie aan de schippers gegeven kan worden, is een randvoorwaarde waar de ontwerper geen invloed op heeft. Bij het ontwerpen van de haven kan de ontwerper voorrangregels bedenken om daarmee zijn ontwerp te optimaliseren.

Er kunnen wat betreft de down-time in een haven eisen bestaan die aangeven wat de vertraging voor een individueel schip mag zijn en er kunnen eisen bestaan voor de totale gemiddelde down-time in een

haven, wat een maat is voor de capaciteit. Voorrangregels kunnen de wachttijden voor een individueel schip vergroten, maar bij een juist verkeersreguleringsontwerp ontstaat een verlaging van de totale gemiddelde down-time in een haven.

Een voorbeeld van een voorrangssituatie is: Een groot schip mag eerder van de vaargeul gebruik maken dan een langer wachtend, kleiner schip, zodat zij beiden nog binnen het getijdevenster de vaargeul kunnen gebruiken. Een ander voorbeeld: Een schip moet enige tijd wachten voor hij in een draaibassin zijn manoeuvres mag maken, zodat enkele andere schepen eerst kunnen passeren.

De mate waarin de verkeersstromen gereguleerd dienen te worden, hangt af van de lay-out van de haven. Wanneer er in de haven veel ruimte aanwezig is, leidt de verkeersstroom zichzelf. Bij grote verkeersintensiteit is er grotere kans dat de verkeersstroom regulering behoeft.



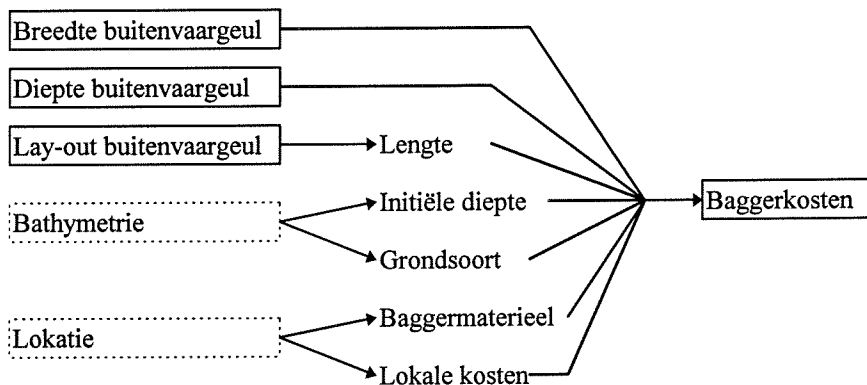
*Afhankelijkheidsdiagram B1.4 : Verkeersregulering*



## B1.3 Buitenvaargeul

De buitenvaargeul heeft als doel de schepen naar de haven te leiden. De waterdiepte in de omgeving van een haven is vaak niet voldoende om schepen veilig te kunnen laten aankomen en vertrekken. Om de haven toegankelijk te maken, wordt er een vaargeul gebaggerd waarin de waterdiepte wel voldoende is.

De kosten voor de buitenvaargeul bestaan uit de baggerkosten. De baggerkosten zijn afhankelijk van de hoeveelheid baggerwerk en de kosten per eenheid baggerwerk, die afhankelijk zijn van de lokatie.



Afhankelijkheidsdiagram B1.5 : Baggerkosten buitenvaargeul

### B1.3.1 Breedte buitenvaargeul

Schepen zijn over het algemeen niet in staat parallel aan de kanaalas te blijven varen. Dwarskrachten, zoals die veroorzaakt door dwarsstroming, zorgen ervoor dat het schip onder een hoek moet varen. De roerkracht is dan de tegenkracht die voor evenwicht zorgt.

Zelfs wanneer dwarskrachten afwezig zijn, volgt een schip niet een rechte lijn. De breedte, waarover het schip vaart, is afhankelijk van het uitzicht van de navigator, de positie-informatie die de navigator krijgt, de manoeuvreerbaarheid van het schip en de capaciteiten van de schipper.

Met de breedte van de buitenvaargeul, zoals die in deze paragraaf beschreven wordt, wordt de breedte van de vaargeul ter plaatse van de bodem bedoeld. Over de hoogte van de geul neemt deze breedte nog toe omdat het bodemmateriaal, door de hoek van inwendige wrijving, niet in staat is een hoek van  $90^\circ$  te maken met de bodem.

De breedte van de vaargeul moet per sectie beschouwd worden. Na elke bocht zijn dwarsstroming, golven en wind in richting veranderd, wat invloed heeft op de benodigde breedte.

De aspecten die invloed hebben op de benodigde breedte worden hieronder puntsgewijs behandeld.

#### Snelheid van het schip

De invloeden van wind en stroming zijn bij lage snelheden van het schip duidelijker merkbaar in het manoeuvreren van het schip dan bij hoge snelheden. Voor de invloed van golven en de aanwezigheid van banken geldt het omgekeerde.

Er moet gerekend worden, bij de bepaling van onder andere squat met de relatieve snelheid van het schip ten opzichte van golven, stroming en wind.

### **Informatie**

De positie-informatie kan bestaan uit boeien, die de zijanten van het kanaal aangeven, of een radar op het schip, die duidelijk verschaft over de omgeving. De lichten op de boeien moeten verschillen van de lichten op de kust om verwarring te voorkomen. Met goede positiebepaling heeft de navigator minder problemen het schip in een rechte lijn te sturen.

Wanneer er goede informatie over wind, stroming en golven wordt verschaft, komt de navigator niet voor verrassingen te staan. Dat de breedte van de werkelijk gevolgde baan hiermee kleiner wordt, heeft invloed op de ontwerpbreedte van de toegangseul.

### **Mens als navigator**

Iedere navigator reageert anders op situaties en elke navigator reageert op verschillende tijdstippen ook nog anders. De breedte die werkelijk bevaren wordt, is daarom niet precies te voorspellen.

### **Bochten**

In bochten liggen schepen meer scheef dan op rechte vaargeulstukken. De breedte van de vaargeul moet in bochten daarom groter zijn.

Het verwijden van de vaargeul in bochten moet geleidelijk gaan. Navigators moeten zich instellen op veranderende omstandigheden. Tevens moet een verandering van de invloed van de banken niet plotseling merkbaar zijn. De schipper moet zich daar geleidelijk op instellen.

Achter bochten hebben schepen nog tijd nodig om zich in te stellen op de nieuwe omstandigheden. Hun padbreedte is nog enige tijd wat groter dan op rechte lijnstukken. De breedte van de vaargeul moet daarom geleidelijk afnemen en niet abrupt.

### **Basisbreedte**

De padbreedte van een schip hangt af van de scheepskarakteristiek manoeuvreerbaarheid. Deze hangt af van de vorm van het schip, de grootte ervan en de aanwezigheid van ondersteunende attributen zoals zijroeren en 'bow thrusters'.

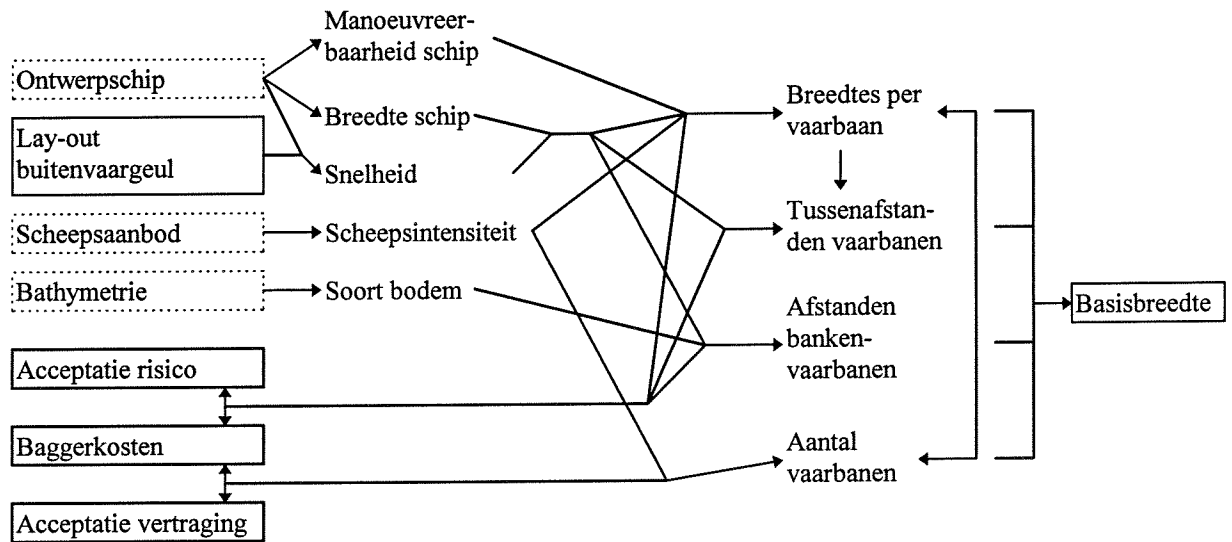
Schepen gebruiken een grotere padbreedte dan de ontwerppadbreedte. De ontwerper moet voor de breedte van de veiligheidsstrook een afweging maken tussen risico op botsingen en aanvaringen met de wal en kosten voor extra baggeren.

Wanneer het scheepsaanbod groot genoeg is, kan de vaargeulbreedte op twee of meer vaarbanen ontworpen worden. De ontwerper moet een keuze maken tussen extra baggeren voor een extra vaarbaan en het laten wachten van schepen in voorkomende gevallen. Deze eventuele tweede vaarbaan hoeft niet een breedte te hebben die benodigd is om het ontwerpschip veilig te laten manoeuvreren. De kans dat twee grote ontwerpschepen elkaar ontmoeten is namelijk klein. In voorkomende gevallen kan van schepen geëist worden dat ze snelheid minderen of dat ze wachten. De tweede vaarbaan kan daarom ontworpen worden op een kleiner ontwerpschip. Welk schip dit moet zijn, hangt af van het scheepsaanbod en de acceptatie van vertragingen voor schepen.

Varende schepen beïnvloeden elkaars gedrag tijdens het passeren. Bij hogere scheepsnelheden merken de schepen veel van elkaar. Schepen kunnen hier op inspelen door hun snelheden te verlagen. Bij hoge verkeersintensiteit zal deze snelheidsvermindering echter wellicht te vaak vertragingen opleveren.

Wanneer schepen moeten wachten zullen er in de haven of in de vaargeul voorzieningen moeten zijn, waar schepen kunnen wachten.

Tussen vaarbaan en bank moet enige veiligheidsafstand ontworpen worden. Dit om de risico's te verkleinen. Tevens moet dit gedaan worden omdat schepen tijdens het varen de invloed van de bank merken in hun gedrag. Bij rotsige bodems en snel varende schepen moet deze afstand groter zijn dan bij bodems bestaande uit slib en langzaam varende schepen. Grotere schepen kunnen eventueel gedwongen worden snelheid te minderen. Met deze maatregel kan het baggerwerk beperkt worden.

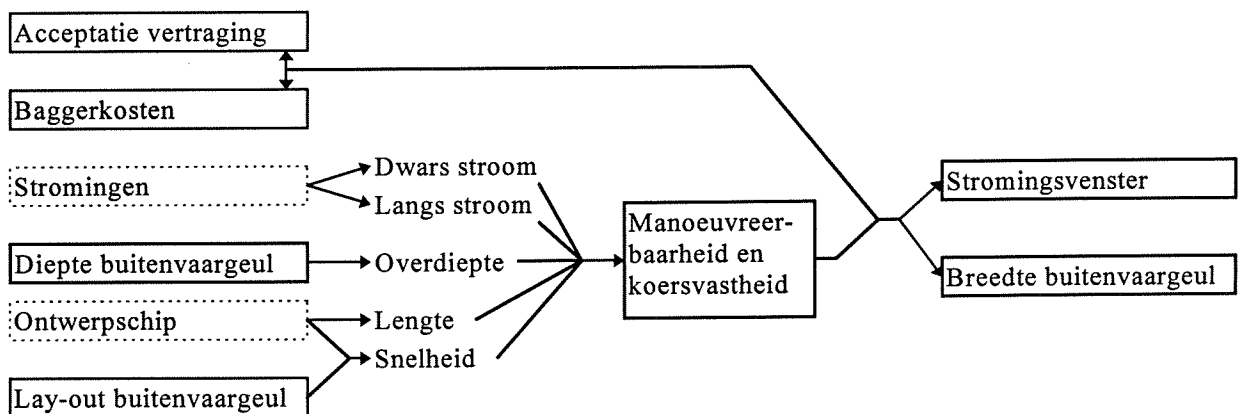


Afhankelijkheidsdiagram B1.6.1: Basisbreedte vaargeul

### Stroming

De dwarsstroming beïnvloedt het vermogen van een schip om een rechte koers te behouden. De langsstroming beïnvloedt de manoeuvreerbaarheid van een schip en zijn stoplengte.

De stroming kan dermate sterk zijn dat schepen de haven niet in of uit kunnen varen. Het risico op aanvaringen zou dan te groot worden. De ontwerper kan de ontwerpbreedte beperken door een stromingsvenster in te stellen. De schepen mogen dan bij hoge stroomsnelheden niet in- of uitvaren.



Afhankelijkheidsdiagram B1.6.2: Invloed stroming op breedte

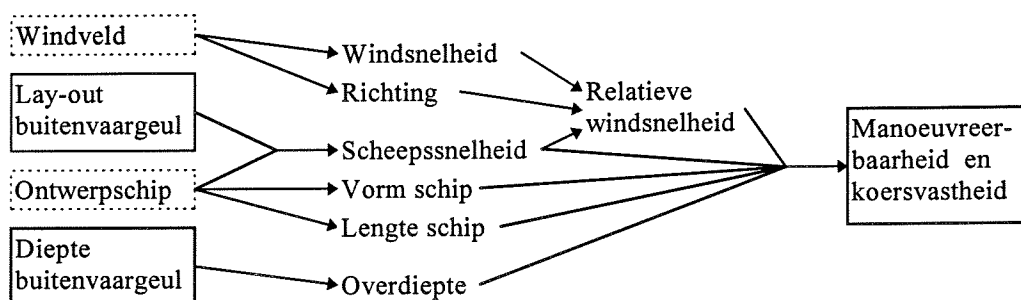
## Wind

De navigator stuurt het schip enigszins in de richting van de wind. Dit doet hij om een tegenkracht te bieden aan de wind en zodoende drift te verminderen. Er ontstaat hierdoor wel een drifthoek. Hierdoor is er een grotere breedte van de vaargeul nodig.

Wind heeft invloed op het gedrag van schepen bij elke scheepssnelheid, maar bij lage snelheden is de invloed het grootst.

Bij een kleine overdiepte is de invloed van wind relatief klein.

Het scheepstype is voor de windinvloed van belang. Gastankers, met een groot oppervlak boven water, worden bijvoorbeeld meer beïnvloed door wind dan containerschepen.



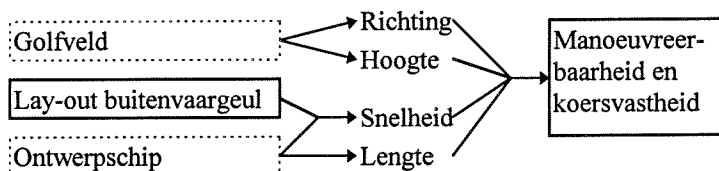
Afhankelijkheidsdiagram B1.6.3 : Invloed wind op breedte

## Golven

Golven slaan tegen de voorstevan van een schip en daarbij gaan krachten gepaard. Het opsturen van het schip moet voor krachtenevenwicht zorgen.

Een tweede fenomeen waarvoor golven kunnen zorgen, is een drift over het gehele schip in de richting van de golven.

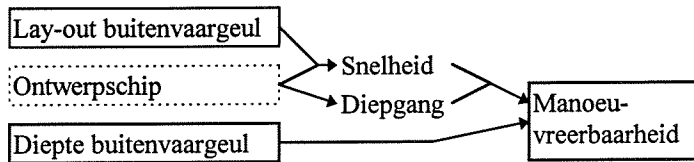
Wanneer de golflengtes en de golfhoogten groot zijn, wordt de manoeuvreerbaarheid van het schip meer beïnvloed dan bij kleine golflengtes en golfhoogten.



Afhankelijkheidsdiagram B1.6.4: Invloed golven op breedte

## Diepte

De manoeuvreerbaarheid van een schip neemt af met afnemende overdiepte. Veranderingen van bathymetrie kunnen voor een plotseling verlies van overdiepte zorgen, wat dus invloed heeft op de manoeuvreerbaarheid. Het probleem van abrupt verlies aan manoeuvreerbaarheid kan opgevangen worden door de schipper hierover van voldoende informatie te voorzien. De schipper kan hier dan rekening mee houden. Bij hogere scheepssnelheden is de squat groter en de overdiepte daardoor kleiner.

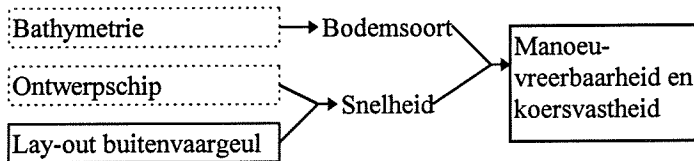


Afhankelijkheidsdiagram B1.6.5 : Invloed diepte op breedte

### Bodemsoort

Wanneer de bodem bestaat uit slib worden de snelheid van een schip, de drift en de drifthoek gereduceerd ten opzichte van die bij een harde bodem. Dit is het gevolg van de grotere weerstand van de bodem. De invloed van de aanwezigheid van slib op de manoeuvreerbaarheid van een schip is groter bij lage snelheden dan bij hoge scheepssnelheden.

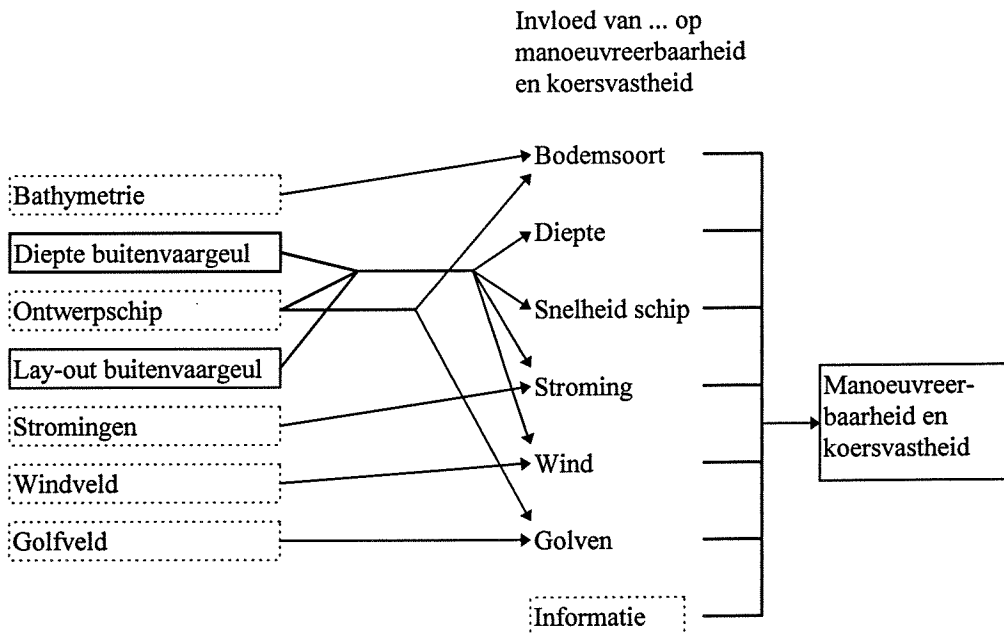
Bij een bodem bestaande uit slib, zijn de krachten en momenten in grootte en richting anders dan bij een harde bodem. Het schip reageert dus anders en de navigator moet zich daar op instellen. Vooral abrupte overgangen dienen speciale aandacht te krijgen.



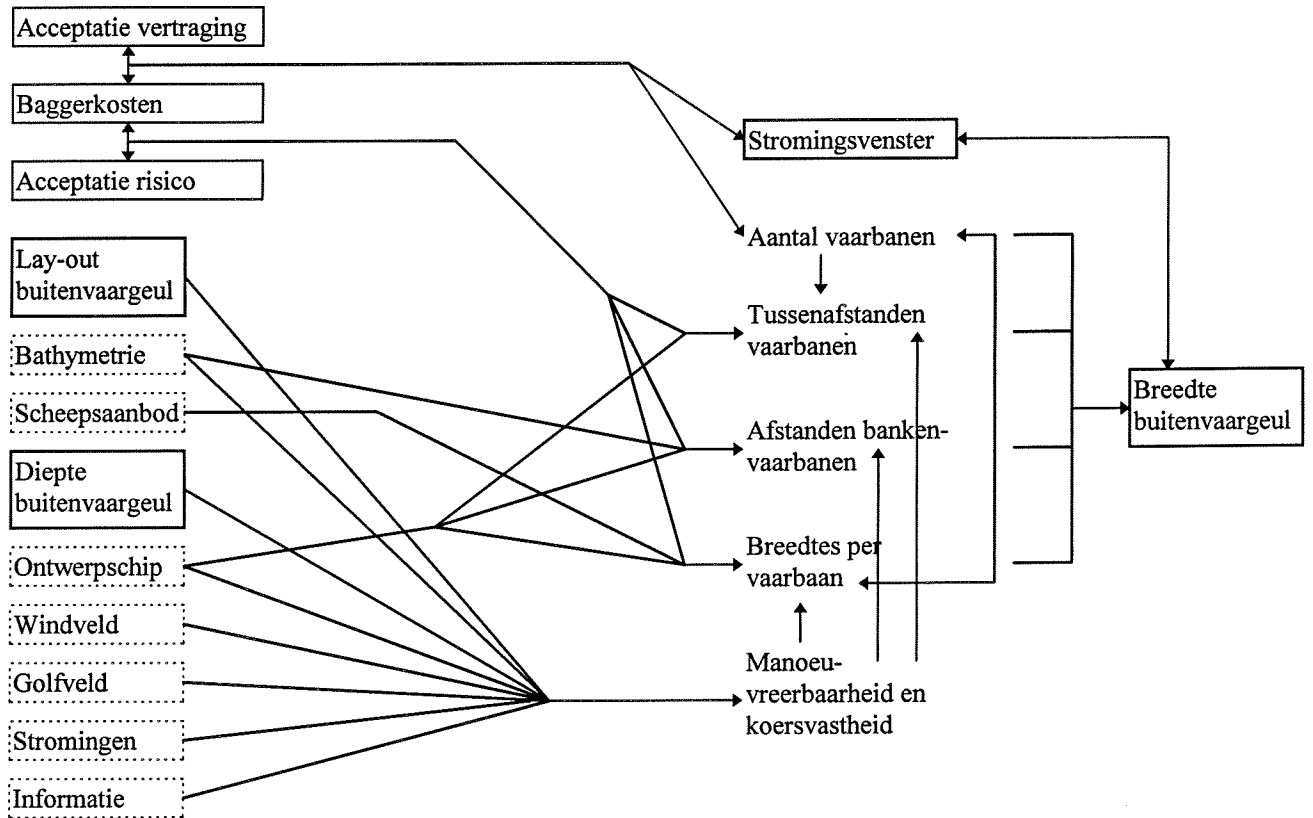
Afhankelijkheidsdiagram B1.6.6 : Invloed bodemsoort op breedte

### Samenvatting

In de onderstaande afhankelijkheidsdiagrammen wordt het bovenstaande samengevat.



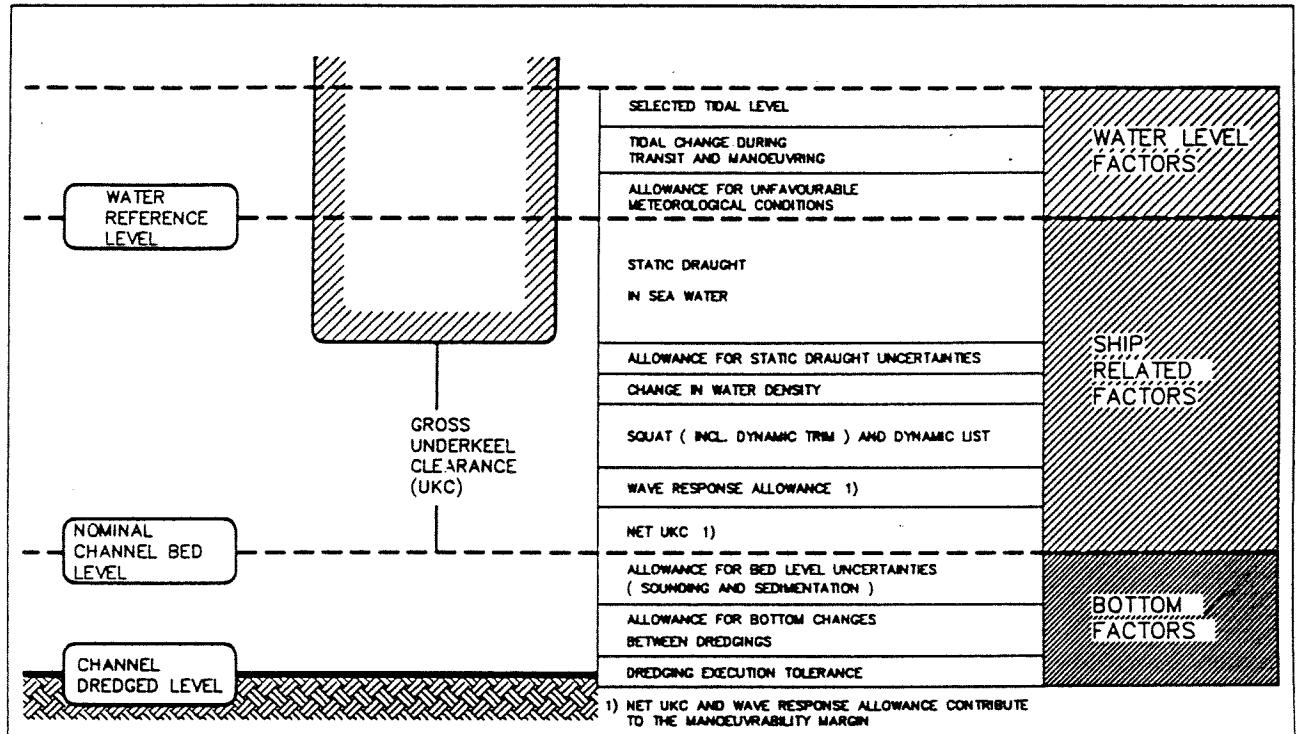
Afhankelijkheidsdiagram B1.6.7 : Invloeden op koersvastheid en manoeuvreerbaarheid



Afhankelijkheidsdiagram B1.6 : Breedte buitenvaargeul

## B1.2.2 Diepte

De ontwerpdiepte kan opgedeeld worden in verschillende onderdelen (Figuur B1.4).



Figuur B1.4 : Onderdelen in de ontwerpdiepte van de vaargeul

### Ontwerp waterhoogte

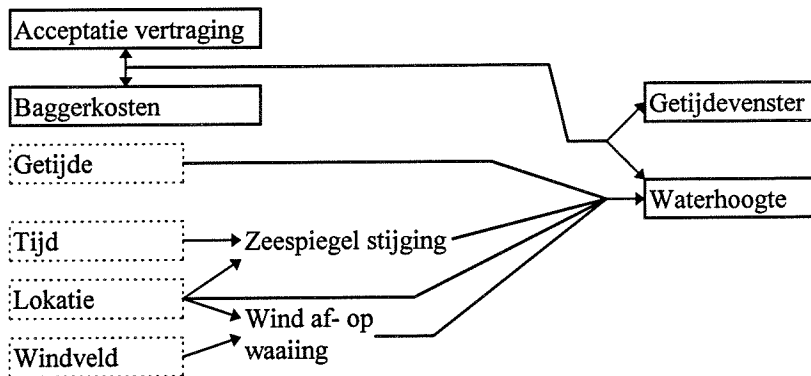
De waterhoogte verandert gedurende een getijdencyclus. De laagste waarde die de waterhoogte aanneemt kan als maatgevend beschouwd worden. Vaak wordt er echter een getijdenvenster ingesteld zodat een hogere waterhoogte als ontwerpmaat aangehouden kan worden.

Gedurende een passage van een schip door een lange vaargeul kan de waterhoogte significant veranderen. Het schip mag niet aan de grond lopen door een verlaging van de waterhoogte. Daarom moet voor het invaren van de vaargeul bekeken worden of de waterhoogte gedurende de gehele passage van de vaargeul voldoende zal blijven.

Bij de bepaling van de grootte van het getijdenvenster moet een optimum gevonden worden tussen extra baggeren en het laten wachten van schepen.

Gedurende de ontwerplevensduur van een haven zal de gemiddelde waterhoogte stijgen vanwege de zeespiegelstijging, die veroorzaakt wordt door het smelten van ijs op de noord- en zuidpool.

Door de wrijvingskracht van de wind kan plaatselijk en tijdelijk de waterhoogte hoger of lager worden. De grootte van dit fenomeen hangt af van de wind (richting, snelheid, duur) en de lokatie van de haven (vrije strijklengte).



Afhankelijkheidsdiagram B1.2.1 : Waterhoogte

### Reaktie schip op golven

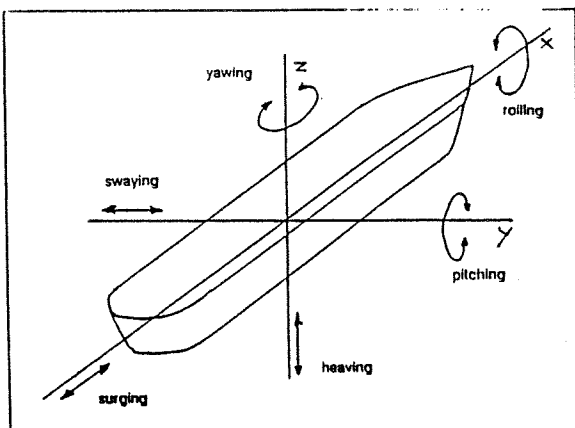
Een varend schip heeft 6 vrijheidsgraden van beweging (Figuur B1.5). Rollen (rotatie om de lengteas) is het meest gevoelig voor windgolven, omdat de eigenfrequentie hiervan dezelfde orde van grootte heeft als de frequentie van golven ( $T \approx 8s$ ).

Verschillende scheepstypen reageren verschillend op golven. Zij hebben elk hun typerende eigenfrequenties (voor elke vrijheidsgraad één).

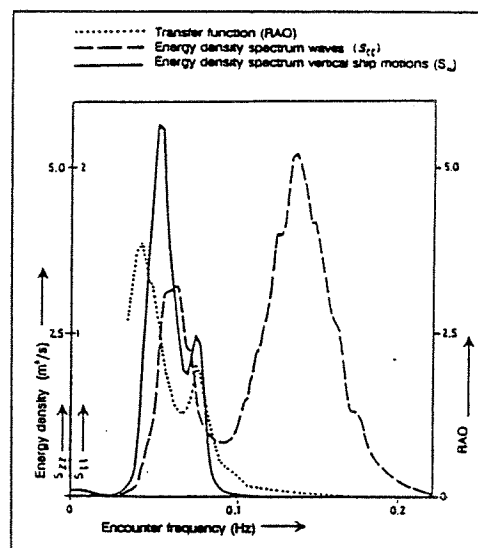
Elk schip heeft in elke richting een typerende transfer functie, welke de relaties tussen golven en scheepsreacties hierop definieert (Figuur B1.6).

Berekeningen moeten gemaakt worden met de relatieve snelheid van de golven, ten opzichte van het schip. Een schip ervaart een andere frequentie dan de golffrequentie wanneer golven schuin invallen en wanneer het schip voorwaartse snelheid heeft (Doppler effect).

Bepaalde schepen kunnen bij bepaalde golfcondities uitgesloten worden van het gebruik van de vaargeul (Golfvenster). Met deze maatregel kan het baggerwerk gereduceerd worden zonder dat het risico toeneemt. De vertragingen nemen hierdoor wel toe.

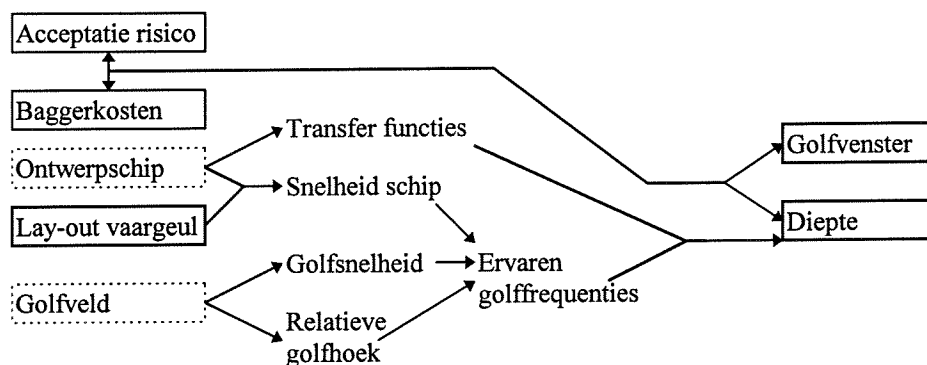


Figuur B1.5 : Vrijheidsgraden schip



Figuur B1.6 : Karakteristieke bewegingen schip onder golven





Afhankelijkheidsdiagram B1.2.2 : Reactie schip op golven

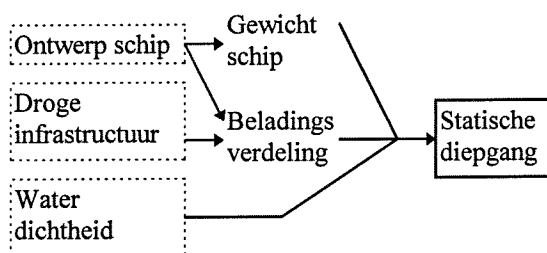
### Statische diepgang in zeewater

De diepgang van een stilliggende schip wordt bepaald door het gewicht van het geladen schip. Het eigen gewicht van het schip speelt hierbij een rol en tevens de hoeveelheid en de dichtheid van de lading.

Het op de romp van het schip geschilderde Plimsoll Mark geeft aan tot hoe diep een schip geladen mag worden. Wanneer dit Plimsoll Mark op het waterpeil staat is de maximale diepgang bereikt en mag niet zwaarder geladen worden.

De dichtheid van het water beïnvloedt de diepgang van een schip. Hoe hoger de dichtheid van het water is, hoe kleiner de diepgang.

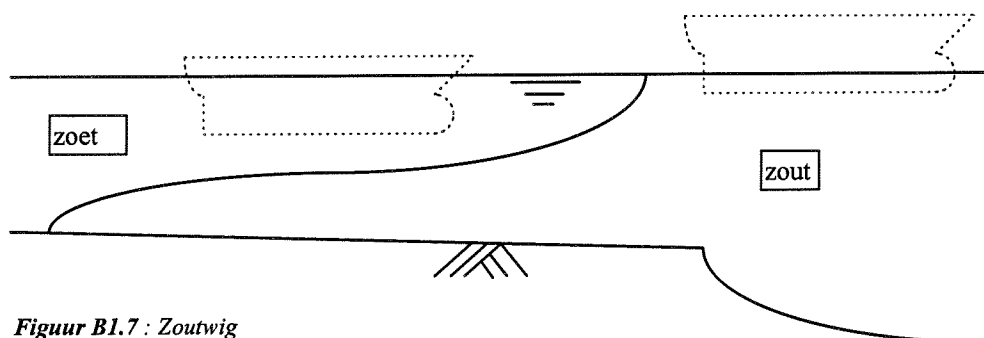
De lading moet evenredig over het schip verdeeld worden. Wanneer één zijde zwaarder belast wordt zinkt dit deel dieper. De maximaal optredende diepgang wordt hiermee groter. Het materieel waarmee het schip geladen wordt en de nauwkeurigheid waarmee dat gedaan wordt zijn van grote invloed hierop.



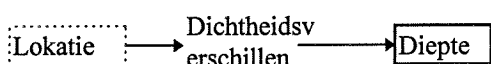
Afhankelijkheidsdiagram B1.2.3 : Statische diepgang

### Dichtheidsverschillen

Havens zijn vanwege de doorvoer vaak gelegen aan de mond van zoetwater-rivieren. Op deze plek komen zoet en zout water in contact met elkaar en ontstaat er een interactie. Door stromingen die onder andere ontstaan door getijdeveranderingen is er geen evenwicht. De situatie verandert continue. Het zoute water, met grotere dichtheid, stroomt in een wig onder het zoete water. De diepgang van een schip is groter in zoet water dan in zout water.



*Figuur B1.7 : Zoutwig*



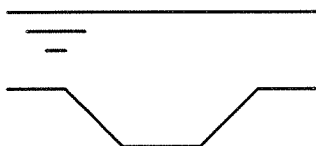
*Afhankelijkheidsdiagram B1.2.4 : Dichtheidsverschillen*

### Dynamische diepgang

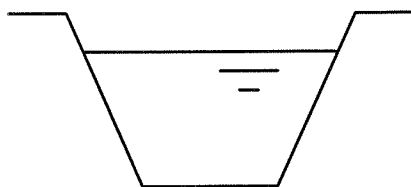
Een schip met voorwaartse snelheid verdringt het water aan zijn boeg. Het water gaat naar de achterzijde van het schip stromen. De hoeveelheid energie in het water, die bestaat uit de som van de potentiële energie en de kinetische energie, blijft echter constant. Aangezien het water gaat stromen en de hoeveelheid kinetische energie dus toeneemt, moet de hoeveelheid potentiële energie afnemen. De hoogte van de waterspiegel ter plaatse van het schip neemt daarom af. Het schip krijgt een grotere diepgang. De extra diepgang ten gevolge van het varen van het schip wordt squat genoemd. Squat moet berekend worden met de relatieve snelheid van het schip ten opzichte van het water.

De blokkagefactor van een schip die de vorm van een schip definieert is nodig om squat te berekenen. Een geblokt schip is vatbaarder voor squat dan een gestroomlijnd schip. De retourstroom wordt namelijk minder gestroomlijnd door een geblokt schip. Door de invloed van wind varen schepen onder een drifhoek. De breedte waarover de waterstroom beïnvloed wordt is in deze situatie groter. Hierdoor wordt ook de squat vergroot.

De vorm van de aanvoergeul beïnvloedt squat. Wanneer een schip in een open kanaal vaart is zijn inzinking kleiner dan in een gesloten kanaal (zie figuur B1.8). De retourstroom kan namelijk meer worden uitgespreid over een oppervlakte en concentreert zich niet volledig ter plaatse van het schip. De stroomsnelheden van het water blijven in een open kanaal beperkt.



*Figuur B1.8a : Open kanaal*



*Figuur B1.8b : Gesloten kanaal*

Wanneer schepen elkaar passeren varen zij in elkaars squatkuil. De squat van een klein schip beïnvloedt de squat van een groot schip echter niet significant. Een klein schip, varende in de kuil van een groot schip, heeft een kleinere diepgang dan een groot schip. Dit komt omdat de statische diepgang van een klein schip kleiner is dan de statische diepgang van een groot schip.

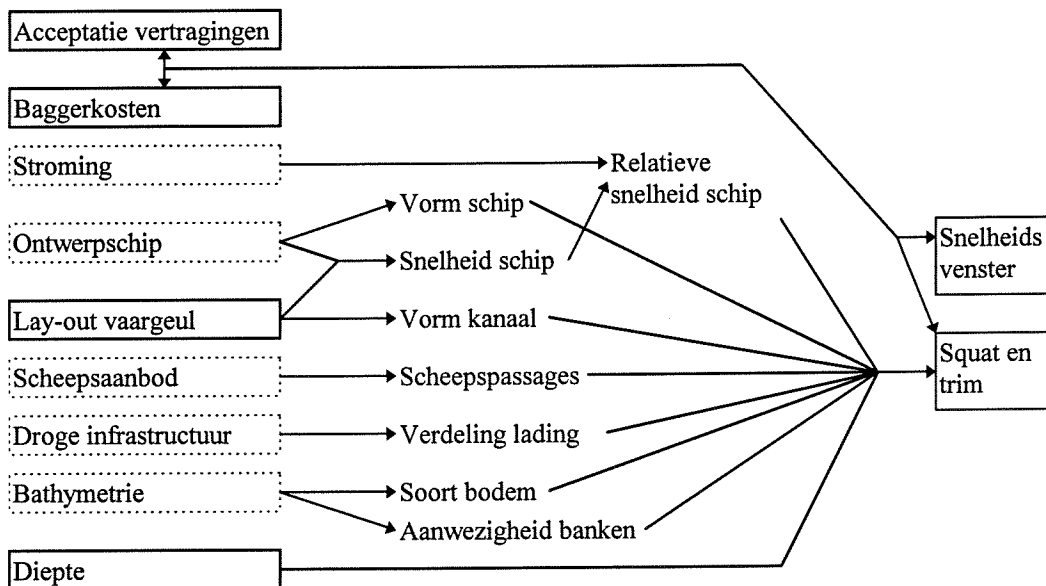
Afhankelijk van de kans op twee passerende grote schepen moet de ontwerper rekening houden met dit verschijnsel. In het sporadisch voorkomende geval dat grote schepen elkaar passeren kan van schepen verlangd worden dat zij hun snelheid minderen. Met deze maatregel blijft met dezelfde diepte de veiligheid gewaarborgd.

De ontwerper kan ook een continue snelheidsvenster invoeren, waarbij bepaalde grote schepen niet sneller mogen varen dan een bepaalde snelheid. Hierdoor wordt de squat van die grote schepen verkleind en dus ook de ontwerpdiepte. Bij lange aanvoergeulen kan de vertraging voor schepen echter groot worden.

Een uit slib bestaande bodem vermindert de squat ten opzichte van een harde bodem. Het slib-water mengsel heeft een grotere dichtheid dan water, waardoor de opwaartse druk hoger is.

Het ontwerpschip hoeft niet het grootste schip te zijn. Een kleiner schip met grote snelheid kan een grotere dynamische diepgang hebben dan een groot schip met kleinere snelheid.

Een schip kan een hoekverdraaiing over zijn lengte krijgen door zijn voorwaartse snelheid (trim). Initiële trim kan ontstaan doordat de lading in het schip niet uniform over het schip verdeeld is. De dynamische diepgang neemt toe door initiële trim.

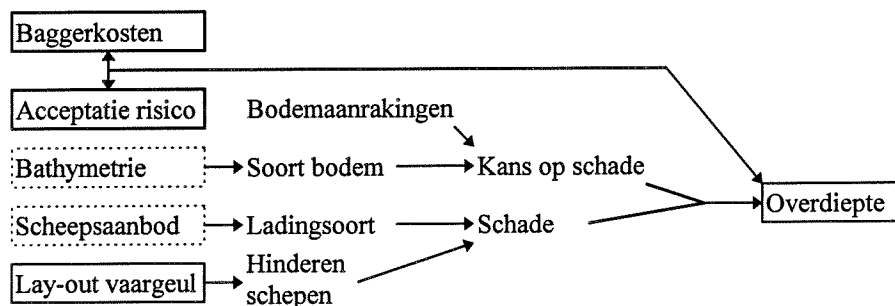


Afhankelijkheidsdiagram B1.2.5 : Dynamische diepgang

### Overdiepte

Er wordt een overdiepte ontworpen om het risico van aanraking van een schip met de bodem (vertraging andere schepen, kosten schip, lekkende lading) te verkleinen.

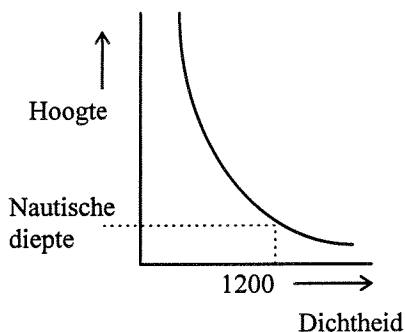
Risico is het produkt van de kans op schade en de schade zelf. De kans op schade hangt af van het soort bodem (hard of zacht).



Afhankelijkheidsdiagram B1.2.6 : Overdiepte

### Bodemdiepte

Wanneer de bodem uit slib bestaat is de bodemdiepte niet vast gedefinieerd. De nautische bodem wordt vaak gedefinieerd als de bodemhoogte waar het water-slib mengsel een dichtheidswaarde van  $1200 \text{ kg/m}^3$  heeft. Deze waarde verschilt echter per land.



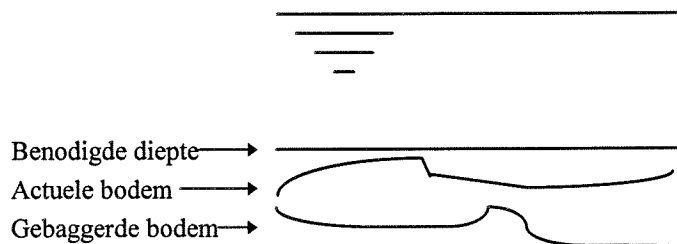
Figuur B1.9: Definitie nautische

De bodem heeft een evenwichtsprofiel. Baggeren moet na een bepaalde periode herhaald worden omdat het profiel zich herstelt in de tijd.

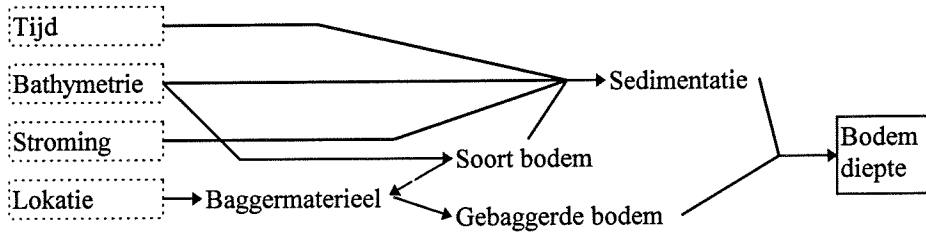
Baggeren onder water kan niet met een nauwkeurigheid van millimeters uitgevoerd worden. In verband met de hierdoor ontstane onzekerheid zal er extra gebaggerd moeten worden om de gewenste diepte te garanderen.

De sedimentatie is niet op elke plaats hetzelfde. Om onzekerheden hieromtrent in rekening te brengen zal er extra gebaggerd moeten worden.

Bij het meten van de diepte van een vaargeul wordt geïnterpoleerd tussen verschillende metingen. Niet elke plaats wordt daadwerkelijk gemeten. Uitsteeksels kunnen dus bestaan zonder opgemerkt te zijn.



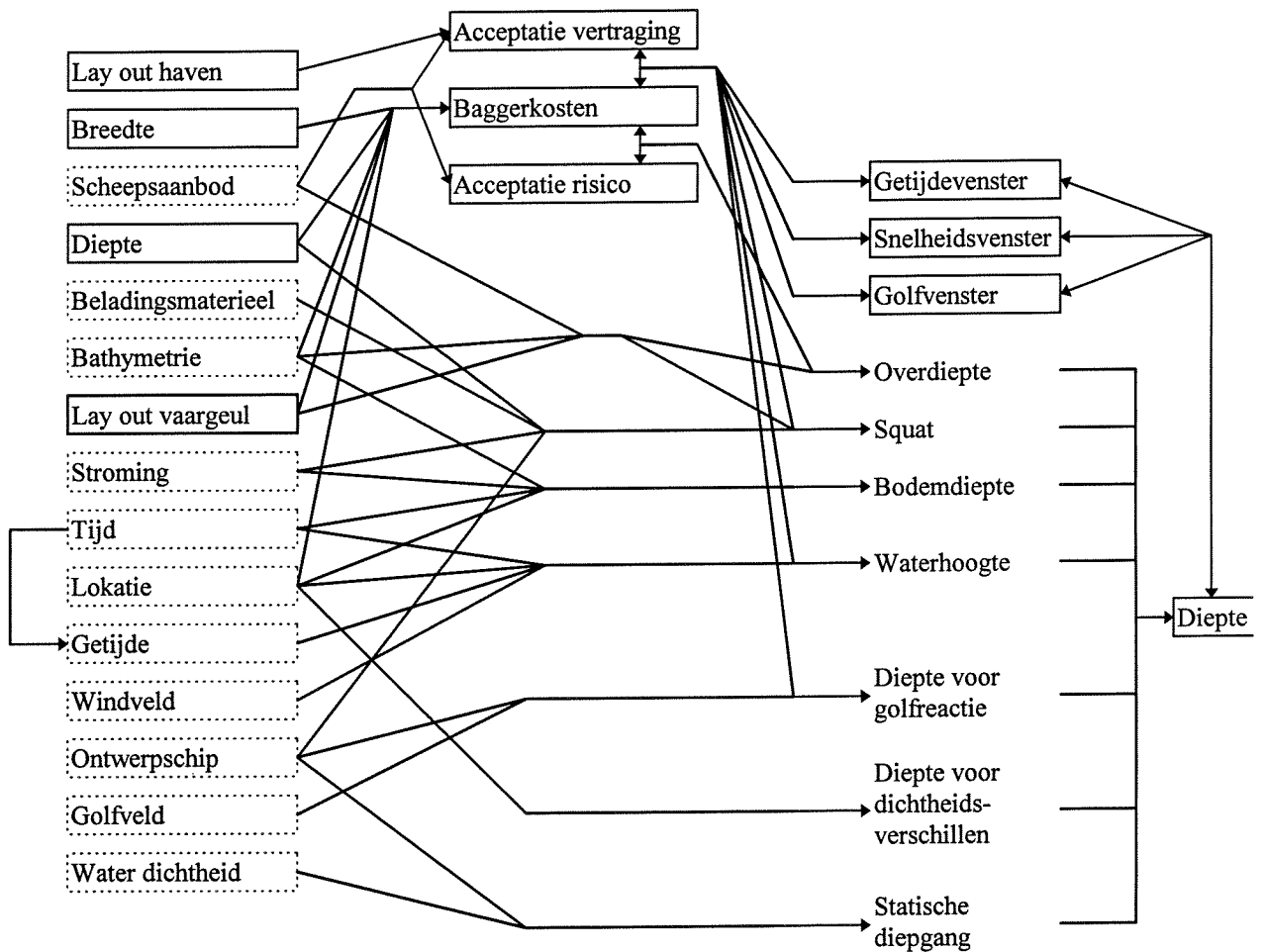
Figuur B1.10 : Afwijkingen in gebaggerde bodem



Afhankelijkheidsdiagram B1.2.7: Bodemdiepte

### Samenvatting ontwerpdiepte vaargeul

Afhankelijkheidsdiagram B1.7 vat de in deze paragraaf beschreven afhankelijkheden samen.



Afhankelijkheidsdiagram B1.7: Diepte vaargeulen

### ***B1.3.3 Lay-out buitenvaargeul***

Schepen moeten kunnen keren in de buitenvaargeul. Daartoe worden, zeker in lange vaargeulen, draaibassins aangelegd. De diameter hiervan moet dermate groot zijn dat een schip zonder sleepboten moet kunnen keren.

Tevens moeten wachtplaatsen in de vaargeul aangelegd worden. Schepen kunnen overvallen worden door weersomstandigheden, ze kunnen moeten wachten op andere schepen en ze kunnen schade oplopen, wat hun het verder varen onmogelijk maakt. Aangezien deze wachttijden langer kunnen zijn dan een getijdencyclus moet voor de diepte ter plaatse van de wachtplaatsen rekening worden gehouden met de laagste waterstand.

Aangezien de kosten van draaibassins en wachtplaatsen in de buitenvaargeul verwaarloosbaar klein zijn ten opzichte van de vaargeul zelf worden zij hier niet verder behandeld.

#### **Ontwerper**

Er bestaan geen wiskundige regels voor het ontwerp van de lay-out van de vaargeul. De ontwerper moet zijn creativiteit en ervaring laten gelden om tot een optimaal ontwerp te komen.

#### **Beginpunt zeezijde**

Het kanaal moet diep genoeg zijn om schepen de haven binnen te laten komen. Wanneer de bathymetrie de benodigde diepte biedt, behoeft de aanvoergeul niet verder gebaggerd te worden. Het punt waar deze diepte aanwezig is, wordt hier als het beginpunt van de vaargeul gedefinieerd.

Het startpunt aan de zeezijde moet zoveel mogelijk dezelfde oriëntatie hebben als de richting van waaruit de schepen komen en gaan.

Wanneer er meerdere belangrijke aankomst- en vertrekrichtingen bestaan, kunnen meerdere aftakkingen van de vaargeul in verschillende richtingen ontworpen worden. De ontwerper zal een keuze moeten maken tussen een grotere vaargeullengte (= grotere baggerkosten) en het laten omvaren van een aantal schepen.

#### **Bochten**

Er moeten zo weinig mogelijk bochten in de vaargeul ontworpen worden, omdat bochten nautisch moeilijke stukken zijn.

Vooral het oriënteren voor en na de bocht is moeilijk voor de navigator. Daarom is één (grote) bocht beter dan een aantal kleine.

Tussen bochten moet voldoende ruimte (tijd) aanwezig zijn om de navigator de mogelijkheid te bieden zich opnieuw te oriënteren en zich voor te bereiden op de volgende bocht.

Bochten mogen niet te scherpe hoeken hebben, omdat schepen deze anders niet kunnen maken (in verband met de traagheid van het schip).

#### **Richtingen**

Het startpunt aan de zeezijde moet zoveel mogelijk dezelfde oriëntatie hebben als de richting van waaruit de schepen komen en gaan.

Dwarsstroming moet zoveel mogelijk vermeden worden vanwege afwijkingen van de vaarbaan van het schip.

De oriëntatie van het bij de haven gelegen deel van het kanaal moet afwijken van de golfrichting; Anders zal golfindringing in de haven moeilijk te verhinderen zijn.

De oriëntatie van het kanaal moet niet teveel afwijken van de golfrichting in verband met de manoeuvreerbaarheid van de schepen.

Zijwind moet zo veel mogelijk vermeden worden.

### Bathymetrie

Baggeren van een vaargeul kan veel geld kosten. Deze kosten kunnen geminimaliseerd worden door de diepte die de bathymetrie al biedt optimaal te gebruiken en dus het kanaal zo veel mogelijk door de diepste plekken heen te leiden.

Om de kosten te beperken moet de vaargeul zo kort mogelijk worden. Het kanaal moet daartoe zo snel mogelijk naar een plek geleid worden waar de bathymetrie al voldoende diepte biedt.

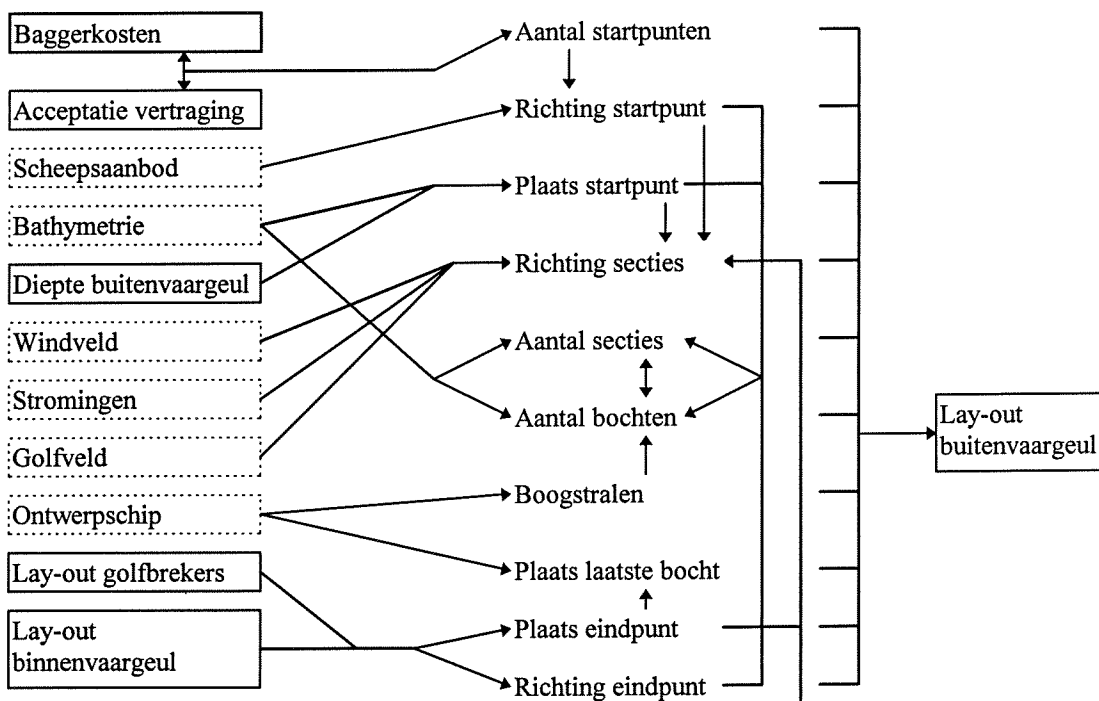
Vaargeulen moeten niet langs obstakels geleid worden. Vaak kost het verwijderen hiervan veel moeite en geld.

### Eind punt (havenzijde)

De buitenvaargeul stopt, per definitie, daar waar de binnenvaargeul begint. De binnenvaargeul begint, per definitie, daar waar de golfbrekers beginnen.

De richting van de buitenvaargeul moet dezelfde zijn als die van de binnenvaargeul. Bochten in de buurt van haveningangen moeten vermeden worden. Haveningangen zijn namelijk, net als bochten, nautisch moeilijke stukken.

De richting van de binnenvaargeul hangt af van de oriëntatie van de kustlijn, de haven lay-out en de richting van de golven.



Afhankelijkheidsdiagram B1.8 : Lay-out buitenvaargeul

## B1.4 Binnenvaargeul

De binnenvaargeul dient om schepen zodanig te laten afremmen dat zij veilig naar hun plaats van bestemming kunnen varen.

In de buitenvaargeul moeten schepen een bepaalde snelheid houden om bestuurbaar te blijven. Binnen de golfbrekers moeten de omstandigheden zodanig zijn dat schepen kunnen afremmen. Vaak worden sleepboten vastgemaakt aan het schip om het schip bestuurbaar te kunnen laten afremmen. Het aanhaken van sleepboten kan niet gedaan worden bij hoge golven. De binnenvaargeul ligt dus vrijwel altijd binnen de golfbrekers.

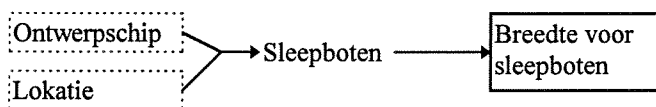
De kosten voor de binnenvaargeul kunnen weergegeven worden met eenzelfde afhankelijkheidsdiagram als bij de kosten voor de buitenvaargeul gebruikt is (Afhankelijkheidsdiagram B1.5). Het woord 'buitenvaargeul' moet hierin vervangen worden door het woord 'binnenvaargeul'.

### B1.4.1 Breedte binnenvaargeul

Voor de breedte van de binnenvaargeul gelden dezelfde beschouwingen als die van de breedte van de buitenvaargeul. Hier moeten nog enkele additieve opmerkingen bij gemaakt worden.

- Schepen komen bij het binnenvaren van de binnenvaargeul plotseling in andere omstandigheden. Zij moeten zich opnieuw oriënteren.
- De voorsteven van het schip ligt al tussen de golfbrekers terwijl dat nog niet voor de achtersteven geldt. De boeg is op dat moment minder onderhevig aan stromingsinvloeden dan het hek. Deze omstandigheden zorgen ervoor dat het schip scheef gaat liggen en dus een grotere breedte nodig heeft.
- De golven, dwarsstroming en wind zijn kleiner in de binnenvaargeul.
- De snelheden van schepen zijn lager in de binnenvaargeul. Voor de invloed van wind en dwarsstroming werkt dit negatief en voor de invloed van golven positief.
- Sleepboten moeten om het schip heen kunnen manoeuvreren. Hier is ruimte voor nodig.
- De kans op schade en de schade zelf zijn zonder speciale maatregelen groter dan in de buitenvaargeul. Er zijn namelijk meer harde objecten aanwezig binnen de golfbrekers en het verkeersbeeld is gecompliceerder.

Eenzelfde afhankelijkheidsdiagram, zoals geldt voor de breedte van de buitenvaargeul (Afhankelijkheidsdiagram B1.6), geldt voor de breedte van de binnenvaargeul. Gerekend moet echter worden met de omstandigheden die binnen de golfbrekers gelden. De golven zijn dus lager, stroming minder en de veiligheid moet groter zijn. In het diagram wordt overal het woord 'buitenvaargeul' vervangen door het woord 'binnenvaargeul'. De breedte die nodig is voor het manoeuvreren van sleepboten moet nog extra in het diagram worden opgenomen.



*Afhankelijkheidsdiagram B1.9 : Aanvulling breedte binnenvaargeul*



### ***B1.4.2 Diepte binnenvaargeul***

De benodigde diepte van de binnenvaargeul kan op dezelfde wijze beschreven worden als de diepte van de buitenvaargeul. Enkele opmerkingen kunnen nog extra hierbij gemaakt worden.

- De snelheden van schepen in de binnenvaargeul zijn lager dan die in de buitenvaargeul. De squat is dus minder en daarmee ook de benodigde diepte.
- Golven, dwarsstroming en wind zijn minder aanwezig in de binnenvaargeul.
- Langsstroming kan nog steeds bestaan doordat havens aan de mond van een rivier gesitueerd kunnen zijn en omdat getijdestroming door de opening tussen de golfbrekers door de haven kan binnendringen.
- Wanneer geen sleepboten gebruikt worden, is bestuurbaarheid bij lage snelheden van belang. Dit betekent dat er een grotere overdiepte aangehouden moet worden.
- Het risico is in de binnenvaargeul groter dan in de buitenvaargeul. De schade kan groter zijn door de directe nabijheid van mensen en kostbaar overslagmaterieel.

Het afhankelijkheidsdiagram zoals voor de diepte in de buitenvaargeul geldt (Afhankelijkheidsdiagram B1.7), is ook van toepassing op de binnenvaargeul. Echter het woord 'buitenvaargeul' moet weer vervangen worden door 'binnenvaargeul'. De condities die gelden in de binnenvaargeul moeten hierin beschouwd worden. Hiermee worden de golven, sloopssnelheden en dergelijke bedoeld.

### ***B1.4.3 Lay-out binnenvaargeul***

#### **Lengte binnenvaargeul**

Binnen de lengte van de binnenvaargeul moeten sleepboten aanhaken en moet het schip afremmen.

De sleepboten beginnen pas met aanhaken als de condities binnen de golfbrekers dit toelaten. Er is een maximale golfhoogte waarbij dit veilig kan gebeuren. Bij zeer rustige zeecondities kunnen sleepboten al buiten de golfbrekers aanhaken aan de schepen.

Het afremmen van schepen gebeurt met eigen middelen. De sleepboten houden het schip slechts in positie. De snelheid waarmee een schip op eigen kracht kan afremmen hangt af van de grootte van het schip, zijn vorm en de kracht van zijn schroeven. Geladen schepen remmen moeilijker af dan schepen in ballast.

De benodigde lengte van de binnenvaargeul hangt af van de beginsnelheid van het schip bij het binnenvaren van de binnenvaargeul. Het schip heeft in de buitenvaargeul zijn snelheid al verminderd en de ontwerper kan aan de beginsnelheid eisen stellen. Het schip heeft in de buitenvaargeul een minimale snelheid nodig om bestuurbaar te blijven.

De binnenvaargeul moet zo kort mogelijk gehouden worden om de kosten voor baggerwerk en voor de golfbrekers zo beperkt mogelijk te houden.

#### **Beginpunt en eindpunt van de binnenvaargeul**

Het begin van de binnenvaargeul ligt, per definitie, daar waar de golfbrekers eindigen. De binnenvaargeul sluit aan op de buitenvaargeul, zowel in richting als in plaats.

Het einde van de binnenvaargeul ligt in het centrum van een draaibassin. Hier moet de snelheid van het schip zodanig verminderd zijn dat het schip veilig en zonder een te grote draaicirkel kan draaien in de richting van een havenbassin.

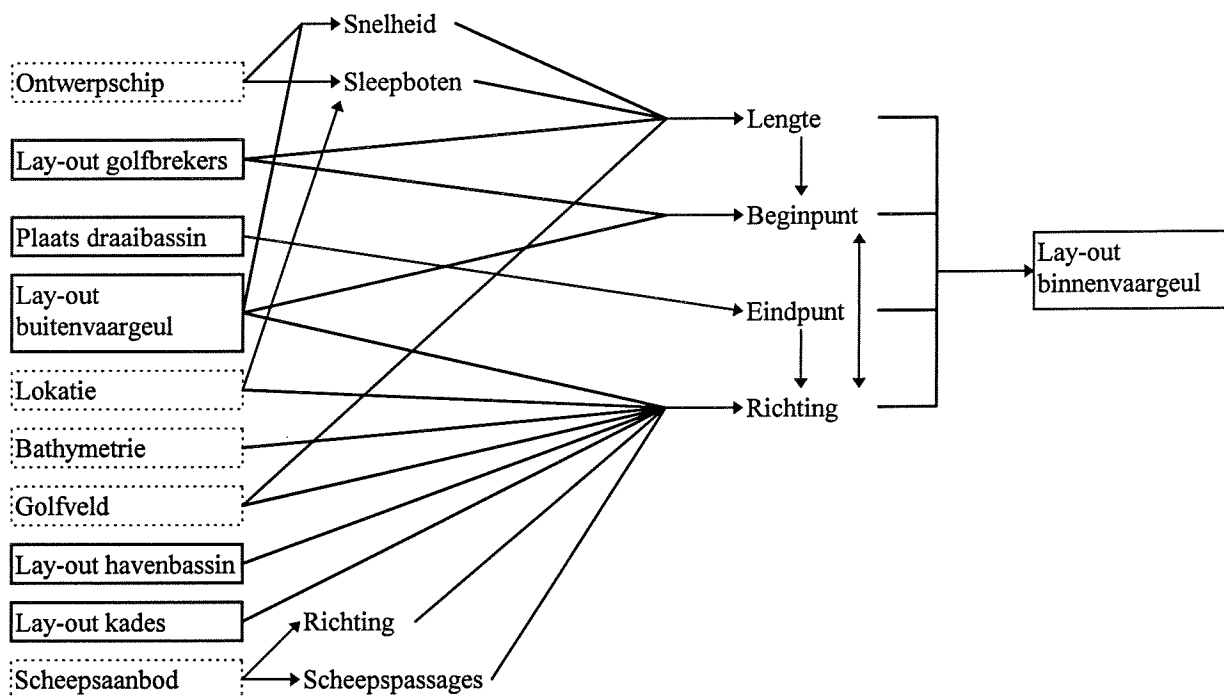
## Richtingen

De richting van de binnenvaargeul hangt af van de haven lay-out, de lokatie, de golven buiten de haven, de bathymetrie en de richting van de buitenvaargeul. Dit wordt in het onderstaande beknopt verduidelijkt.

- De lay-out van de haven is van belang omdat de vaargeul niet moet grenzen aan kades. Vanwege het risico mogen vaargeulen in het bijzonder niet grenzen aan kades waar gevaarlijke stoffen overgeslagen worden. Verder moeten verkeersstromen zo weinig mogelijk mengen. Passeer- en inhaalbewegingen moeten binnen de haven voorkomen worden.
- De richting van de buitenvaargeul is van belang omdat de binnenvaargeul hierop moet aansluiten. De buitenvaargeul moet zo snel mogelijk in de richting van diep water geleid worden en tevens in de richting waar schepen hun bestemming hebben. Door de binnenvaargeul ook al in die richting te leiden, kunnen baggerkosten of navigatieproblemen in verband met bochten vermeden worden.
- Als de binnenvaargeul dezelfde oriëntatie heeft als de golven buiten de haven is golfindringing moeilijk te verhinderen. De richting van de binnenvaargeul moet dus afwijken van de meest voorkomende golfrichtingen.
- De lokatie speelt een rol omdat de gehele havenoriëntatie in perspectief van de kustlijn moet worden gezien. Verder moet bij een uitbreiding van bestaande havens rekening worden gehouden met de oude configuratie.

## Bochten

Het is niet gebruikelijk bochten in de binnenvaargeul te ontwerpen.



Afhankelijkheidsdiagram B1.10 : Lay-out binnenvaargeul

## **B1.5 Draaibassins**

Draaibassins worden gebruikt om schepen de mogelijkheid te bieden te draaien, zodat zij in de richting van hun bestemming binnen de haven kunnen varen. Dit draaien gebeurt bij zeer lage snelheden en vaak met hulp van sleepboten.

De kosten van draaibassins worden gevormd door de baggerkosten. Afhankelijkheidsdiagram 4.5 is ook geldig voor de draaibassins. Het blokje 'Lay-out buitenvaargeul' moet echter verwijderd worden uit het diagram, 'Diepte buitenvaargeul' wordt vervangen door 'Diepte draaibassins' en 'Breedte buitenvaargeul' wordt vervangen door 'Diameter draaibassins'.

### ***B1.5.1 Diameter draaibassins***

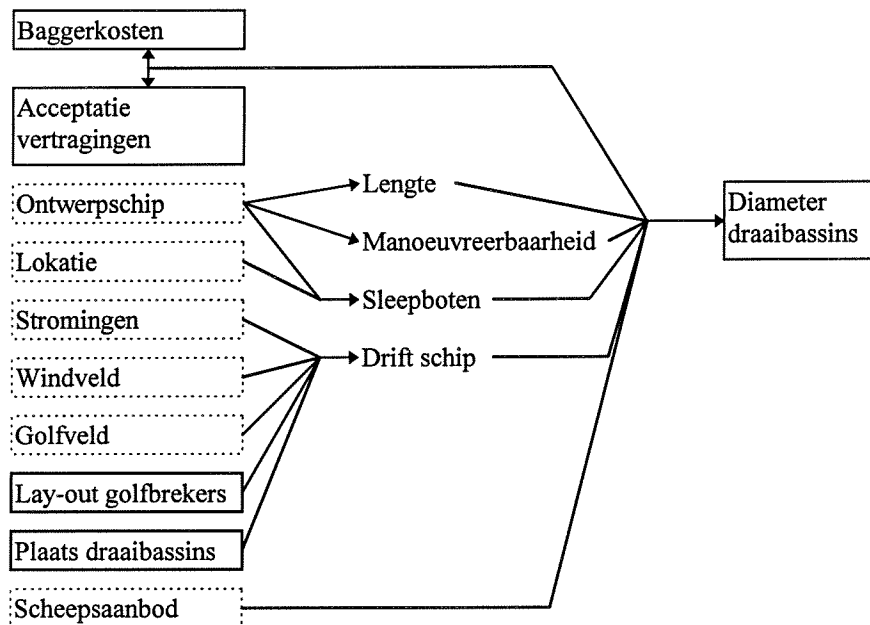
Het draaibassin is vaak rond van vorm. Bij aanwezigheid van stroming in de haven (bijvoorbeeld bij een ligging aan de mond van een rivier) kan een ellips toegepast worden om afdrijven van schepen tijdens het draaien te compenseren.

De benodigde diameter van een draaibassin hangt in eerste instantie af van het ontwerpschip, met name van de manoeuvreerbaarheid en de lengte van dat schip. Wanneer sleepboten hulp geven aan de schepen kan de ontwerpdiameter verkleind worden. De manoeuvreerbaarheid van een schip wordt daarmee namelijk kunstmatig vergroot.

Stroming, wind en golven kunnen de benodigde diameter vergroten.

Er kunnen meerdere draaibassins in een haven voorkomen. Het gebruik van elk draaibassin beperkt zich tot de schepen die hun bestemming hebben achter een bepaald draaibassin. Het ontwerpschip voor een draaibassin verschilt daarom per draaibassin.

Bij grote verkeersintensiteiten kan de diameter vergroot worden. Bij grotere diameters is de tijd die schepen in het bassin aanwezig zijn om te manoeuvreren kleiner dan bij kleine diameters. Het draaibassin is eerder weer vrij voor het volgende schip.



Afhankelijkheidsdiagram B1.11 : Diameter draaibassins

### B1.5.2 Diepte draaibassins

Dezelfde beschouwingen over diepte als die beschreven bij de diepte van de binnenvaargeul gelden voor het draaibassin. Afhankelijkheidsdiagram B1.7 is dus ook van toepassing op de draaibassins, waarbij het woord 'Buitenvaargeul' vervangen moet worden door 'Draaibassins'. De snelheden in draaibassins zijn dermate laag dat zaken als snelheidsvensters en squat vrijwel niet van toepassing zijn op draaibassins.

### B1.5.3 Plaats draaibassins

Het eerste draaibassin sluit aan op de binnenvaargeul. Dit eerste draaibassin heeft een centrale plaats in de haven. Schepen moeten namelijk van hier uit naar alle delen van de haven toe varen.

Op elke plaats waar schepen significant van de gevolgde richting af moeten wijken, wordt een draaibassin geplaatst.

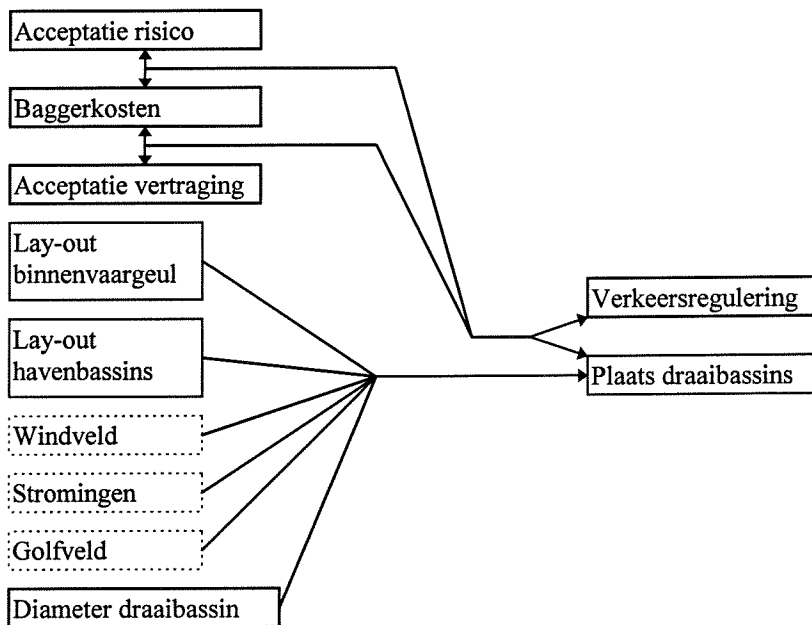
De ontwerper zal met creativiteit en ervaring tot een optimale plaatsing van de draaicirkel(s) moeten komen. De ontwerper moet echter met bepaalde afhankelijkheden rekening houden.

Het draaibassin moet bij voorkeur niet grenzen aan kades waar schepen laden of lossen, in verband met de risico's. Met name grenzingen aan kades waar gevaarlijke stoffen worden overgeslagen, moeten vermeden worden.

Schepen in het draaibassin zijn zeer gevoelig voor wind, golven en stroming. Het draaibassin moet dus goed beschermd worden tegen deze invloeden.

Manoeuvreren in een draaibassin neemt enige tijd in beslag. Verkeersstromen kunnen daardoor verstoord worden en down-time kan ontstaan. Maatregelen die genomen kunnen worden om die down-time te reduceren zijn:

- Er kunnen meerdere draaibassins achter elkaar worden ontworpen. Het eerste draaibassin wordt daarmee ontlast. Dit gaat echter ten koste van de ruimte die in een haven aanwezig is.
- Een draaibassin kan naast de vaargeul gepositioneerd worden. De benodigde ruimte in de haven wordt hiermee wel groter en hetzelfde geldt voor de risico's.
- De scheepsbewegingen kunnen geoptimaliseerd worden door een juiste verkeersregulering. Een voorbeeld hiervan, aangaande een draaibassin, is om eerst enkele uitgaande schepen te laten passeren en daarna pas een schip in het draaibassin te laten manoeuvreren. Hiermee wordt de individuele down-time van enkele schepen vergroot, maar neemt de totale gemiddelde down-time in de haven af.



Afhankelijkheidsdiagram B1.12 : Plaats draaibassins

## B1.6 Havenbassins

De havenbassins zijn bedoeld om schepen veilig te laten afmeren aan de kade en hen veilig te laten wegvaren.

De kosten van de havenbassins bestaan uit de baggerkosten. Afhankelijkheidsdiagram B1.5 geldt ook voor de havenbassins. Het woord 'Buitenvaargeul' moet echter vervangen worden door het woord 'Havenbassins'.

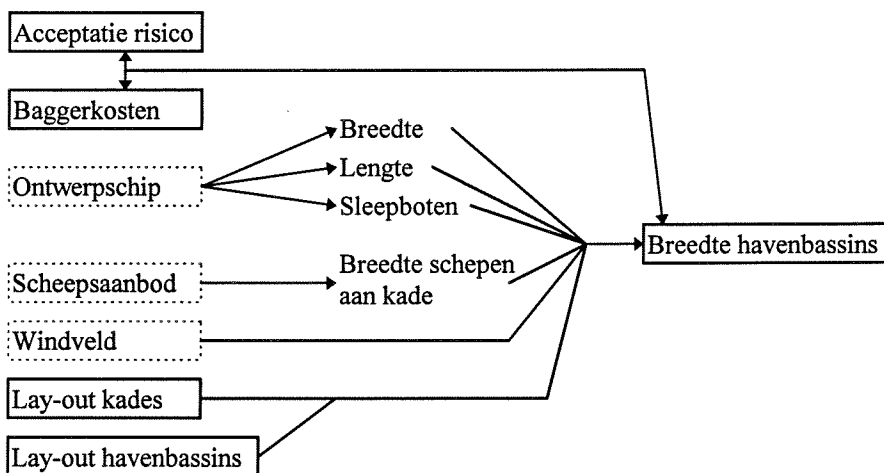
### B1.6.1 Breedte havenbassins

De breedte in een havenbassin moet voldoende zijn om schepen veilig te laten aanmeren. Botsingen met de kade en met aan de kade liggende schepen moeten vermeden worden.

De benodigde breedte kan opgebouwd gedacht worden uit:

- De eigen breedte van het schip.
- Een breedte om schepen, die aan weerszijden van het bassin aan de kades liggen, in rekening te brengen. Afhankelijk van het scheepsaanbod zijn dit ook grote ontwerpschepen of zijn dit kleinere schepen. Bekeken moet worden wat de kans is op twee of drie ontwerpschepen die tegelijkertijd in het havenbassin aanwezig zijn. Of er aan één of aan twee zijden van het bassin schepen aan de kades liggen, is afhankelijk van de lay-out van de kades en de lay-out van de havenbassins.
- Eventuele toeslag op de breedte wanneer er sleepboten gebruikt worden.
- Toeslag om het scheefliggen van schepen tijdens het manoeuvreren in rekening te brengen. De grootte van die toeslag is afhankelijk van de manoeuvreerbaarheid van het schip en zijn lengte.
- Toeslag om sterke wind in rekening te brengen. Sterke wind kan zorgen voor een drift en een drifhoek tijdens het manoeuvreren.

Tijdens het aanleggen van schepen aan de kade zijn slechts zeer kleine golfhoogten toegestaan. Voor de benodigde breedte hoeft geen rekening met golven en stroming gehouden te worden, omdat het ontwerp van de bassins zodanig moet zijn dat er verwaarloosbaar weinig golfindringing en stroming in de bassins aanwezig is.



Afhankelijkheidsdiagram B1.13 : Breedte havenbassins

### B1.6.2 Diepte havenbassins

De diepte in havenbassins wordt op dezelfde manier bepaald als die in de binnenvaargeul. Een tweetal extra opmerkingen kan hierbij gemaakt worden.

- Er moet apart gekeken worden wat het maatgevende schip is. De verschillende havenbassins kunnen voor verschillende scheepstypen geschikt zijn. Per bassin moet dus een diepte bepaald worden.
- Getijdenvensters kunnen niet toegepast worden in havenbassins. Schepen moeten stilliggend aan de kade altijd een kleinere diepgang hebben dan de waterdiepte.
- De snelheden in havenbassins zijn zeer klein. Squat en andere dynamische invloeden op de benodigde diepte zijn dus ook zeer klein.

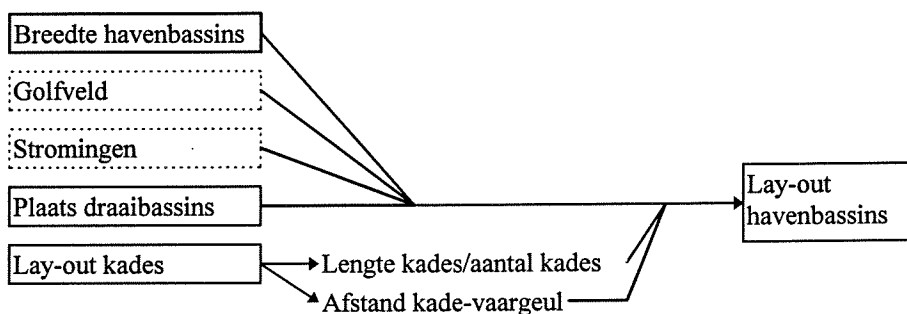
Afhankelijkheidsdiagram B1.7 geldt ook voor de havenbassins. De vensters kunnen echter niet gebruikt worden, omdat schepen ook tijdens extreme omstandigheden in de havenbassins moeten kunnen verblijven. Het woord 'Buitenvaargeul' moet vervangen worden door het woord 'Havenbassins'.

### B1.6.3 Lay-out havenbassins

De lay-out van de havenbassins hangt af van de lay-out van de kades. De ruimte die overblijft tussen de kades wordt gedefinieerd als havenbassins. In de havenbassins is wel enige manoeuvreerruimte nodig. Schepen die afmeren of laden of lossen moeten beschermd zijn tegen golven. De criteria voor de hoogte van deze golven zijn strenger dan die voor de toegangsgoel. De havenbassins moeten zo gepositioneerd worden dat stroming niet voorkomt.

De havenbassins moeten gemakkelijk toegankelijk zijn vanuit het draaibassin. Ze moeten zo veel mogelijk zonder bochten te bereiken zijn vanuit dit bassin en kunnen dus het best loodrecht op het draaibassin georiënteerd zijn.

Bij lange havenbassins (> 1000m.) moeten schepen kunnen keren. Er moet ofwel een draaibassin aan het einde van het havenbassin aangelegd worden, ofwel het havenbassin moet breed genoeg zijn om schepen te kunnen laten keren.



Afhankelijkheidsdiagram B1.14 : Lay-out havenbassins

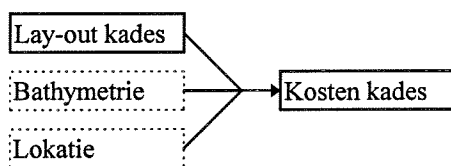
## B1.7 Kades

De kades zijn bedoeld om schepen te laten aanliggen. Aan de kades kan met de faciliteiten aan de droge zijde van de kade een schip geladen of gelost worden. Bepaalde kades hebben de functie van wachtplaats. Er moeten daar faciliteiten zijn om mensen van boord te laten gaan.

De beschrijving van de kades beperkt zich tot de lengte van kades en de plaats van kades. Op de constructieve aspecten van kades en de diepte wordt hier niet ingegaan. Verder gelden de beschrijvingen van de kades voor zowel offshore havens als havens aan de kust. SBM's worden hier niet behandeld.

### Kosten

De kosten van de kades zijn afhankelijk van de lengtes van de kades en het type kade. Verder is de lokale diepte van belang en de bouwlocatie.



*Afhankelijkheidsdiagram B1.15 : Kosten kades*

### B1.7.1 Type kade

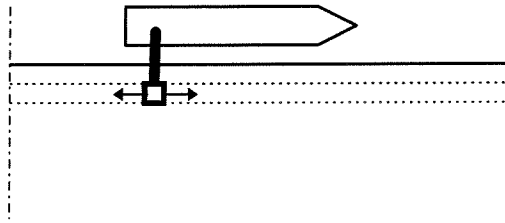
Het type van de kade is volledig afhankelijk van het scheepstype dat er moet laden en lossen.

Containerschepen worden geladen en gelost aan een kademuur die doorloopt over de gehele lengte van het schip. Afhankelijk van de lengte van de schepen en de lengte van de kade kan een variabel aantal schepen tegelijk aan de kade aanleggen. Bijvoorbeeld, wanneer de kade 400 meter lang is, kunnen er twee schepen van 180 meter aanleggen of één van 300 meter lang.

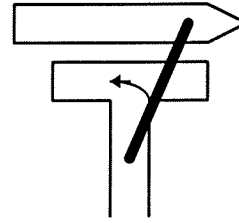
Olie- en gastankers kunnen geladen of gelost worden aan een jetty in de haven. Een jetty geeft ruimte voor één schip tegelijk om aan te leggen ongeacht de lengte van de schepen. Olie-tankers kunnen ook buiten de haven geladen en gelost worden aan een Single Buoy Mooring.

Bij bulk carriers wordt het laden en lossen aan verschillende kades gedaan. Een kade waaraan schepen geladen worden, loopt niet door over de gehele lengte van het schip. Via een beweegbare lopende band kan het gehele schip geladen worden. Slechts één schip tegelijk kan aan zo'n kade aanleggen. Het lossen gebeurt aan een kade die doorloopt over de hele lengte van het schip. Een installatie die geplaatst is op een evenwijdig aan het schip lopende rails, lost het schip.

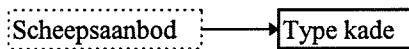




*Figuur B1.12a : Kade voor containers of lossen bulk*



*Figuur B1.12b : Kade voor olie of laden bulk*



*Afhankelijkheidsdiagram B1.16 : Type kade*

### **B1.7.2 Lengte kades**

Afhankelijk van het type schip dat moet laden en lossen, worden doorlopende kademuren of kades waar slechts één schip tegelijk aan kan leggen aangelegd.

Aan een kade kan slechts één scheepstype aanleggen. Het beladingsmaterieel is altijd maar voor één soort lading geschikt. Verschillende scheepstypen worden dus gescheiden.

Het aantal kades of de totale kadelengte is afhankelijk van de intensiteit van de scheepsaankomsten en de tijd die schepen aan een kade moeten liggen om te laden of lossen.

Rekening moet worden gehouden met pieken en dalen in de aankomsten van schepen per seizoen, per dag en per week.

De tijd die schepen aan een kade moeten liggen, heeft een spreiding; Het is niet een vaste tijd die voor elk schip en elk tijdstip hetzelfde is.

Er moet een economisch optimum gevonden worden voor het aantal kades of de totale lengte van de kades. Er moet een keuze gemaakt worden tussen extra aanlegplaatsen met overslagmaterieel en wachttijden voor schepen. De bezettingsgraad van een kade, de tijd dat een kade per tijdseenheid effectief wordt benut, is een maat voor de effectiviteit van een kade. Een hoge bezettingsgraad levert wachttijden voor schepen op, wat slecht is voor de concurrentiepositie van de haven. Bij een lage bezettingsgraad wordt het dure overslagmaterieel niet optimaal gebruikt. Wanneer er wachttijden zijn voor schepen moeten er faciliteiten in de haven zijn waar de schepen kunnen wachten.

Voor kades waar slechts één schip tegelijk aan kan leggen, wordt een vast aantal kades aangelegd. De benodigde afstand tussen een aangemeerd schip en een varende schip is afhankelijk van de veiligheidsnorm. Wanneer er gevaarlijke stoffen worden overgeslagen, moet de afstand relatief groot zijn. Dit geldt zeker wanneer de gevolgen, betreffende mensenlevens, groot kunnen zijn. De lay-out van de haven moet zo zijn dat er weinig kans op botsingen tussen varende en afgemeerde schepen is. Met sleepboten is er minder kans op botsingen.

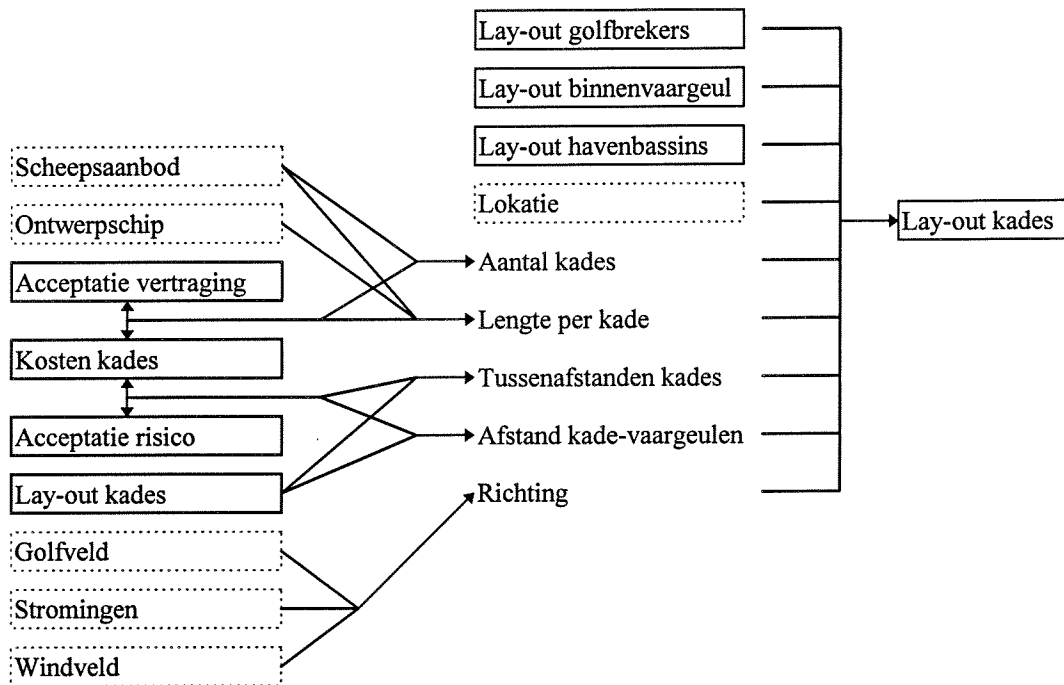
De benodigde afstand tussen afgemeerde schepen bestaat vooral uit de afstand die nodig is om aan te leggen en weg te varen. Hierbij moet een veiligheidsafstand ontworpen worden, om de risico's te beperken. Het ontwerpschip moet aan elke kade kunnen aanleggen. De afstand tussen twee kades moet hierop gedimensioneerd worden. Aangezien de kans op twee grenzende ontwerpschepen klein kan zijn, kan de veiligheidsafstand eventueel enigszins beperkt worden.

Voor kades die moeten doorlopen over de gehele lengte van het schip, wordt een totale kadelengte aangelegd die voldoende is voor het gehele scheepsaanbod.

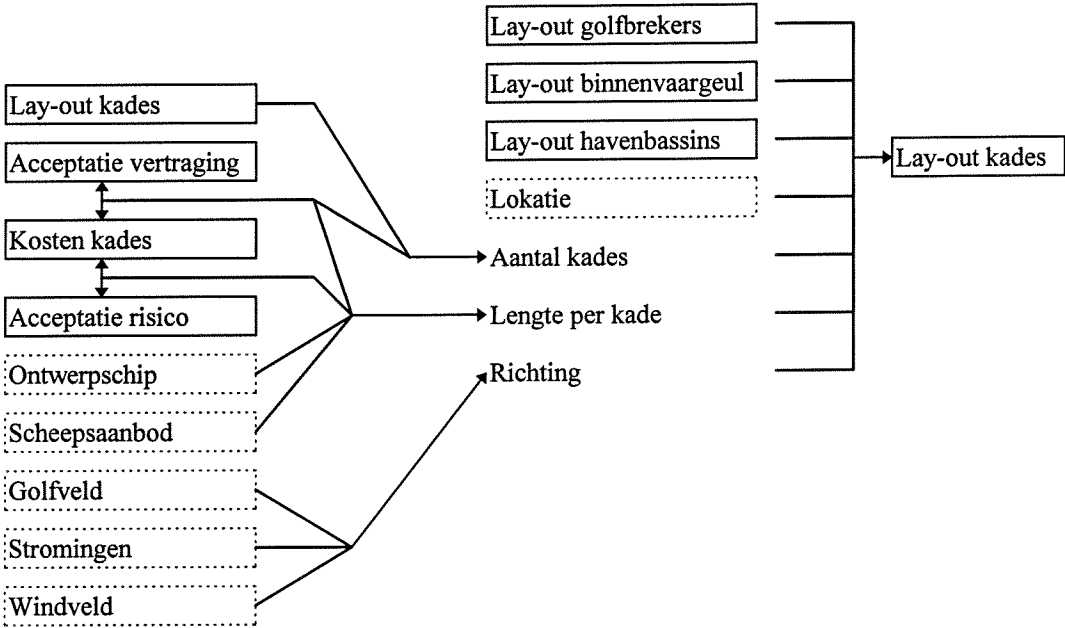
Afhankelijk van de lay-out is de totale kadelengte verdeeld over een aantal stukken. Afhankelijk van de scheepsintensiteit moeten een aantal stukken minimaal gedimensioneerd worden op het ontwerpschip. Geprobeerd moet worden met minimale kadelengte een zo groot mogelijk aantal schepen te kunnen laden en lossen. Er mogen hierbij niet te grote wachttijden ontstaan, voor welk schip dan ook. Door een goede verkeersregulering kan de capaciteit van kades geoptimaliseerd worden. Tussen afgemeerde schepen moet een bepaalde veiligheidsafstand aangehouden worden. Deze is afhankelijk van het risico op botsingen.

### B1.7.3 Lay-out kades

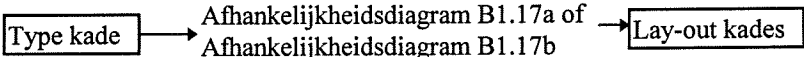
Kades waaraan gevaarlijke stoffen worden overgeslagen moeten zo ver mogelijk van vaarwegen worden aangelegd. De kades moeten zo aangelegd worden dat de schepen met de boeg in de richting van de golven liggen. De stroming en de wind moet ook zo veel mogelijk in die richting geleid worden. De verschillende kadetypen, de benodigde lengtes van kades, veiligheidsafstanden en de lay-out van de rest van de haven in rekening brengend, moet de ontwerper zijn ervaring en creativiteit gebruiken om tot een optimale lay-out van de kades te komen.



Afhankelijkheidsdiagram B1.17a : Lay-out kade enkele kade



Afhankelijkheidsdiagram B1.17b : Lay-out kademuur



Afhankelijkheidsdiagram B1.17c : Keuze Afhankelijkheidsdiagram B1.17a of b

## B1.8 Golfbrekers

Golfbrekers om een haven heen kunnen meerdere doelen hebben:

- 1) Reduceren golfhoogten, zodat schepen in rustig vaarwater kunnen manoeuvreren, aanleggen, laden en lossen.
- 2) Reduceren baggeren, door het sedimenttransport uit de haven en vaargeulen te houden.
- 3) Stroomlijnen stromingen.
- 4) Een kadefunctie vervullen, door de golfbreker zo vorm te geven dat de achterzijde gebruikt kan worden als kademuur.

### Beperking beschrijving

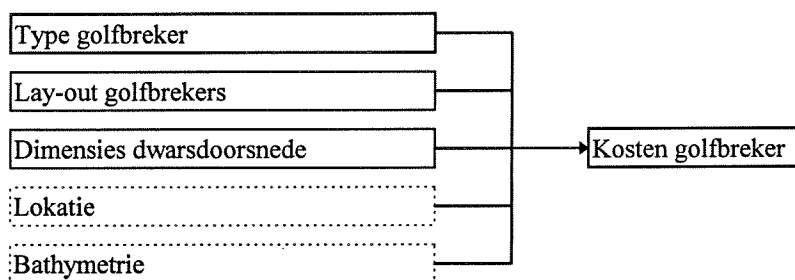
De hieronder volgende beschrijving van golfbrekers geldt voor zowel havens aan de kust, offshore havens als SBM's.

Deze paragraaf bestaat uit twee delen. In het eerste deel wordt een beschrijving gegeven van een aantal verschillende typen golfbrekers. Hierna beperkt de beschrijving zich tot de rubble mound golfbreker. Deze wordt in de wereld voor havenontwerpen het vaakst toegepast, omdat zeehavens over het algemeen te maken hebben met grote golfkrachten. Ook de samengestelde golfbreker wordt vaak toegepast om dezelfde reden.

Bepaalde delen van de rubble mound golfbreker kunnen vervangen worden door caissons om zo tot een samengestelde golfbreker te komen. Bepaalde beschrijvingen van materialen en hellingen gaan dan niet meer op. De mate waarin deze niet gelden, is dermate triviaal dat dit hier niet behandeld wordt.

### Kosten golfbreker

De kosten van golfbrekers zijn afhankelijk van de lengte, de dwarsdoorsnede met de materialen die gebruikt worden en de lokatie. De lokatie bepaalt de eenheidsprijs van het materiaal en de kosten voor het construeren van de golfbreker.

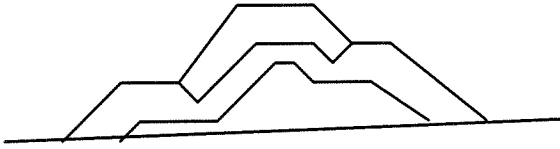


*Afhankelijkheidsdiagram B1.18 : Kosten golfbreker*

### B1.8.1 Type golfbreker

Er bestaan een groot aantal verschillende soorten golfbrekers, elk met een eigen toepassingsgebied. Een aantal hiervan zal hier kort beschreven worden.

## Rubble mound golfbreker



*Figuur B1.13 : Schets rubble mound golfbreker*

Bij een rubble mound golfbreker wordt een bovenlaag van zware blokken gestort. Deze bovenlaag moet de krachten, die vrijkomen wanneer golven breken, kunnen weerstaan. De tussenlagen, die op plaatsen waar de krachten minder groot zijn (teen, achterzijde) ook aan de oppervlakte kunnen liggen, bestaan uit stortsteen met verschillende groottes. De kern bestaat uit afvalgesteente (quarry run).

Deze standaard vorm van een rubble mound golfbreker kan op verschillende wijzen een aangepast worden. Zo kan bovenop de golfbreker een muur geplaatst worden, die als doel heeft de benodigde kruinhoogte te beperken. Ook kan de teen langer of korter gemaakt worden. Hiermee kan het breken van golven verspreid worden over een lengte en hoeft niet de bovenlaag alle golfenergie op te nemen.

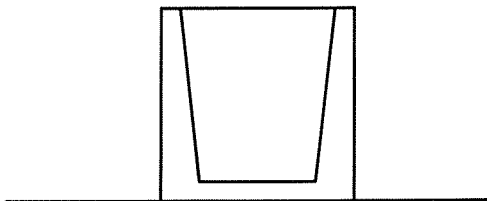
Rubble mound golfbrekers zijn zeer goed bestand tegen grote belastingen. Ze nemen echter veel ruimte in. Bij eventuele beschadigingen zijn ze vaak gemakkelijk te herstellen door het storten van een nieuwe bovenlaag. Voorwaarde hiervoor is dat niet de gehele bovenlaag beschadigd is, met als gevolg dat ook de minder sterke onderlagen beschadigd zijn.

Golven worden slechts beperkt teruggekaatst door de rubble mound golfbreker. De golven breken namelijk op de hellingen van de golfbreker zodat het grootste deel van de energie wordt opgenomen door de golfbreker. Het water rondom de golfbreker is hierdoor betrekkelijk rustig. Andere positieve punten van rubble mound golfbrekers zijn:

- Het te gebruiken materiaal is relatief goedkoop. Uitzondering hierbij is de golfbreker, uitgevoerd met een bovenlaag, bestaande uit betonnen elementen.
- Er is veel ervaring met de constructie. Het te gebruiken materieel is goed voorradig en het gedrag van de constructie is redelijk voorspelbaar.
- De constructie past zich aan aan de bodem, zelfs als deze gaat zetten.
- De golfbreker kan ook bij grote dieptes gebouwd worden.

Een nadeel is dat de constructie niet op een zachte bodem geplaatst kan worden.

## Monoliet constructie



*Figuur B1.14 : Schets monoliet golfbreker*

Een monoliet golfbreker is een gewichtsconstructie die op de bodem van de zee wordt geplaatst. De gewichtsconstructie kan als een betonnen blok worden uitgevoerd, maar vaak wordt een betonnen caisson gevuld met zand of steen. Ook kunnen meerdere kleinere blokken die aan elkaar bevestigd zijn, gebruikt worden. Hiermee kan ook op een oneffen bodem een monoliet golfbreker gebouwd worden.

De monoliet golfbreker kan op verschillende wijzen uitgevoerd worden. Zo kan de voorzijde van de constructie poreus uitgevoerd worden, waardoor de terugkaatsing van golven kleiner is. Ook kan een oud schip afgezonken worden om tijdelijk als golfbreker dienst te doen.

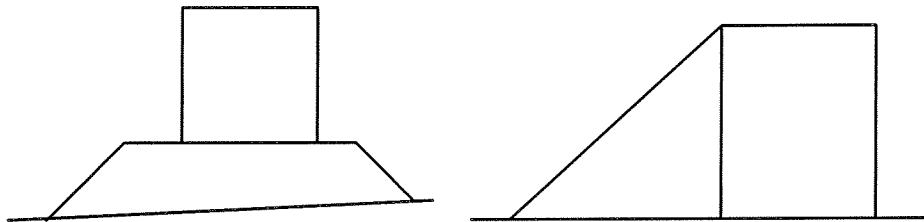
De monoliet golfbreker gebruikt weinig materiaal en ruimte in vergelijking met een rubble mound golfbreker. Verder kan in relatief korte periode een monoliet golfbreker gebouwd worden. Een nadeel van dit type golfbreker is dat wanneer de krachten te groot worden de constructie volledig onbruikbaar wordt. Een geheel nieuwe constructie zal gebouwd moeten worden. Andere goede eigenschappen van een monoliet golfbreker zijn:

- De achterzijde kan gebruikt worden als kademuur.
- De bovenzijde van de golfbreker is vlak en kan gebruikt worden als promenade, of als weg (om verder te construeren).
- Op een zachte bodem kan de gewichtsconstructie met paalfunderingen ondersteund worden.

Slechte eigenschappen zijn:

- De constructie moet wanneer geen speciale maatregelen getroffen worden op een effen bodem geplaatst worden en deze mag niet zetten.
- De caissons moeten speciaal gefabriceerd worden, wat duur is en tijd kost.

### Samengestelde golfbrekers



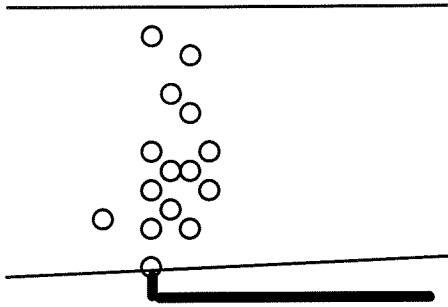
*Figuur B1.15 : Schetsen samengestelde golfbrekers*

De samengestelde golfbrekers bestaan uit een deel rubble mound en een caisson. De twee basisvormen van samengestelde golfbrekers zijn in figuur B1.15 geschetst. Deze vormen kunnen aangepast worden, afhankelijk van de eisen en randvoorwaarden.

De voordelen van rubble mound golfbrekers en monoliet golfbrekers kunnen zo gecombineerd worden. Zo kan de terugkaatsing van golven verminderd worden door aan de voorzijde van het caisson een deel rubble mound toe te passen, kan beter ingespeeld worden op een oneffen bodem door het caisson op stortsteen te funderen, kan materiaal gewonnen worden door een deel van de rubble mound golfbreker als caisson uit te voeren en kan de bovenzijde en de achterzijde van de rubble mound golfbreker optimaal gebruikt worden door deze uit te voeren als caisson.

Een nadeel is echter wel dat er meerdere constructietypen gebruikt worden wat de uitvoering duurder maakt.

## Luchtgordijn



*Figuur B1.16 : Schets luchtgordijn*

Voor een luchtgordijn is een pijp nodig die continue lucht vanaf de bodem in het water pompt. Nadeel van deze methode is dat er een continue luchtstroom nodig is, wat de methode over langere periode duur maakt. Verder werkt het luchtgordijn alleen voor zeer korte golven. Sedimenttransport wordt er niet mee gereduceerd.

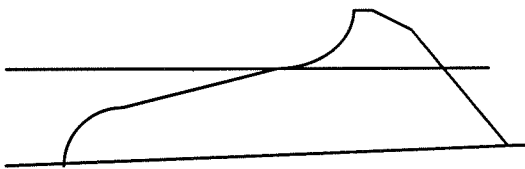
Voordelen zijn dat schepen er doorheen kunnen varen, dat het onzichtbaar is, dus esthetisch, en dat er geen ruimte door wordt ingenomen.

## Drijvende golfbrekers

Bij drijvende golfbrekers wordt een drijvende constructie op het water geplaatst. Doordat er wrijving tussen de constructie en het water bestaat, wordt energie uit de golven opgenomen. De drijvende golfbrekers kunnen uitgevoerd worden als matten van autobanden of plastic, pontons of oude schepen. De drijvende golfbrekers zijn niet geschikt om energie uit langere golven op te nemen en worden dus slechts als tijdelijke oplossingen (in de constructiefase) gebruikt. Wanneer schepen of pontons toegepast worden bestaat het gevaar dat zij gaan resoneren met de golven.

Ze kunnen wel gemakkelijk hergebruikt worden en gemakkelijk van de ene locatie naar de andere worden gedreven. Ze gebruiken weinig ruimte en zijn gemakkelijk en snel te maken en te plaatsen. Wanneer pontons toegepast worden, kan de achterzijde als kadefaciliteit benut worden.

## Bermgolfbreker



*Figuur B1.17 : Schets bermgolfbreker*

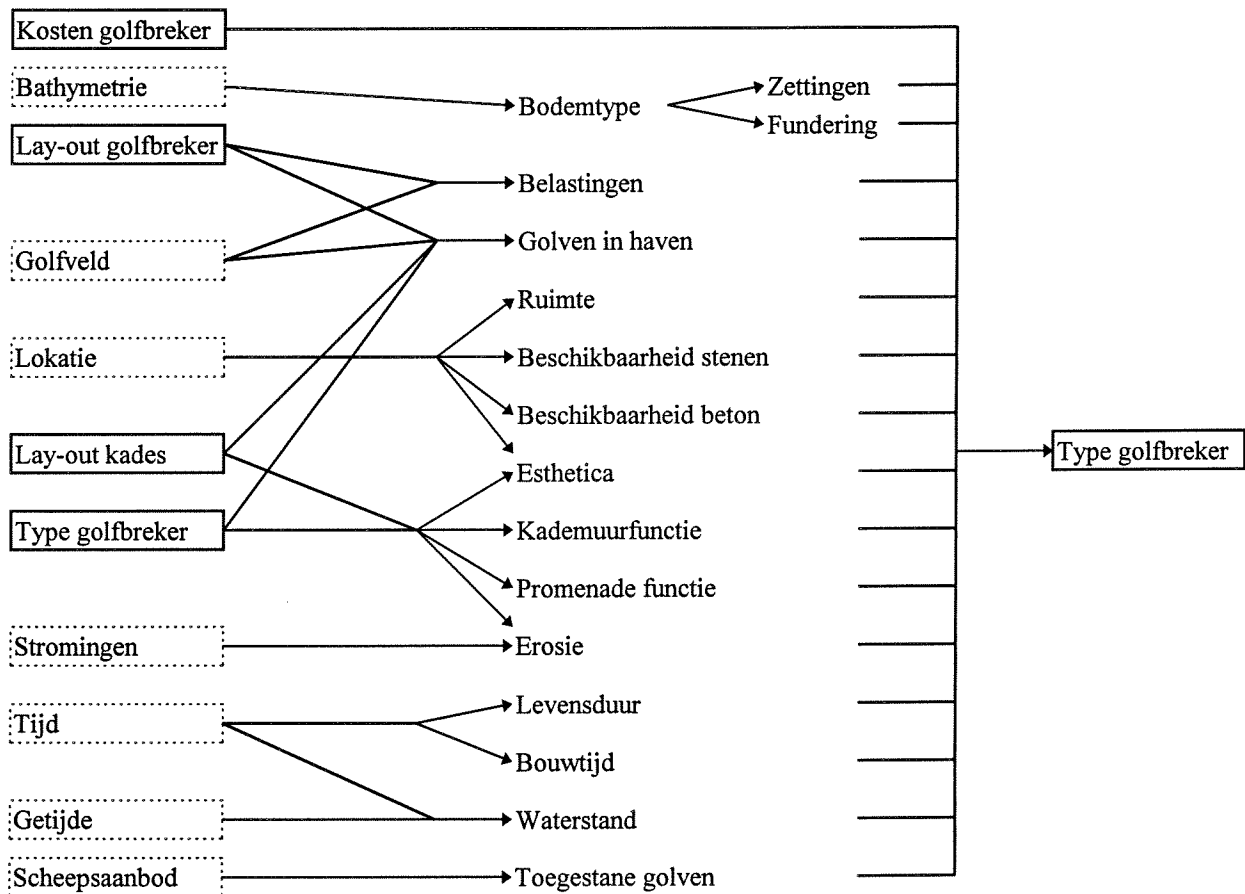
Bij een berm golfbreker wordt zeer veel stortsteenmateriaal op de bodem gestort. Door de invloeden van golven, stroming en dergelijke ontstaat na verloop van tijd een evenwichtsprofiel. Het stortsteen mag dus initieel vrij bewegen en eventueel wegslaan van de golfbreker. De golfbreker heeft voor elke golfomstandigheid een evenwichtsprofiel.

De bermgolfbreker wordt als stabiel beschouwd wanneer het bovenste deel van de golfbreker statisch stabiel is. De berm moet ervoor zorgen dat het materiaal boven water (de bovenste helling) niet beweegt. De golven breken al op de berm en verliezen hier dus hun energie. De benodigde lengte van de berm kan bepaald worden aan de hand van de ontwerpsteilheid van het bovenste deel van de golfbreker, het golfveld en de grootte van het gebruikte materiaal.

Na een storm met hoge belastingen waarbij veel materiaal is verdwenen, kan het stortsteen materiaal gemakkelijk worden aangevuld met nieuw materiaal.  
 Het bouwen van dit type golfbreker is zeer gemakkelijk. Er is slechts één soort stortsteen benodigd en dit hoeft alleen op de bodem gestort te worden. Deze golfbreker kan op ook bij grote dieptes gebouwd worden en bij oneffen bodems en het past zich aan aan zettingen van de bodem.  
 Een nadeel is dat er veel materiaal benodigd is. Dit materiaal neemt in de evenwichtssituaties ook zeer veel ruimte in. Verder moet de golfbreker regelmatig gecontroleerd worden en moet weggeslagen materiaal aangevuld worden.

### Palenrij

Hierbij wordt een rij van palen in de bodem geslagen, die de energie uit de golven haalt en de golven weerkaatst. De palen kunnen tegen elkaar aan geplaatst worden of er kunnen ruimtes tussen de palen gelaten worden. Bij de laatste variant gaat er energie door de golfbreker heen.  
 De palenrij gebruikt weinig ruimte en is goedkoop. Verder kan deze golfbreker bij elke bodem toegepast worden, omdat de palen tot op grote dieptes in de grond geheid kunnen worden. De achterzijde kan gebruikt worden als kadefaciliteit.  
 Nadeel is dat golven weerkaatst worden en niet gebroken zodat het vaarwater rondom de palenrij relatief onrustig is. Verder kunnen houten palen worden aangetast door rotting en wormen.



Afhankelijkheidsdiagram B1.19: Type golfbreker



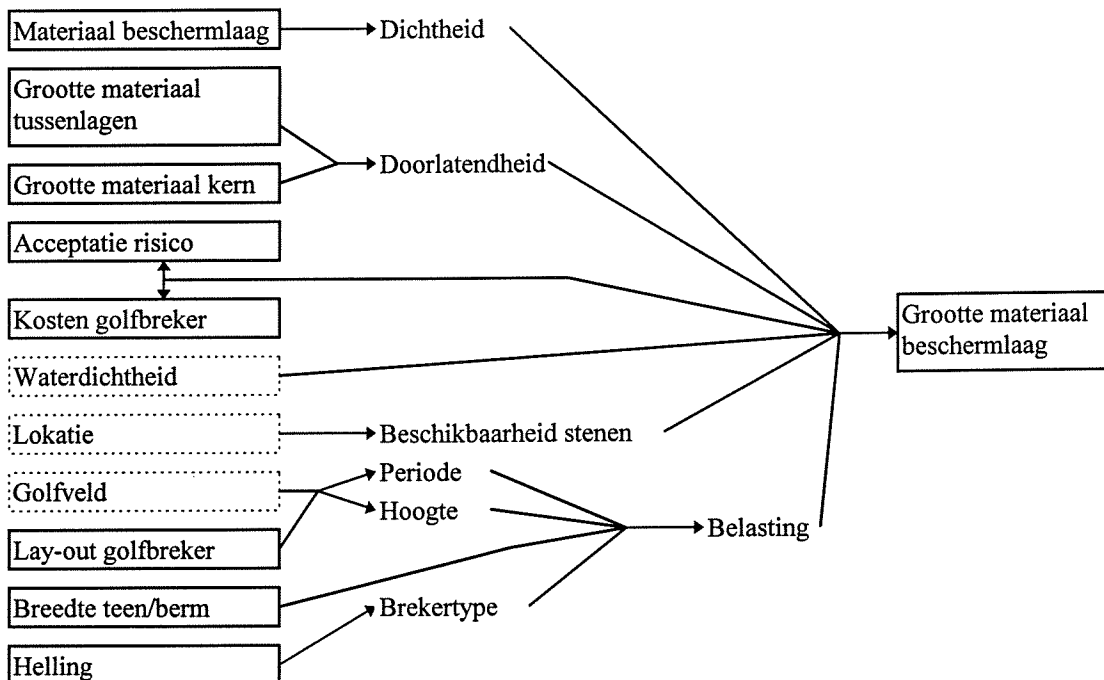
## B1.8.2 Dimensies dwarsdoorsnede rubble mound golfbreker

### Groote stenen beschermlaag

Het materiaal in de beschermlaag moet dermate veel gewicht hebben dat elk blok min of meer statisch stabiel is. De blokken worden vrijwel allemaal los gestort en hebben dus initieel geen band met elkaar. Doordat zij onder belastingen enigszins bewegen, vallen zij in elkaar. De stabiliteit van een beschermlaag wordt daardoor niet alleen bepaald door het gewicht van de individuele blokken, maar ook door de vorm van de blokken en daarmee de mate waarin zij in elkaar klitten.

Of de beschermlaag stabiel bevonden wordt, is afhankelijk van de mate van acceptatie van bewegen van de blokken, de duur van de belasting, de doorlatendheid van de onderliggende lagen, de maatgevende golfhoogten en -perioden, het gewicht van de individuele blokken (soortelijk gewicht blok, dichtheid water, grootte blok), de mate waarin de blokken in elkaar klitten en de hoek van de helling (breken golven, hoek inwendige wrijving).

De maatgevende golfomstandigheden hangen af van de levensduur van de constructie en daarmee de mate van acceptatie van schade. Enige verplaatste of verloren gegane blokken in een storm kunnen acceptabel zijn omdat dit later hersteld kan worden door nieuwe blokken te storten. Dit gaat echter wel gepaard met extra kosten. Het is vaak goedkoper de golfbreker bij de bouw sterker te maken dan later het materieel opnieuw te mobiliseren om de golfbreker te herstellen. De orde van grootte van de levensduur van een golfbreker is 50 jaar.



Afishankelijkheidsdiagram B1.20.1 : Groote materiaal beschermlaag

### Type stenen beschermlaag

#### Rotsblokken

Rotsblokken zijn vaak in grote mate beschikbaar. Uit een steengroeve kunnen rotsblokken van alle maten gehaald worden. Ook het materiaal voor de tussenlagen kan uit dezelfde groeve verkregen worden. Er moet bekeken worden of er voor de te bouwen golfbreker een nieuwe groeve geopend moet

worden of dat er in de buurt al een groeve het benodigde materiaal kan leveren. Er moet echter wel een natuurlijke rotsbodem aanwezig zijn om een groeve te kunnen openen. De kosten voor het winnen van de rotsblokken en het vervoer hiervan naar de bouwlocatie, bepalen mede de keuze voor het materiaal van de beschermlaag.

Uit een groeve kan niet een grote hoeveelheid precies even grote stenen verkregen worden. De grootte van de blokken ligt tussen bepaalde marges. Dit betekent dus dat er grotere blokken zijn en ook minder stabiele kleinere. Initieel kunnen er enige blokken verloren gaan onder de golfbelasting. De onderliggende kleine blokken zullen door de grotere blokken worden afgestopt en dus blijven liggen. De beschermlaag wordt hiermee compact. De rotsbloksgrootte in de beschermlaag wordt gedefinieerd als het gewicht waar 50% van de blokken onder blijft.

Rotsblokken hebben slechts beperkt het vermogen in elkaar te klitten. Er zullen daardoor relatief grote blokken benodigd zijn.

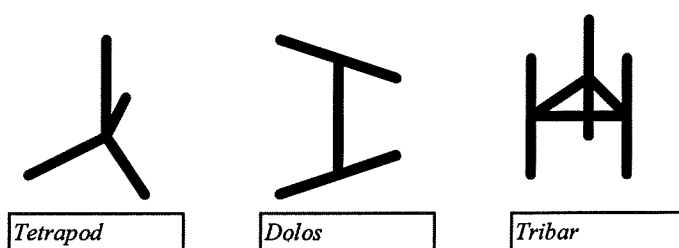
#### *Betonnen kubusblokken*

Betonnen blokken moeten speciaal gemaakt worden. Dit heeft invloed op de kosten. Doordat ze speciaal gemaakt worden, kunnen echter wel alle maten precies verkregen worden. Er zit vrijwel geen spreiding in de grootte van de blokken. Het storten van kubussen is relatief goedkoop door de rechte vorm van de kubus. Het soortelijk gewicht van de blokken kan enigszins verhoogd of verlaagd worden (normaal bedraagt het gewicht ongeveer  $2400 \text{ kg/m}^3$ ). Door de dynamische belasting bij het storten van de kubussen kunnen betonnen blokken breken en kunnen er stukken vanaf breken. Door de valhoogte te beperken bij het construeren van de golfbreker kan dit breken enigszins beperkt worden. Ook kan de sterkte verhoogd worden door het wapenen van de blokken. Voor kubussen is dit echter duur in relatie tot de sterkte winst.

Kubussen hebben niet het vermogen goed in elkaar te klitten.

#### *Afwijkende betonblokvormen*

Doordat de betonnen blokken speciaal gefabriceerd moeten worden, kan elke gewenste vorm verkregen worden. Door speciale vormen van de blokken toe te passen, kan de klitcapaciteit vergroot worden en daarmee kan de grootte van de blokken en de hoeveelheid beton beperkt worden. Er bestaat een groot aantal verschillende vormen. In figuur B1.19 zijn een aantal vormen geschetst.



*Figuur B1.19 : Schets speciale betonblokvormen*

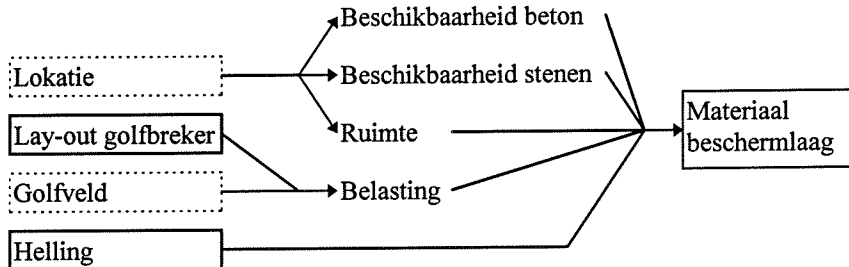
Nadeel van deze vormen is, dat zij een aantal zwakke plekken hebben. Op elk hoekpunt ontstaan momenten waardoor deze betonnen blokken gemakkelijk breken. Het wapenen van deze hoeken kan dit probleem gedeeltelijk opvangen. Dit wapenen verhoogt echter de kostprijs. Het fabriceren van deze speciale vormen is relatief duur in vergelijking met betonnen kubussen.

#### *Asfalt-rots*

Door de beschermlaag uit te voeren als een rotslaag ingebed in asfalt kan de steengrootte beperkt worden. De gehele laag gedraagt zich als zijnde één enkele gewichtssteen. Het asfalt gedraagt zich als het bindmiddel tussen de verschillende stenen.

Een nadeel van deze methode is dat het asfalt waterdichtheid is. Daardoor kan er een overdruk onder de beschermlaag ontstaan, wat ten koste gaat van de stabiliteit van de beschermlaag. Tevens wordt de golfoploop door de kleine porositeit relatief groot.

Deze problemen kunnen enigszins opgevangen worden door slechts enkele rotsen aan elkaar te plakken met asfalt en niet de gehele laag. Tussen de asfalt-rots stenen is de porositeit normaal en de overdruk kan daarlangs ontsnappen. Ook kan het asfalt vervangen worden door een gaas waarin de kleine rotsblokken samengebracht worden. De kleine rotsblokkjes gedragen zich ook hier als één enkele gewichtssteen.



Afhankelijkheidsdiagram B1.20.2 : Materiaal beschermlaag

### Hoogte beschermlaag

De beschermlaag dient tot onder het wateroppervlak door te lopen. De invloed van brekende golven is namelijk ook onder het wateroppervlak te bemerken. Brekende golven op een helling kennen naast een golfoploop (zie volgende alinea) ook een golfneergang.



Afhankelijkheidsdiagram B1.20.3 : Hoogte beschermlaag

### Kruinhoogte

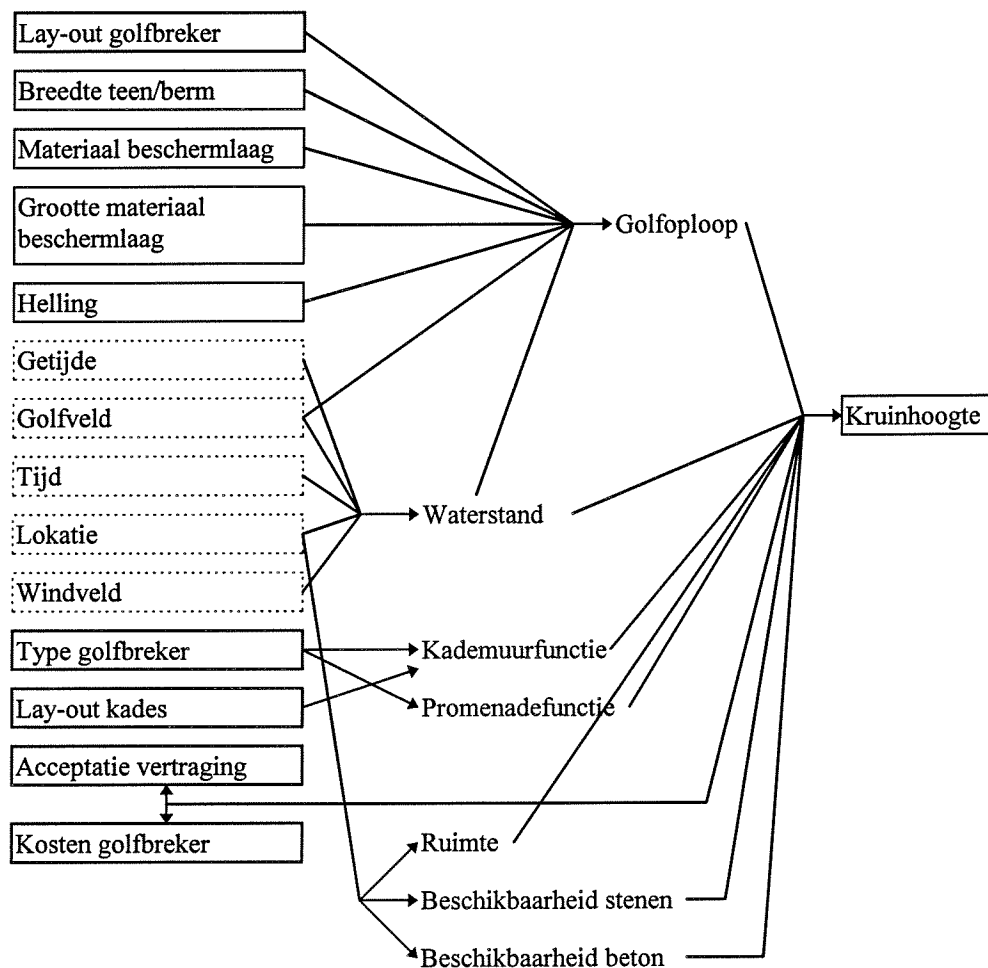
De kruinhoogte wordt gebruikt om te voorkomen dat golven de haven binnendringen over de golfbreker heen.

De inhoud van een rubble mound golfbreker neemt toe met de hoogte en voor de kosten en het ruimtegebruik geldt hetzelfde. Afgewogen moet worden welke down-time in de haven geaccepteerd wordt, ten gevolge van golfoverslag over de golfbreker. Wanneer de achterzijde van de golfbreker benut wordt als kadefaciliteit is minder golfoverslag toegestaan. De ontwerpomstandigheden voor de kruinhoogte worden door deze afweging niet bepaald door de levensduur van de constructie.

De overslag kan beperkt worden door een muur op de golfbreker te bouwen. Dit kan ten koste gaan van het uitzicht, waaraan personen aan de kant waarde kunnen hechten, maar de kosten kunnen wel beperkt worden. Met een beperking van de golfoverslag kan ook de benodigde bescherming van de achterzijde van de golfbreker beperkt blijven.

Wanneer een bepaald deel van de golven niet op de golfbreker breekt, verbetert de stabiliteit van de blokken in de beschermlaag. Er hoeft namelijk minder energie opgenomen te worden door deze laag.

Doordat golven breken op een helling, zoals bijvoorbeeld bij een rubble mound golfbreker, bereikt het water een grotere hoogte dan de golfhoogte. Dit is de golfoploop. Deze golfoploop is afhankelijk van de helling van de golfbreker, de golfsteilheid, de porositeit van de helling, de ruwheid van de helling, de hoogte van de golven, de eventuele aanwezigheid van een berm en de waterdiepte.

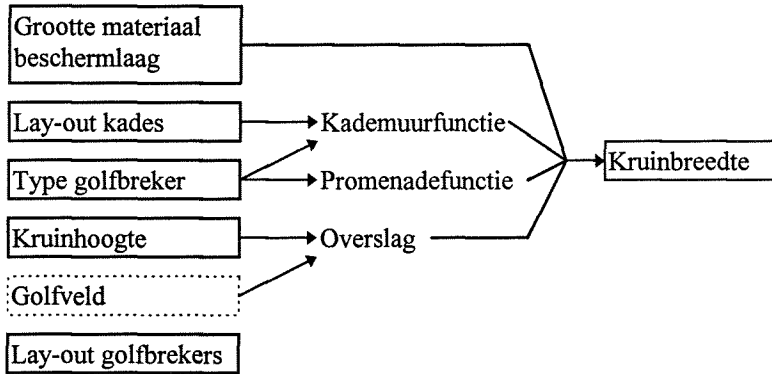


Afhankelijkheidsdiagram B1.20.4 : Kruinhoogte

### Kruinbreedte

De ruimte bovenop de golfbreker kan gebruikt worden als promenade of als weg om de verdere constructie mee te bouwen. Voor deze functies dient de kruin wel een recht oppervlak te hebben. De golfoverslag moet voor deze functies minimaal zijn.

Een andere functie van de kruin is het opnemen van de energie van overtoppende golven. De kruin bestaat daarom uit hetzelfde materiaal als de beschermlaag. Er is een bepaalde breedte van de kruin nodig, omdat de golven enige afstand nodig hebben om te breken. De golven mogen niet achter de golfbreker neervallen op het water. De kruin bestaat uit grote blokken. De breedte van de kruin kan daarom niet vrij gekozen worden maar moet een geheel aantal blokken bevatten.



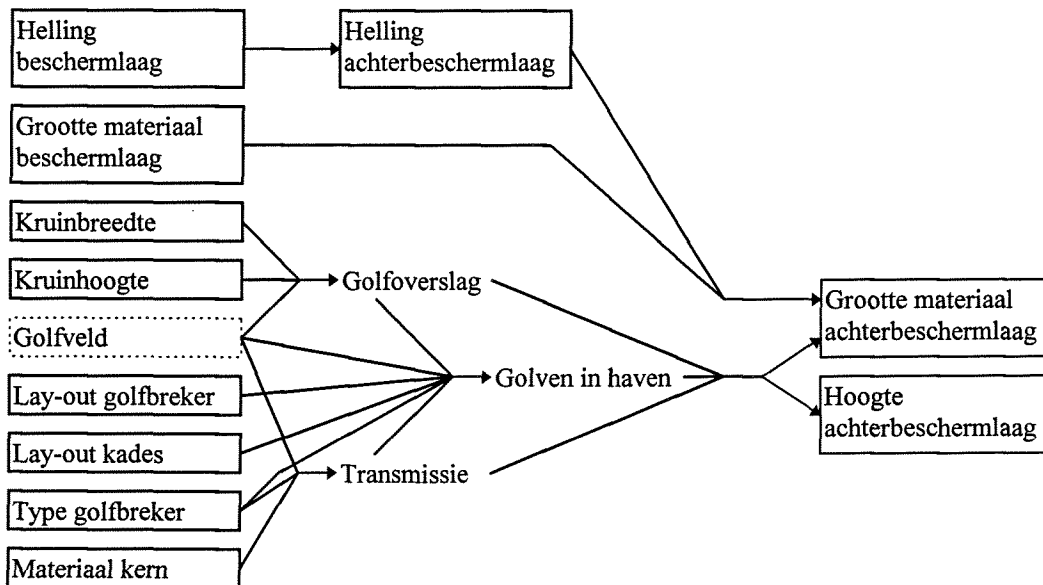
Afhankelijkheidsdiagram B1.20.5 : Kruinbreedte

### Achterbeschermlaag

Bij golfbrekers waar golfoverslag is toegestaan moet ook de achterzijde beschermd worden. De golfbelasting is aan de achterzijde vaak kleiner dan aan de voorzijde. De golven vallen hier naar beneden en aangezien de helling van de golfbreker hier ook naar beneden is gericht zijn de stenen hier niet stabiel dan aan de voorzijde van de golfbreker. Uitvoeringstechnisch is het gemakkelijk om dezelfde stenen hier toe te passen als aan de voorzijde.

Wanneer er geen overtopping is, komen de belastingen aan de achterzijde uit de golven aan de achterzijde. Deze golven kunnen door varende schepen zijn opgewekt, door golfindringing door de vaargeulopening, wind in de haven of door transmissie door de golfbrekers.

De golven die over de golfbreker slaan, kunnen een impact hebben tot onder de waterspiegel. De beschermlaag aan de achterzijde moet daarom tot onder de waterspiegel doorlopen. Bekeken moet worden bij welke lage waterstand er nog golven over de golfbreker heen slaan en hieruit kan afgeleid worden tot welke hoogte de beschermlaag moet doorlopen. Ook moet gecontroleerd worden of de golven in de haven een impact hebben op lagere hoogte.



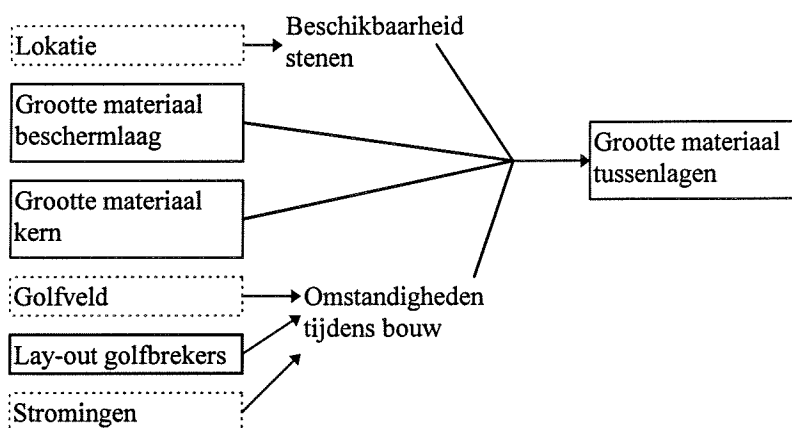
Afhankelijkheidsdiagram B1.20.6 : Achterbeschermlaag

## Materialen tussenlagen

Het materiaal in de laag onder de beschermlaag moet een maat hebben, zodanig dat de kleine blokken uit deze laag niet gemakkelijk tussen de poriën van de beschermlaag door kunnen. Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat de grotere blokken uit deze laag de kleinere afstoppen.

De tussenlagen moeten ook het kleine materiaal uit de kern verhinderen door de poriën te vloeien en verloren te gaan. Het gewicht van de stenen in een laag moet steeds rond de 1/20 zijn van de bovenliggende laag en er kunnen dus meerdere lagen benodigd zijn om het kernmateriaal op de beschermlaag aan te laten sluiten.

Tijdens de bouw van de golfbreker moet het materiaal stabiel zijn onder de golfbelasting. De beschermlaag is dan namelijk nog niet gestort.

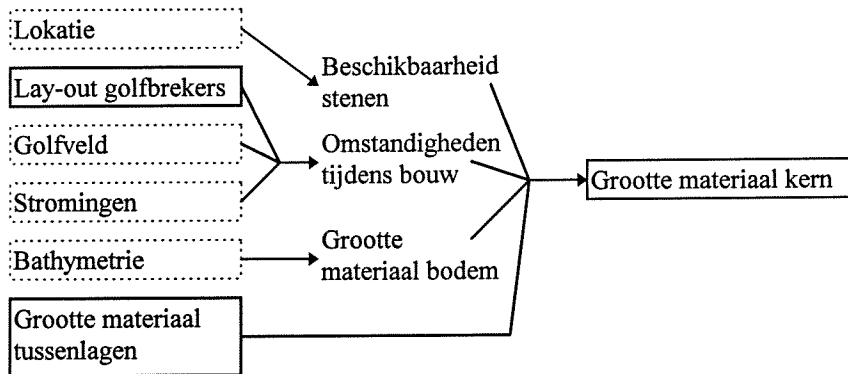


Afhankelijkheidsdiagram B1.20.7 : Tussenlagen

## Kernmateriaal

In de kern van een rubble mound golfbreker wordt materiaal gestort, dat overblijft in de groeven (quarry run). De grootte van dit materiaal is niet van belang. Het doel van dit materiaal is opvulling van de golfbreker en het dragen van de bovenliggende lagen. De spreiding van het materiaal mag echter niet te groot zijn. De kleinste korrels mogen niet door de poriën tussen grotere korrels wegspoelen. Het kernmateriaal moet enigszins waterdicht zijn, omdat anders door stroming door de golfbreker heen te veel materiaal verloren gaat. De mate van waterdichtheid heeft invloed op de krachten op de beschermlaag. Hoe hoger de ondoorlatendheid, hoe meer belasting de beschermlaag op moet nemen. De kernlaag neemt dan namelijk minder belasting op.

Het materiaal in de kern moet tijdens de bouw stabiel zijn onder de golfbelasting die in die periode heerst.



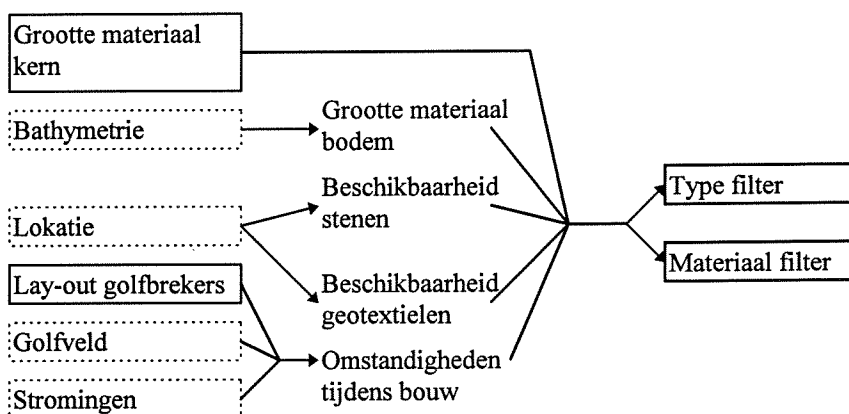
Afhankelijkheidsdiagram B1.20.8 : Grootte materiaal kern

### Filter

Het bodemmateriaal mag niet wegvloeien door de poriën van het golfbrekermateriaal. Zandkorrels hebben een gewicht in een orde van grootte van  $1 \cdot 10^8$  kg en het kernmateriaal kan een gewicht hebben in de orde van grootte van 1 kg. Er zouden dus ongeveer 6 filterlagen benodigd zijn om dit wegvloeien te voorkomen, wanneer er tussen het gewicht van deeltjes in opeenvolgende lagen steeds een factor 20 aangehouden wordt. Uitvoeringstechnisch is het zeer moeilijk dunne laagjes te storten, zodat met 6 lagen een groot hoogtebeslag ingenomen wordt door dit filter. Wanneer groter bodemmateriaal aanwezig is, is een filter van enkele lagen een goedkope oplossing.

Er bestaan geotextielen, die met weinig hoogtebeslag ook een afstoppende werking voor het bodemmateriaal hebben. Een geotextiel is een mat met gaatjes, die de waterdruk afvoeren. De gaatjes moeten zo klein zijn dat de grote bodemkorrels hier niet doorheen kunnen spoelen. De grote bodemkorrels stoppen de kleine af.

Het filter moet aan beide zijden tot ruim buiten de golfbreker doorlopen. Anders kan er door het veranderde stroomveld een ontgrondingskuil ontstaan naast de golfbreker. Dit kan ten koste gaan van de stabiliteit van de golfbreker.

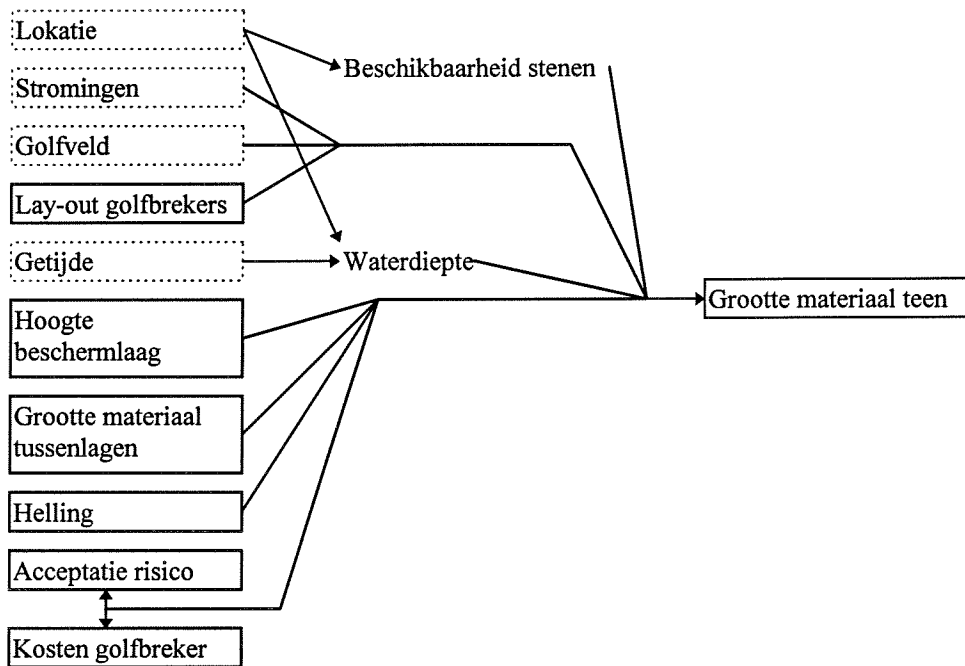


Afhankelijkheidsdiagram B1.20.9 : Filter

### Teen

De teen van een golfbreker heeft als doel de beschermlaag te ondersteunen. Doordat de teen dieper ligt dan de beschermlaag zijn de krachten ten gevolge van brekende golven ook kleiner. Bij grote teendieptes ondervindt de teen helemaal geen invloed van brekende golven. Hierdoor kan relatief licht materiaal gebruikt worden in de teen. Wel moet er rekening gehouden worden met stromingen die invloed kunnen hebben op de stabiliteit van de stenen in de teen.

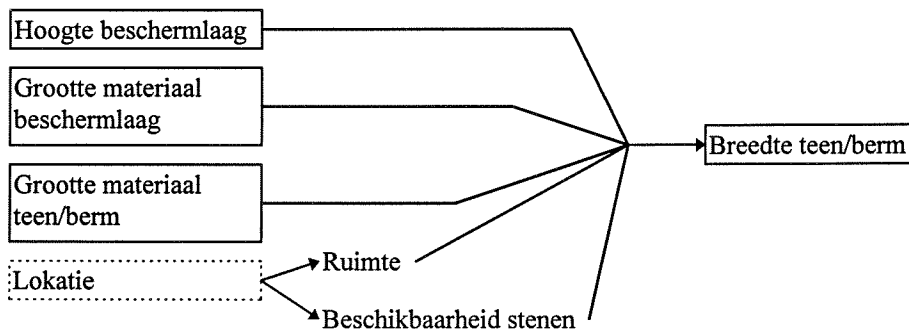
Vaak is de benodigde materiaalgrootte van eenzelfde orde van grootte als de bovenste tussenlaag. Aangezien het voor de uitvoering gemakkelijk is zoveel mogelijk hetzelfde materiaal te gebruiken, moet bekeken worden of deze twee lagen te combineren zijn.



Afhankelijkheidsdiagram B1.20.10 : Teen

De teen sluit in hoogte aan op de beschermlaag. De waterdiepte kan zo beperkt zijn dat de teen (gedeeltelijk) ingegraven moet worden in de bodem. De breedte van de teen moet zodanig zijn dat de beschermlaag altijd voldoende ondersteund is.

De teen kan ook als berm gebruikt worden. Doordat de golven hier al voor een deel breken, hoeft de beschermlaag minder energie op te nemen en kan deze laag uit lichter materiaal bestaan. De berm moet dan echter uit relatief zwaar materiaal opgebouwd zijn. Afgewogen moet worden welke kosten er voor de beschermlaag gemaakt moeten worden en welke voor de berm. In deze afweging kan de lengte van de berm en de diepte ervan gevarieerd worden. Hierbij geldt dat een lange en hoge berm veel energie opneemt. Het benodigde materiaal in de berm en in de beschermlaag volgt uit dit ontwerp.



Afhankelijkheidsdiagram B1.20.11 : Breedte teen/berm



## Hellingen

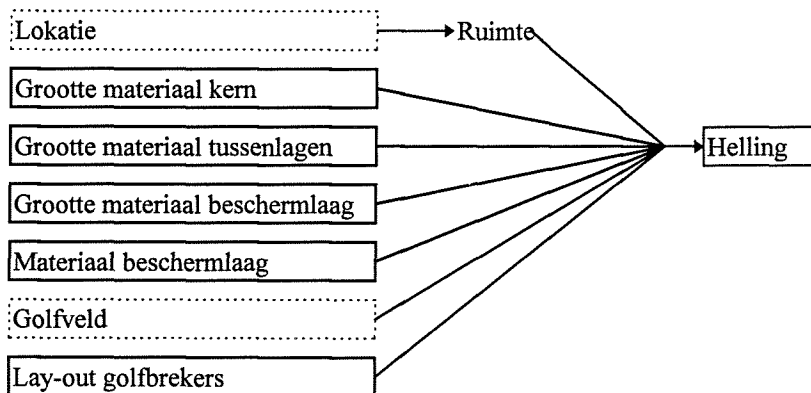
Ongebonden materiaal heeft een hoek van inwendige wrijving. Wanneer de hellingen aan de buitenzijde van de golfbreker deze hoek overschrijden, gaan de losse blokken naar beneden rollen. Tijdens het bouwen van de golfbreker liggen de onderlagen ook een periode aan de buitenzijde. Ook bij deze lagen moet dus rekening worden gehouden met de hoek van inwendige wrijving.

Hoe dichter de hellingshoeken van de golfbreker bij de hoek van inwendige wrijving van het materiaal ligt, hoe instabieler het materiaal is. Bij flauwere hellingen kan het materiaal in de beschermlaag daarom kleiner zijn. Een flauwe helling zorgt er echter wel voor dat de golfbreker breder wordt en dat er dus meer materiaal benodigd is.

Afhankelijk van de kosten voor groot materiaal en klein materiaal en de beschikbare ruimte moet een keuze gemaakt worden voor een grote of een kleine hellingshoek.

Het breken van golven en de wijze waarop dit gebeurt (plunging, surging, spilling) is afhankelijk van de hellingshoek van de ondergrond. Wanneer de hellingshoek in relatie tot de golfsteilheid zodanig is dat de golven volgens het brekertype 'collapsing' breken, zijn de krachten op de constructie het grootst. De blokken in de beschermlaag zijn dan het meest instabiel.

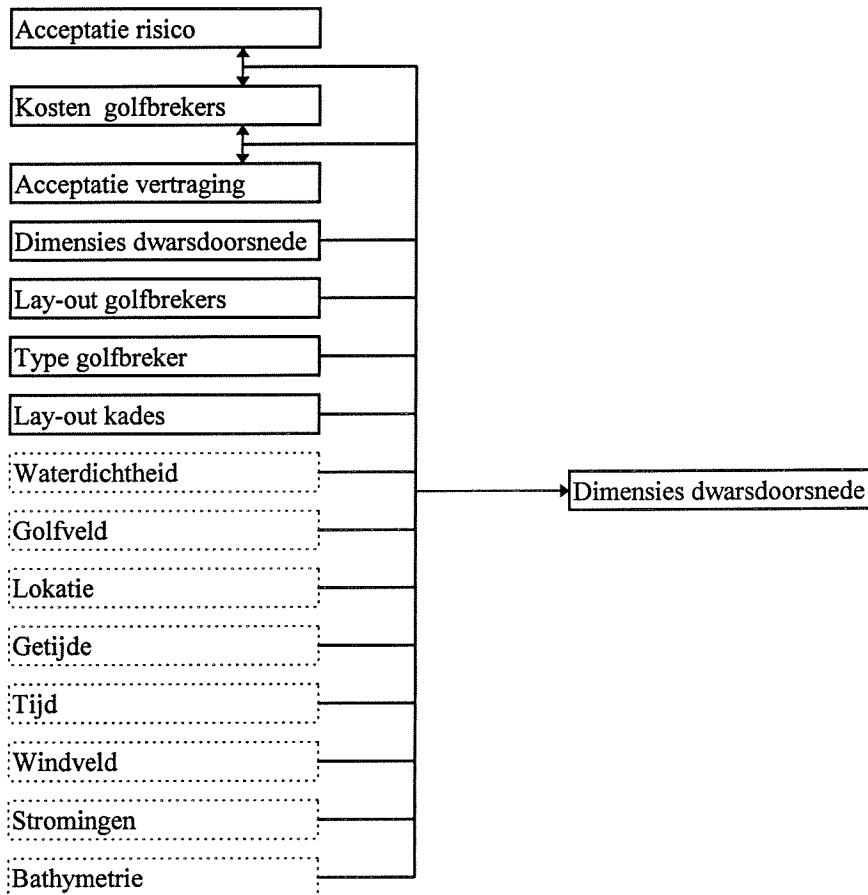
De hellingen van de onderlagen zijn vaak even groot als die in de buitenlaag. Op die manier heeft namelijk de buitenlaag een vaste en geen over de hoogte verlopende dikte. Uitvoeringstechnisch is dit het meest gemakkelijk.



Afhankelijkheidsdiagram B1.20.12 : Helling

### Samenvatting dimensies dwarsdoorsnede

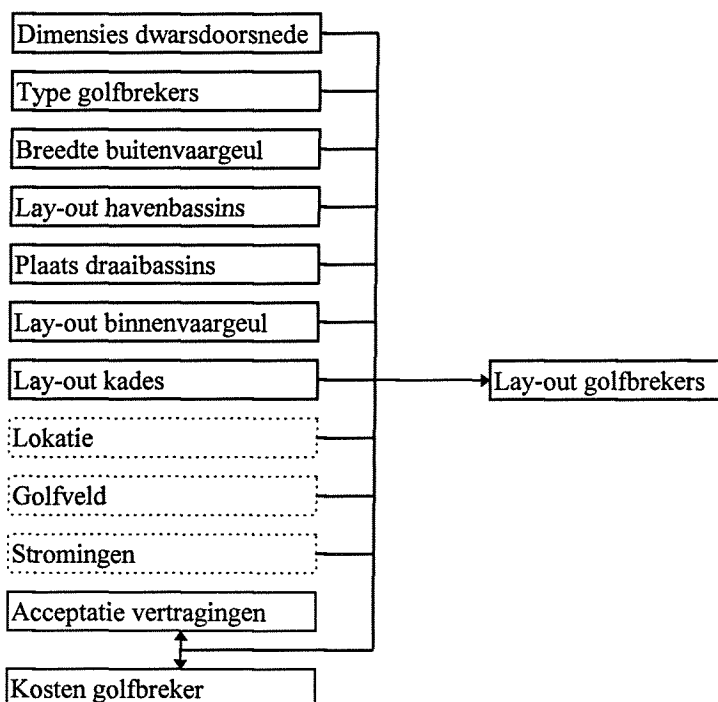
De randvoorwaarden en de ontwerpvariabelen waar de dimensies in de dwarsdoorsnede van een rubble mound golfbreker van afhankelijk zijn worden weergegeven in afhankelijkheidsdiagram B1.20.



Afhankelijkheidsdiagram B1.20 : Dimensies dwarsdoorsnede

### B1.8.3 Lay-out golfbrekers

De golfbrekers moeten zo gepositioneerd worden dat zij aan alle gestelde doelen voldoen. De belangrijkste hiervan is het voorkomen van golfindringing. De golfbrekers moeten zo kort mogelijk gehouden worden om de kosten te beperken. De gehele haven moet binnen de golfbrekers beschermd liggen. In een opening tussen de golfbrekers moet een vaargeul gesitueerd zijn waar schepen de haven binnen kunnen varen.



Afhankelijkheidsdiagram B1.21 : Lay-out golfbrekers

### B1.8.4 Uitvoeringsaspecten

De precieze uitvoering van de bouw van een golfbreker wordt hier niet behandeld. In het ontwerp moet er echter wel rekening mee gehouden worden dat de rotsen gestort worden vanaf het wateroppervlak.

De stenen kunnen daardoor niet precies geplaatst worden. Er moet rekening gehouden worden met relatief grote afwijkingen.

Verder zijn kleinere stenen in het water vatbaarder voor stromingen. Wanneer de stromingen groot zijn kan er een scheiding plaatsvinden tussen de steengroottes. In de stromingsrichting worden de deeltjes kleiner. De valsnelheid van grote blokken is in water groter dan die van kleine blokken. Zeker bij grotere dieptes komen daardoor de kleine blokken bovenop te liggen.

De beschermlaag kan vaak niet vanaf het wateroppervlak gestort worden, omdat deze laag voor een deel boven de waterspiegel uitsteekt. Wanneer de kruin effen is, kan hiervanaf de beschermlaag geplaatst worden.

Tijdens de bouw wordt eerst de quarry run gestort en daarna de volgende lagen. Er mogen geen plaatsen in het ontwerp voorkomen waar de volgorde andersom zou moeten zijn om het geheel te kunnen storten.

De blokken in de quarry run en de bovenliggende lagen moeten voldoende stabiliteit bezitten om de omstandigheden tijdens de bouw te kunnen weerstaan. Zelfs wanneer de golfbreker in de zomer gebouwd wordt zijn er namelijk nog golven aanwezig.

Bij het storten bereikt de steenslag nog niet een optimale structuur. Pas wanneer de deeltjes en blokken onder belastingen gaan bewegen, wordt de optimale structuur bereikt. Met dit mechanisme gaan zettingen gepaard.

## B1.9 Samenvatting afhankelijkheden

De samenvatting van de afhankelijkheden die in dit hoofdstuk zijn besproken wordt gegeven door een drietal tabellen. Tabel B1.1 geeft de afhankelijkheden van ontwerpvariabelen van andere ontwerpvariabelen aan. In tabel B1.2 zijn de afhankelijkheden van ontwerpvariabelen van randvoorwaarden weergegeven. De tabellen dienen van boven naar beneden gelezen te worden. De getallen boven in de tabellen representeren de ontwerpvariabelen die in de eerste tabel in de eerste kolom van boven naar beneden gegeven zijn. Als voorbeeld wordt de afhankelijkheid van de eerste kolom in de eerste tabel hier in woorden besproken. De breedte van de buitenvaargeul is afhankelijk van de diepte van de buitenvaargeul, de lay-out van de buitenvaargeul, van de acceptatie van risico en van vertragingen en van vensters.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1. Breedte buitenvaargeul															X				
2. Diepte buitenvaargeul	X	X	X																
3. Lay-out buitenvaargeul	X	X				X											X		
4. Breedte binnenvaargeul																			
5. Diepte binnenvaargeul				X	X														
6. Lay-out binnenvaargeul			X	X	X			X				X			X		X		X
7. Diameter draaibassin								X											
8. Plaats draaibassin					X	X				X					X				X
9. Breedte havenbassins										X									
10. Lay-out havenbassins					X		X	X				X			X				X
11. Type kade												X							
12. Lay-out kades					X			X	X			X	X	X	X		X		X
13. Type golfbreker													X	X	X				
14. Dimensies golfbrekers														X	X				
15. Lay-out golfbrekers			X		X	X						X	X	X					
16. Acceptatie risico	X	X		X	X			X	X			X		X					X
17. Acceptatie vertragingen	X	X	X	X	X		X	X				X		X	X				X
18. Vensters	X	X		X	X														
19. Verkeersregulering								X											

Tabel B1.1 : Afhankelijkheden tussen ontwerpvariabelen

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Bathymetrie	X	X	X	X	X	X							X	X					
Ontwerpschip	X	X	X	X	X	X	X		X			X					X		
Scheepsaanbod	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X			X	X		X
Waterdichtheid		X			X									X					
Golfveld	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X				
Stromingen	X	X	X	X	X		X	X		X			X	X	X				
Windveld	X	X	X	X	X		X	X	X					X					
Getijde		X			X								X	X					
Tijd		X			X								X	X			X		
Lokatie		X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X		
Droge infrastructuur		X			X														
Informatie	X			X															

Tabel B1.2 : Afhankelijkheden ontwerpvariabelen van randvoorwaarden

De variabelen die de kosten van de verschillende onderdelen bepalen, worden gegeven in tabel B1.3.

	Baggerkosten buitenvaargeul	Baggerkosten binnenvaargeul	Baggerkosten draaibassins	Baggerkosten havenbassins	Kosten kades	Kosten golfbrekers
Breedte buitengeul	X					
Diepte buitengeul	X					
Lay-out buitengeul	X					
Breedte binnengeul		X				
Diepte binnengeul		X				
Lay-out binnengeul		X				
Diameter draaibassin			X			
Diepte draaibassins			X			
Breedte havenbassin				X		
Diepte havenbassin				X		
Lay-out havenbassin				X		
Lay-out kades					X	
Type golfbreker						X
Lay-out golfbreker						X
Dimensies golfbreker						X
Bathymetrie	X	X	X	X	X	X
Lokatie	X	X	X	X	X	X

Tabel B1.3 : Afhankelijkheden kosten



## Bijlage C1: Formulering golflengte

In het programma CHarON moet om de golfhoogte te berekenen de golflengte bepaald worden. Deze golflengte is afhankelijk van de waterdiepte en de periode van de golven. Een geaccepteerde formulering die voor de bepaling van deze golflengte gebruikt kan worden, is de dispersie-relatie. Deze luidt als volgt:

$$(1) \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

Met:  $g$  = Gravitatieversnelling (9.81 m/s<sup>2</sup>)  
 $T$  = Periode golven  
 $L$  = Golflengte ondiep water  
 $d$  = Waterdiepte

Gezien kan worden, dat de te bepalen golflengte aan beide zijden van de vergelijking verschijnt. Om deze te bepalen moeten een aantal iteraties plaatshebben. Er bestaan tabellen waarin voor verschillende waarden van de waterdiepte en de periode de golflengte al is berekend. Bij afwijkende invoer moet echter in deze tabellen geïnterpoleerd worden.

In een computerprogramma is het moeilijk om waarden te bepalen uit een tabel. Daarom wordt in CHarON de benaderingsformule van Klopman gebruikt voor de bepaling van de golflengte. Deze luidt als volgt:

$$(2) \quad L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2$$

Met:  $L_0$  = Diep water golflengte

$$(3) \quad L_1 = L_0 \left[ 1 - e^{-\left(2\pi \frac{d}{L_0}\right)^{1.25}} \right]^{0.4}$$

Met:  $L_1$  = Hulpvariabele

Relatieve fout in  $L_1$ :  $\varepsilon_1 < 8 \times 10^{-3}$

$$(4) \quad Q = 2\pi \frac{d}{L_1}$$

Met:  $Q$  = Hulpvariabele

$$(5) \quad R = \left( \frac{Q}{\cosh Q} \right)^2$$

Met: R = Hulpvariabele

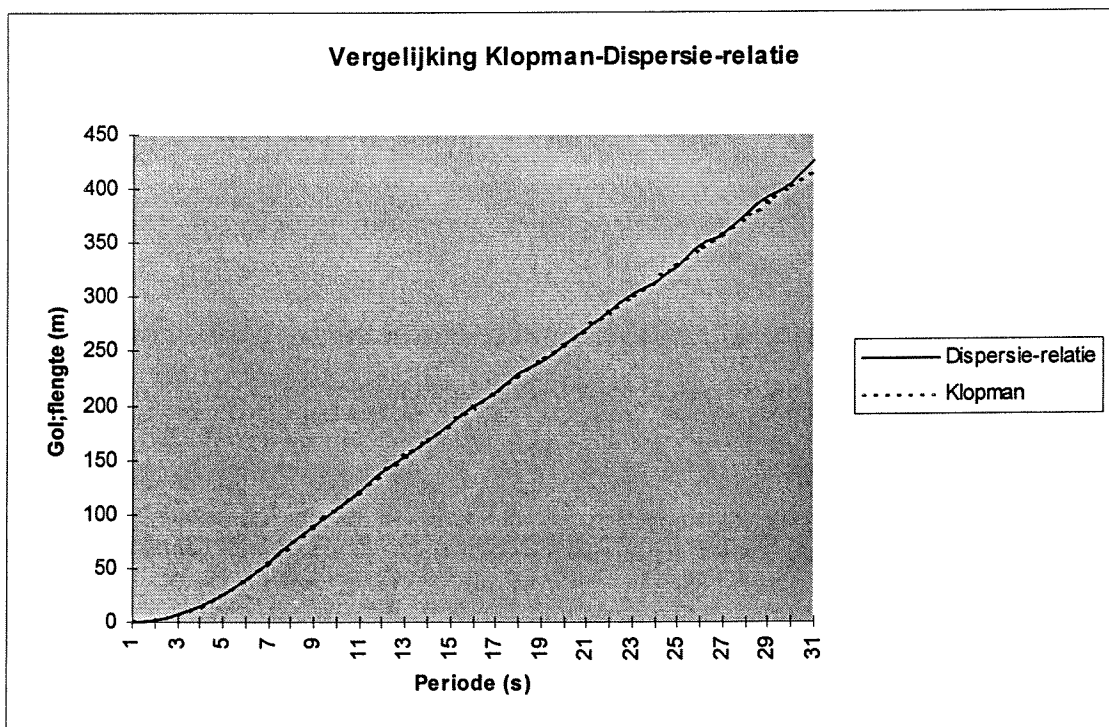
$$(6) \quad L_2 = L_1 \frac{R + Q \tanh Q}{R + \frac{2\pi d}{L_0}}$$

Met: L<sub>2</sub> = Golflengte in ondiep water

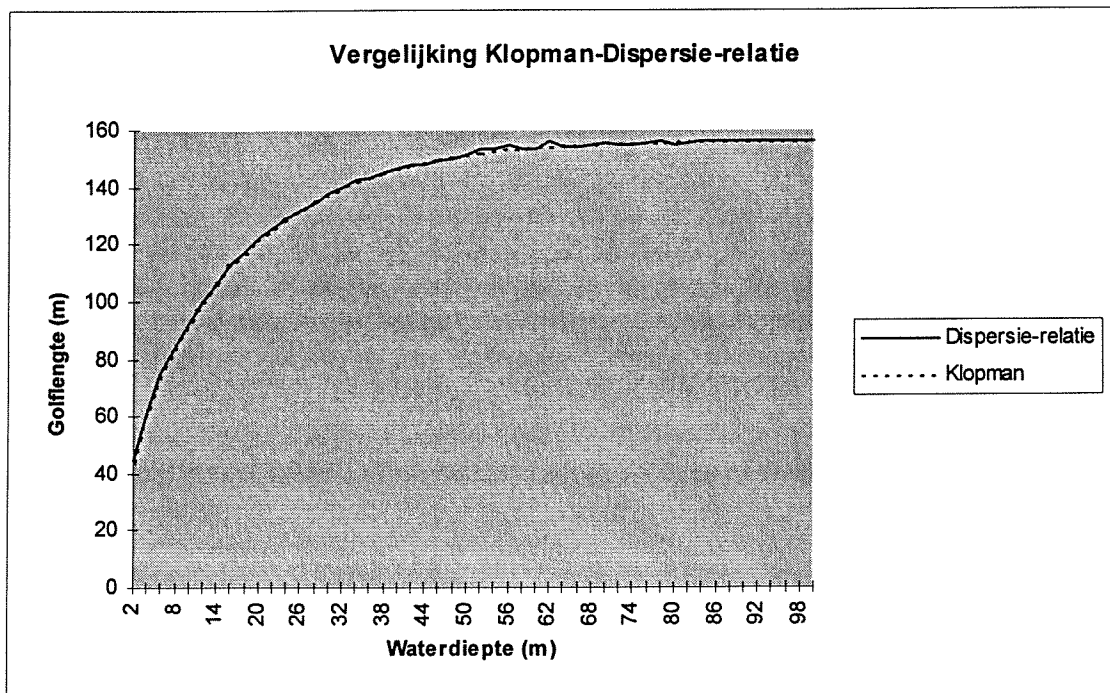
Relatieve fout in L<sub>2</sub>: ε<sub>2</sub> < 3 × 10<sup>-5</sup>

De formule van Klopman is in 1996 via personal communication verspreid. Hij is niet gepubliceerd. De volgende 2 grafieken geven een vergelijking tussen de formule van Klopman en de dispersie-relatie. Hierbij is in de eerste grafiek de periode variabel, terwijl de waterdiepte een constante waarde heeft van 20 meter. In de tweede grafiek is de waterdiepte variabel en is de periode constant 10 seconden. Opgemerkt moet worden dat bij de bepaling van de golflengte met de dispersie-relatie geïnterpoleerd moest worden tussen verschillende getabelleerde waarden.

Uit de grafieken kan gezien worden dat de golflengte berekend met de formule van Klopman overeenkomt met de golflengte berekend met de dispersie-relatie. Daaruit wordt geconcludeerd dat het gebruik van de formule van Klopman gerechtvaardigd is.









## Bijlage C2: Theorie diffractie

Het doel van deze bijlage is het afleiden van de mathematische beschrijving van de spiraal van Cornu. Deze beschrijving wordt in het programma CHarON gebruikt voor de berekening van de golfhoogten in een willekeurige haven.

De spiraal van Cornu is gebaseerd op de beschrijving van het diffractieverschijnsel van Sommerfeld.

### Vergelijking van Laplace

Voor de beweging van waterdeeltjes zijn vier differentiaalvergelijkingen op te stellen.

$$(1) \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{Continuïteitsvergelijking}$$

$$(2a) \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$(2b) \quad \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad \text{Bewegingsvergelijkingen}$$

$$(2c) \quad \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

Met:  $x, y, z$  = Plaatscoördinaten  
 $u, v, w$  = Snelheidscomponenten in respectievelijk  $x, y$ - en  $z$ -richting  
 $t$  = Tijdscoördinaat  
 $p$  = Druk  
 $\rho$  = Soortelijke massa  
 $g$  = Versnelling van de zwaartekracht

Rotatie van waterdeeltjes betekent dat waterdeeltjes roteren om een eigen as. Dit kan alleen gebeuren wanneer er een koppel op waterdeeltjes uitgeoefend wordt. Slechts schuifspanningen kunnen een koppel uitoefenen. Schuifspanningen dragen impuls over tussen verschillende waterlagen. Hiervoor is een gradient nodig in de hoeveelheid impuls. Dit kan alleen ontstaan door uitwisseling van impuls door de omgeving.

Er wordt verondersteld dat de vloeistof rotatievrij is. Mathematisch betekent dat:

$$(3) \quad \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} = 0$$

Er kan nu een snelheidspotentiaal  $\phi$  ingevoerd worden, zodanig dat:

$$(4) \quad u = \frac{\partial \phi}{\partial x}; \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y}; \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

Substitutie van (4) in (1) geeft de vergelijking van Laplace.

$$(5) \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

De snelheidspotentiaal is hierin nog een onbekende functie.

### Verticale randvoorwaarden

In verticale zin heeft zijn de randen van het probleem het wateroppervlak ( $z = \eta$ ) en de bodem ( $z = -h$ ).

Bij de bodem is door de wrijving de snelheid van de deeltjes gelijk aan 0. Er wordt hierbij uitgegaan van een vlakke, horizontale bodem.

$$(6) \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{Op } z = -h$$

Het probleem zal worden gelineariseerd. Dit betekent dat alle termen die producten bevatten van afhankelijke grootheden verwaarloosd worden. Dit is alleen mogelijk onder de aanname dat de oppervlakte-uitwijking klein is ten opzichte van de golflengte. De randvoorwaarden aan het oppervlak zullen gedefinieerd worden ter plaatse van het gemiddelde wateroppervlak ( $z = 0$ ).

Aan het wateroppervlak wordt de invloed van de lucht op het water verwaarloosd. Dit betekent dat er sprake is van vrije oppervlaktegolven, die niet plaatselijk door de wind opgewekt worden. De waterdruk is dan gelijk aan nul aan het oppervlak (7).

$$(7) \quad p = 0 \quad \text{Op } z = 0$$

Met behulp van de vergelijking van Bernoulli kan deze voorwaarde worden beschreven als (8).

$$(8) \quad \frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta = 0 \quad \text{Op } z = 0$$

Verder bestaat het vrije oppervlak steeds uit dezelfde deeltjes. De verticale snelheid van elk deeltje moet daarvoor gelijk zijn aan de toename van de waterhoogte per tijdseenheid.

$$(9) \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad \text{Op } z = 0$$

Eliminatie van  $\eta$  uit (8) en (9) geeft (10). Dit is de randvoorwaarde aan het vrije oppervlak.

$$(10) \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{Op } z = 0$$

### Formulering snelheidspotentiaal

Er moet gezocht worden naar een formulering van de snelheidspotentiaal, die voldoet aan de vergelijkingen (5), (6) en (10). Hierbij moet de oplossing harmonisch in de tijd zijn. Formule (11) maakt dit duidelijk.

$$(11) \quad \phi = \hat{\phi} \cos(\omega t) + i \hat{\phi} \sin(\omega t) = \hat{\phi} e^{i\omega t}$$

Met behulp van de methode van scheiding van variabelen kan de volgende formulering gevonden worden (12).

$$(12) \quad \phi(x, y, z) = -\frac{g \cosh(k(z+d))}{\omega \cosh(kd)} G(x, y)$$

Hierin is G een complexe functie die moet voldoen aan de formule van Helmholtz (13).

$$(13) \quad \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} + k^2 G = 0$$

### Relatie G-diffractiecoëfficiënt

De diffractiecoëfficiënt is gedefinieerd als de amplitude van de golf relatief ten opzichte van de amplitude van de ongestoorde golf (14).

$$(14) \quad K_d = \text{Amplitude totale golf} / \text{Amplitude ongestoorde golf}$$

De amplitude van de totale golf is te halen uit de randvoorwaarde voor de uitwijking van het wateroppervlak (8).

Invullen van oplossing (12) in deze randvoorwaarde levert (15).

$$(15) \quad \eta = -iG(x, y)e^{i\alpha x}$$

De amplitude van de oppervlakte-uitwijking is hierin (16).

$$(16) \quad \text{Amplitude}_\eta = \sqrt{(\text{Im}G)^2 + (\text{Re}G)^2}$$

De amplitude van de ongestoorde golf wordt op 1 gesteld, zodat de diffractiecoëfficiënt gelijk is aan de functie G(x,y).

### Horizontale randvoorwaarde

Het probleem is dus verplaatst naar het vinden van een formulering voor de functie G(x,y).

Er moeten nu een horizontale randvoorwaarde gedefinieerd worden.

Sommerfeld gaat uit van een halfoneindige golfbreker, die op de positieve x-as is gesitueerd. De randvoorwaarde die deze golfbreker representeert is (17).

$$(17) \quad \frac{\partial G}{\partial y} = 0 \quad \text{Op } y = 0$$

### Oplossing Sommerfeld

Het probleem wordt nu beschreven door de vergelijkingen (13) en (17).

Sommerfeld heeft een oplossing hiervoor geformuleerd. Deze oplossing bestaat uit twee delen. Een deel beschrijft de tegen de golfbreker gereflecteerde golven en één deel beschrijft de doorgaande golf. De gereflecteerde golf heeft zo weinig invloed op de golfhoogten achter de golfbreker dat dit deel van de oplossing verwaarloosd wordt.

De oplossing van Sommerfeld is dan (18).

$$(18) \quad G(x, y) = e^{-iky'} \frac{e^{i\frac{\pi}{4} \pm 2\sqrt{\frac{r-y}{L}}}}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{\pm 2\sqrt{\frac{r-y}{L}}} e^{-i\frac{\pi}{2}s^2} ds$$

Met:  $r$  = Afstand tot punt golfbreker  $(x^2+y^2)^{1/2}$

### Omschrijven $G(x, y)$

Er worden drie parameters geformuleerd om de oplossing te versimpelen (19), (20) en (21).

$$(19) \quad w = \frac{r-y}{L}$$

Met:  $y$  = Afstand punt tot bronpunt in richting golven (zie figuur 10.6)  
 $L$  = Golflengte (Bijlage C1)

$$(20) \quad J(N) = \frac{e^{i\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^N e^{-i\frac{\pi}{2}s^2} ds$$

$$(21) \quad N = \pm 2\sqrt{w}$$

De oplossing (18) wordt daarmee (22).

$$(22) \quad G(x, y) = e^{-iky} J(N)$$

Het eerste deel van deze formulering is een sinusoïde, zodat de amplitude van de golfbeweging gegeven wordt door  $J(N)$ .

### $J(N)$ omschrijven in Fresnel-integralen

De parameter  $J$  omvat een integraal met daarin een reëel en een imaginair deel. Deze twee delen worden gesplitst (23).

$$(23) \quad \int_{-\infty}^N e^{-i\frac{\pi}{2}s^2} ds = \int_{-\infty}^0 \cos\frac{\pi}{2}s^2 ds - i \int_{-\infty}^0 \sin\frac{\pi}{2}s^2 ds + \int_0^N \cos\frac{\pi}{2}s^2 ds - i \int_0^N \sin\frac{\pi}{2}s^2 ds$$

De vier integralen in deze vergelijking zijn bekend als de Fresnel-integralen (24).

$$(24a) \quad c(N) = \int_0^N \cos\frac{\pi}{2}s^2 ds \quad \lim_{N \rightarrow \infty} c(N) = \frac{1}{2}$$

$$(24b) \quad s(N) = \int_0^N \sin\frac{\pi}{2}s^2 ds \quad \lim_{N \rightarrow \infty} s(N) = \frac{1}{2}$$

Wanneer de Fresnel-integralen ( $c(N)$  en  $s(N)$ ) in vergelijking (23) worden ingevuld ontstaat (25).

$$(25) \quad \int_{-\infty}^N e^{-i\frac{\pi}{2}s^2} ds = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}i + c(N) - is(N)$$

Wanneer dit word ingevuld in de definitie van  $J(N)$  (20) ontstaat (26).

$$(26) \quad J(N) = \frac{e^{i\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2}} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2}i + c(N) - is(N) \right)$$

### Benadering Fresnel-integralen

De Fresnel-integralen  $c(N)$  en  $s(N)$  kunnen benaderd worden met behulp van (27) en (28).

$$(27) \quad f(N) = \frac{1 + 0.926N}{2 + 1.792N + 3.104N^2} + \varepsilon(N) \quad |\varepsilon(N)| \leq 2 \times 10^{-3}$$

$$(28) \quad g(N) = \frac{1}{2 + 2.142N + 3.492N^2 + 6.670N^3} + \varepsilon(N) \quad |\varepsilon(N)| \leq 2 \times 10^{-3}$$

Formule (24) gaat volgens de benadering over in (29).

$$(29a) \quad c(N) = \frac{1}{2} + f(N) \sin\left(\frac{\pi}{2}N^2\right) - g(N) \cos\left(\frac{\pi}{2}N^2\right)$$

$$(29b) \quad s(N) = \frac{1}{2} - f(N) \cos\left(\frac{\pi}{2}N^2\right) - g(N) \sin\left(\frac{\pi}{2}N^2\right)$$

### Reëel en imaginair deel $J(N)$

Het complexe exponentiële deel van  $J(N)$  kan worden omgeschreven tot (30).

$$(30) \quad \frac{e^{i\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2}} = \frac{i}{\sqrt{2}} \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) + \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

Formule (30) invullen in (26) geeft (31).

$$(31) \quad J(N) = \left( \frac{i}{\sqrt{2}} \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) + \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \right) \times \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2}i + c(N) - is(N) \right)$$

Wiskundig uitwerken en splitsen in een imaginair deel en een reëel deel geeft (32).

$$(32a) \quad \text{Im} J(N) = \frac{1}{2}(c(N) - s(N))$$

$$(32b) \quad \text{Re} J(N) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}(c(N) + s(N))$$

### **Spiraal van Cornu**

Zoals in (16) beschreven is, geeft (32) de oplossing van het probleem. Grafisch kan deze oplossing worden weergegeven door (32b) op de x-as uit te zetten en (32a) op de y-as. Wanneer dit voor zeer veel waarden van N gebeurt ontstaat de spiraal van Cornu. Voor willekeurige waarden van N kan nu in deze figuur een punt bepaald worden. De afstand tussen het punt en het nulpunt in de grafiek representeert de diffractiecoëfficiënt.



## Bijlage C3: Programma listing CHarON

```
PROGRAM CHarON (Input,Output);

{Stack- and heapsizes}
{$M 65520,0,655360}

USES
CRT,Graph,UnitReken,UnitOmzet,UnitResu,UnitRand,UnitDoel,
UnitReflec,UnitBron,UnitTekan,UnitDecl;

Label 1;
Label 2;
Label 3;

PROCEDURE Grafisch;

Var
i1,i2 : Integer;

Begin
TextColor(Black);
i1 := Detect;
InitGraph(i1,i2,"");
SetColor(yellow);
End;

FUNCTION RealToStr(i : Real) : String;

Var
s : String[7];

Begin
Str(i:7:1,s);
RealToStr := s;
End;

FUNCTION IntToStr(i : Integer) :String;

Var
s : String;

Begin
Str(i,s);
IntToStr := s;
End;

PROCEDURE VierkantEromheen;

Const
Vierkant: Array[1..5] Of Pointtype =
((X:20;Y:10),(X:625;Y:10),(X:625;Y:450),(X:20;Y:450),(X:20;Y:10));

Begin
SetColor(White);
SetLineStyle(Solidln,0,Normwidth);
DrawPoly(Sizeof(Vierkant)div Sizeof(Pointtype),Vierkant);
End;

PROCEDURE InvoerIn;
```

```
Begin
Assign(Invoer,Naam);
Reset(Invoer);

Readln(Invoer,Basin);
Readln(Invoer,NaamIn);
Readln(Invoer,NaamUit);
Readln(Invoer,HGolfBuiten);
Readln(Invoer,Periode);
Readln(Invoer,Golflengte);
Readln(Invoer,Waterdiepte);
Readln(Invoer,HoekBuiten);

Readln(Invoer,AantalBr);
Readln(Invoer,PreciesBron);

BrTeller := 0;
FOR BrTeller := 1 TO (2*AantalBr) DO
Begin
Readln(Invoer,XBr[BrTeller]);
Readln(Invoer,YBr[BrTeller]);
End;

Readln(Invoer,AantalLijnDoel);
LijnDoelTeller := 0;
FOR LijnDoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
Begin
Readln(Invoer,XLijnDoel[LijnDoelTeller]);
Readln(Invoer,YLijnDoel[LijnDoelTeller]);
Readln(Invoer,PreciesDoel[LijnDoelteller]);
End;

Readln(Invoer,AantalLijnReflec);
LijnReflecTeller := 0;
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO
Begin
Readln(Invoer,XLijnReflec[LijnReflecTeller]);
Readln(Invoer,YLijnReflec[LijnReflecTeller]);
Readln(Invoer,PreciesReflec[LijnReflecTeller]);
Readln(Invoer,Reflectie[LijnReflecTeller]);
End;

Close(Invoer);
End;

PROCEDURE OpslaanIn;

Begin
Grafisch;
CLRSCR;
VierkantEromheen;

SetColor(green);
SetTextStyle(1,horizdir,4);
OuttextXY(110,40,'Filename to save input');

Setcolor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,1);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,7);
OuttextXY(110,380,'Name: ..... ');
```

```
SetColor(Yellow);
SetTextStyle(1,horizdir,2);
OuttextXY(110,160,'Insert filename');

Repeat
  TextColor(White);
  GotoXY(33,25);
  Readln(NaamIn);
  TextColor(Black);
  Until (Naam<>");

Closegraph;

Assign(Opslag,NaamIn);
Rewrite(Opslag);
Assign(Opslag,NaamIn);
Append(Opslag);

Writeln(Opslag,Basin);
Writeln(Opslag,NaamIn);
Writeln(Opslag,NaamUit);
Writeln(Opslag,HGolfBuiten);
Writeln(Opslag,Periode);
Writeln(Opslag,Golflengte);
Writeln(Opslag,Waterdiepte);
Writeln(Opslag,HoekBuiten);

Writeln(Opslag,AantalBr);
Writeln(Opslag,PreciesBron);
BrTeller := 0;
FOR BrTeller := 1 TO (2*AantalBr) DO
  Begin
    Writeln(Opslag,XBr[BrTeller]);
    Writeln(Opslag,YBr[BrTeller]);
  End;

Writeln(Opslag,AantalLijnDoel);
LijnDoelTeller := 0;
FOR LijnDoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
  Begin
    Writeln(Opslag,XLijnDoel[LijnDoelTeller]);
    Writeln(Opslag,YLijnDoel[LijnDoelTeller]);
    Writeln(Opslag,PreciesDoel[LijnDoelTeller]);
  End;

Writeln(Opslag,AantalLijnReflec);
LijnReflecTeller := 0;
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO
  Begin
    Writeln(Opslag,XLijnReflec[LijnReflecTeller]);
    Writeln(Opslag,YLijnReflec[LijnReflecTeller]);
    Writeln(Opslag,PreciesReflec[LijnReflecTeller]);
    Writeln(Opslag,Reflectie[LijnReflecTeller]);
  End;

Close(Opslag);
End;

PROCEDURE OpslaanUit;

Begin
  Grafisch;
  CLRSCR;
  VierkantEromheen;

  SetColor(Green);
  SetTextStyle(1,horizdir,4);
```

```
OuttextXY(110,40,'Filename to save results');

SetColor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,1);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,7);
OuttextXY(110,380,'Name: ..... ');

SetColor(Yellow);
SetTextStyle(1,horizdir,2);
OuttextXY(110,160,'Insert filename');

Repeat
  Textcolor(White);
  GotoXY(33,25);
  Readln(NaamUit);
  TextColor(Black);
  Until (Naam<>"");

Closegraph;

Assign(Opslag,NaamUit);
Rewrite(Opslag);
Assign(Opslag,NaamUit);
Append(Opslag);

DoelTeller := 0;
FOR DoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
  Begin
    Writeln(Opslag,XDoel[DoelTeller]);
    Writeln(Opslag,YDoel[DoelTeller]);
    Writeln(Opslag,Huitvoer[Doelteller]);
    Writeln(Opslag,FaseUit[Doelteller]);
  End;

Close(Opslag);
End;

PROCEDURE ControleR;

Begin
  Repeat
    GotoXY(PosX,PosY);
    Readln(Inv);
    Val(Inv,Correct1,Rest);
    IF Rest<> 0 THEN Write(Chr(7));
  Until Rest=0;
End;

PROCEDURE ControleI;

Begin
  Repeat
    GotoXY(PosX,PosY);
    Readln(Inv);
    Val(Inv,Correct2,Rest);
    IF Rest<> 0 THEN Write(Chr(7));
  Until Rest=0;
End;
```

---

```
PROCEDURE Keuzemenu2;
```

```

Begin
Repeat
  Grafisch;
  CLRSCR;
  VierkantEromheen;

  SetColor(Yellow);
  SetTextStyle(1,horizdir,2);
  OuttextXY(110,120,'1. Boundary conditions');
  OutTextXY(110,150,'2. Entrances');
  OuttextXY(110,180,'3. Reflecting edges');
  OuttextXY(110,210,'4. Output');
  OuttextXY(110,240,'5. Plot schematisation on monitor');
  OuttextXY(110,270,'6. Calculation');
  OuttextXY(110,300,'7. Return to previous menu');

  SetColor(Green);
  SetTextStyle(1,horizdir,4);
  OuttextXY(110,40,'Menu 2: Schematisation');

  SetColor(White);
  SetTextStyle(5,horizdir,10);
  OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

  SetColor(White);
  SetLineStyle(solidln,0,1);
  Line(20,100,625,100);
  Line(20,350,625,350);

  SetColor(Lightred);
  SetTextStyle(2,horizdir,7);
  OuttextXY(110,380,'Choice: ... ');

  SetColor(White);
  SettextStyle(2,horizdir,6);
  Keuze2 := Readkey;
  OuttextXY(255,380,Keuze2);
  IF (Keuze2 <> '1') AND (Keuze2 <> '2') AND (Keuze2 <> '3') AND (Keuze2 <> '4')
    AND (Keuze2 <> '5') AND (Keuze2 <> '6') AND (Keuze2 <> '7') THEN Writeln(chr(7));
  Readln;

  Closegraph;
  Until (Keuze2 = '1') OR (Keuze2 = '2') OR (Keuze2 = '3') OR (Keuze2 = '4') OR
    (Keuze2 = '5') OR (Keuze2 = '6') OR (Keuze2 = '7');
End;
```

```
PROCEDURE Keuzemenu3;
```

```

Begin
Repeat
  Grafisch;
  CLRSCR;
  VierkantEromheen;

  SetColor(Yellow);
  SetTextStyle(1,horizdir,2);
  OuttextXY(110,120,'1. Plot results on monitor');
  OuttextXY(110,165,'2. Save results');
  OuttextXY(110,210,'3. Save input');
  OuttextXY(110,255,'4. Change input');
  OuttextXY(110,300,'5. Quit');

  SetColor(Green);
  SetTextStyle(1,horizdir,4);
  OuttextXY(110,40,'Menu 3: Results');
```

```
SetColor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OuttextXY(500,425,'<ENTER>');
```

```
SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,1);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);
```

```
SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,7);
OuttextXY(110,380,'Choice: ... ');
```

```
SetColor(White);
SettextStyle(2,horizdir,6);
Keuze8 := Readkey;
OuttextXY(255,380,Keuze8);
IF (Keuze8 <> '1') AND (Keuze8 <> '2') AND (Keuze8 <> '3') AND
  (Keuze8 <> '4') AND (Keuze8 <> '5') THEN Writeln(chr(7));
Readln;
```

```
Closegraph;
Until (Keuze8 = '1') OR (Keuze8 = '2') OR (Keuze8 = '3') OR (Keuze8 = '4')
  OR (Keuze8 = '5');
End;
```

PROCEDURE Titelblad;

```
Begin
Grafisch;
CLRSCR;
```

```
SetColor(Green);
SettextStyle(1,horizdir,7);
OuttextXY(230,80,'CHArON');
```

```
SetColor(6);
SettextStyle(1,Horizdir,3);
OutTextXY(222,69,'*****');
OuttextXY(222,140,'*****');
VierkantEromheen;
```

```
SetColor(Yellow);
SetTextStyle(2,HorizDir,5);
OuttextXY(100,260,'Harbour Oscillation');
OuttextXY(100,280,'June 1998');
OutTextXY(100,300,'w|delft hydraulics \ TU Delft');
OutTextXY(100,320,'Author: G.P.Bos');
```

```
SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,3);
Line(400,280,550,380);
```

```
SetColor(Red);
Line(432,300,480,250);
Line(480,250,550,250);
Line(510,350,530,270);
```

```
SetColor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OutTextXY(500,425,'<ENTER>');
```

```
Readln;
```

```
Closegraph;
End;
```

```

PROCEDURE Filenaam;

Var
i : integer;

Begin
i := 2;
Repeat
Grafisch;
CLRSCR;
VierkantEromheen;

SetColor(green);
SetTextStyle(1,horizdir,4);
OuttextXY(110,40,'Filename to load input');

SetColor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,1);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,7);
OuttextXY(110,380,'Name: ..... ');

SetColor(Yellow);
SetTextStyle(1,horizdir,2);
OuttextXY(110,160,'Insert filename');

IF i = 1 THEN
Begin
Writeln(Chr(7));

SetColor(Red);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OutTextXY(23,418,'*****');
SetColor(White);
OuttextXY(23,428,'          File not found          ');
SetColor(Red);
OuttextXY(23,438,'*****');
OuttextXY(23,425,'*');
OuttextXY(23,431,'*');
OuttextXY(399,425,'*');
OuttextXY(399,431,'*');
End;
{$I-}
Repeat
GotoXY(33,25);
Textbackground(1);
GotoXY(33,25);
TextColor(White);
Readln(Naam);
TextColor(Black);
Until (Naam<>");
Assign(Invoer,Naam);
Reset(Invoer);
IF Ioresult <> 0 THEN
Begin
i := 1;
End;
Assign(Invoer,Naam);
Reset(Invoer);

Closegraph;
Until Ioresult = 0;

```

```
{I+}  
End;
```

```
PROCEDURE Keuzemenu1;
```

```
Begin
```

```
Repeat
```

```
  Grafisch;  
  CLRSCR;  
  VierkantEromheen;
```

```
  SetColor(Yellow);  
  SetTextStyle(1,horizdir,2);  
  OuttextXY(110,160,'1.  Input from file');  
  OutTextXY(110,210,'2.  Manual input');  
  OuttextXY(110,260,'3.  Quit');
```

```
  SetColor(Green);  
  SetTextStyle(1,horizdir,4);  
  OuttextXY(110,40,'Menu 1: Type of input');
```

```
  Setcolor(White);  
  SetTextStyle(5,horizdir,10);  
  OuttextXY(500,425,'<ENTER>');
```

```
  SetColor(White);  
  SetLineStyle(solidln,0,1);  
  Line(20,100,625,100);  
  Line(20,350,625,350);
```

```
  SetColor(Lightred);  
  SetTextStyle(2,horizdir,7);  
  OuttextXY(110,380,'Choice:  ... ');
```

```
  SetColor(White);  
  SetTextStyle(2,horizdir,6);  
  Keuze1 := Readkey;  
  OuttextXY(255,380,Keuze1);  
  IF (Keuze1 <> '1') AND (Keuze1 <> '2') AND (Keuze1 <> '3') THEN  
    Writeln(chr(7));
```

```
  Readln;  
  Closegraph;  
  Until (Keuze1 = '1') OR (Keuze1 = '2') OR (Keuze1 = '3');
```

```
Case Keuze1 Of  
  '1' : Filenaam;  
  '2' : Naam := 'default';  
End;  
End;
```

```
{HOOFDPROGRAMMA}
```

```
Begin
```

```
  Titelblad;  
  2:
```

```
  Keuzemenu1;  
  IF Keuze1 = '3' THEN Goto 1;
```

```
  InvoerIn;  
  Keuze2 := '9';
```

```
  3:  
  Repeat  
    Keuzemenu2;
```



---

```

CASE Keuze2 of
'1': UnitRand.VeranderRand;
'2': UnitBron.VeranderBron;
'3': UnitReflec.VeranderReflec;
'4': UnitDoel.VeranderDoel;
'5': UnitTeken.Tekening;
'7': Goto 2;
End;
Until (Keuze2 = '6');

UnitOmzet.Omzet;
UnitReken.Berekening;

Keuze8 := '6';
Repeat
Keuzemenu3;
Case Keuze8 Of
'1': UnitResu.Grafiek;
'2': OpslaanUit;
'3': OpslaanIn;
'4': Goto 3;
'5': Goto 1;
End;
Until (keuze8 = '5');
1:
End.

Unit UnitDecl;

INTERFACE

USES
Crt;

CONST
Pi          = 3.141592654;
G          = 9.81;

TYPE
EenDimen    = ARRAY [1..30] OF Real;
EenDimenInt = ARRAY [1..30] OF Integer;
EenDimenVeel = ARRAY [1..500] OF Real;

VAR
HGolfBuiten,Periode,Golflengte,
Waterdiepte,HoekBuiten,BuitenFase,

PreciesBron,Hoogtepunt,Fasepunt,
Correct1          : Real;

XLijnReflec,YLijnReflec,
PreciesReflec,Reflectie,

XBr,YBr,

PreciesDoel,
XLijnDoel,YLijnDoel          : EenDimen;

XReflec,YReflec,XBron,YBron,FaseBron,

XDoel,YDoel,

Hoogterand,FaseRand,Richtingrand,

```

---

Huitvoer,Faseuit : EenDimenVeel;

AantalReflec,BeginReflecTeller,  
EindReflecTeller : EenDimenInt;

BrTeller,AantalBr,BronTeller,  
AantalBron,

LijnReflecTeller,AantalLijnReflec,  
Tellerreflec,Maalreflec,Telreflec,

LijnDoelTeller,AantalLijnDoel,  
Doelteller,AantalDoel,

Rest,Correct2,PosX,PosY,Basin,  
Telle,Tellie : Integer;

Naam,Naamin,Naamuit,Inv : String;

Opslag,Invoer : Text;

Keuze1,Keuze2,Keuze3,Keuze4,  
Keuze5,Keuze6,Keuze7,Keuze8 : Char;

IMPLEMENTATION

End.

UNIT UnitRand;

INTERFACE

USES

Graph,Crt,UnitDecl;

PROCEDURE VeranderRand;

IMPLEMENTATION

PROCEDURE ControleR;

Begin

Repeat

GotoXY(PosX,PosY);

Readln(Inv);

Val(Inv,Correct1,Rest);

IF Rest <> 0 THEN Write(Chr(7));

Until Rest = 0;

End;

PROCEDURE ControleI;

Begin

Repeat

```
GotoXY(PosX,Pos Y);
Readln(Inv);
Val(Inv,Correct2,Rest);
IF Rest<> 0 THEN Write(Chr(7));
Until Rest = 0;
End;
```

```
PROCEDURE Grafisch;
```

```
Var
i1,i2 : Integer;

Begin
TextColor(Black);
i1 := Detect;
InitGraph(i1,i2,"");
SetColor(Yellow);
End;
```

```
PROCEDURE VierkantEromheen;
```

```
Const
Vierkant : Array[1..5] Of Pointtype =
((X:20;Y:10),(X:625;Y:10),(X:625;Y:450),(X:20;Y:450),(X:20;Y:10));

Begin
SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,Normwidth);
DrawPoly(Sizeof(Vierkant)div Sizeof(Pointtype),Vierkant);
End;
```

```
FUNCTION RealToStr(i : Real) : String;
```

```
Var
s : String[7];

Begin
Str(i:7:1,s);
RealToStr := s;
End;
```

```
FUNCTION IntToStr(i : Integer) : String;
```

```
Var
s : String;

Begin
Str(i,s);
IntToStr := s;
End;
```

```
PROCEDURE VeranderRand;
```

```
Begin
Keuze6 := '3';
Repeat
Grafisch;
CLRSCR;
VierkantEromheen;

SetColor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OuttextXY(500,425,'<ENTER>');
```

```
SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,1);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);

SetColor(Green);
SetTextStyle(1,horizdir,4);
OuttextXY(110,40,'Boundary conditions');

SetColor(Yellow);
SetTextStyle(1,horizdir,2);
OuttextXY(110,140,'Waveheight');
OuttextXY(110,188,'Waveperiod');
OuttextXY(110,236,'Waterdepth');
OuttextXY(110,284,'Direction of waves');
OuttextXY(400,140,RealToStr(HGolfBuiten));
OuttextXY(400,188,RealToStr(Periode));
OuttextXY(400,236,RealToStr(Waterdiepte));
OuttextXY(400,284,RealToStr(HoekBuiten));
OuttextXY(400,140,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,188,'( ) [ s ]');
OuttextXY(400,236,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,284,'( ) [ *pi ]');

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,360,'1. Change boundary conditions');
OuttextXY(110,375,'2. Finished');
OuttextXY(110,395,'Choice: ...');

SetColor(White);
Keuze6 := Readkey;
OuttextXY(205,395,Keuze6);
IF (Keuze6 <> '1') AND (Keuze6 <> '2') THEN Writeln(chr(7));
Readln;
IF (Keuze6 = '1') THEN
Begin
  TextColor(White);
  Repeat
    OuttextXY(350,146,'...');
    PosX := 45;
    PosY := 10;
    ControleR;
    HGolfBuiten := Correct1;
    IF HGolfBuiten <= 0 THEN Writeln(chr(7));
  Until HGolfBuiten > 0;
  Repeat
    OuttextXY(350,194,'...');
    PosX := 45;
    PosY := 13;
    ControleR;
    Periode := Correct1;
    IF Periode <= 0 THEN Writeln(chr(7));
  Until Periode > 0;
  Repeat
    OuttextXY(350,242,'...');
    PosX := 45;
    PosY := 16;
    ControleR;
    Waterdiepte := Correct1;
    IF Waterdiepte <= 0 THEN Writeln(chr(7));
  Until Waterdiepte > 0;
  Repeat
    OuttextXY(350,290,'...');
    PosX := 45;
    PosY := 19;
    ControleR;
    HoekBuiten := Correct1;
    IF (HoekBuiten < 0) OR (HoekBuiten > 2) THEN
```

```

Begin
  Writeln(chr(7));
  SetColor(Red);
  SetTextStyle(2,horizdir,5);
  OutTextXY(23,418,'*****');
  SetColor(White);
  OuttextXY(23,428,'  Insert number between 0 and 2  ');
  SetColor(Red);
  OuttextXY(23,438,'*****');
  OuttextXY(23,425,'*');
  OuttextXY(23,431,'*');
  OuttextXY(399,425,'*');
  OuttextXY(399,431,'*');
  End;
  Until (HoekBuiten >= 0) AND (HoekBuiten <= 2);
End;

  Closegraph;
  Until (Keuze6 = '2');
End;

End.

```

```
Unit UnitBron;
```

```
INTERFACE
```

```
USES
  Graph,Crt,UnitDecl;
```

```
PROCEDURE VeranderBron;
```

```
IMPLEMENTATION
```

```
PROCEDURE ControleR;
```

```

Begin
  Repeat
    GotoXY(PosX,PosY);
    Readln(Inv);
    Val(Inv,Correct1,Rest);
    IF Rest <> 0 THEN Write(chr(7));
    Until Rest = 0;
  End;

```

```
PROCEDURE ControleI;
```

```

Begin
  Repeat
    GotoXY(PosX,PosY);
    Readln(Inv);
    Val(Inv,Correct2,Rest);
    IF Rest <> 0 THEN Write(chr(7));
    Until Rest = 0;
  End;

```

```
PROCEDURE Grafisch;
```

```
Var  
i1,i2 : Integer;
```

```
Begin  
  TextColor(Black);  
  i1 := Detect;  
  InitGraph(i1,i2,"");  
  SetColor(yellow);  
End;
```

```
PROCEDURE VierkantEromheen;
```

```
Const  
Vierkant : Array[1..5] Of Pointtype =  
((X:20;Y:10),(X:625;Y:10),(X:625;Y:450),(X:20;Y:450),(X:20;Y:10));
```

```
Begin  
  SetColor(White);  
  SetLineStyle(solidln,0,Normwidth);  
  DrawPoly(Sizeof(Vierkant)div Sizeof(Pointtype),Vierkant);  
End;
```

```
FUNCTION RealToStr(i : Real) : String;
```

```
Var  
s : String[7];
```

```
Begin  
  Str(i:7:1,s);  
  RealToStr := s;  
End;
```

```
FUNCTION IntToStr(i : Integer) : String;
```

```
Var s : String;
```

```
Begin  
  Str(i,s);  
  IntToStr := s;  
End;
```

```
PROCEDURE VeranderWaardenInBron;
```

```
Begin  
  Keuze6 := '3';  
  Repeat  
    Grafisch;  
    CLRSCR;  
    VierkantEromheen;  
  
    SetColor(White);  
    SetTextStyle(5,horizdir,10);  
    OuttextXY(500,425,'<ENTER>');
```

```
  SetColor(White);  
  SetLineStyle(solidln,0,1);  
  Line(20,100,625,100);  
  Line(20,350,625,350);
```

```
  SetColor(Green);  
  SetTextStyle(1,horizdir,4);  
  OuttextXY(110,40,'Entrance ');  
  OuttextXY(265,40,InttoStr(ROUND(BrTeller/2)));
```

```
  SetColor(Yellow);
```

```

SetTextStyle(1,horizdir,2);
OuttextXY(110,140,'X1');
OuttextXY(110,172,'Y1');
OuttextXY(110,204,'X2');
OuttextXY(110,236,'Y2');
OuttextXY(110,268,'Accuracy');
OuttextXY(400,140,RealToStr(XBr[BrTeller]));
OuttextXY(400,172,RealToStr(YBr[BrTeller]));
OuttextXY(400,204,RealToStr(XBr[BrTeller+1]));
OuttextXY(400,236,RealToStr(YBr[BrTeller+1]));
OuttextXY(400,268,RealToStr(PreciesBron));
OuttextXY(400,140,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,172,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,204,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,236,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,268,'( ) [ *L ]');

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,360,'1. Change entrance');
OuttextXY(110,375,'2. Finished');
OuttextXY(110,395,'Choice: ...');

SetColor(White);
Keuze6 := Readkey;
OuttextXY(205,395,Keuze6);
IF (Keuze6 <> '1') AND (Keuze6 <> '2') THEN Writeln(chr(7));
Readln;
IF (Keuze6 = '1') THEN
Begin
OuttextXY(350,146,'...');
TextColor(White);
PosX := 45;
PosY := 10;
ControleR;
XBr[BrTeller] := Correct1;
OuttextXY(350,178,'...');
PosX := 45;
PosY := 12;
ControleR;
YBr[BrTeller] := Correct1;
OuttextXY(350,210,'...');
PosX := 45;
PosY := 14;
ControleR;
XBr[BrTeller+1] := Correct1;
OuttextXY(350,242,'...');
PosX := 45;
PosY := 16;
ControleR;
YBr[BrTeller+1] := Correct1;
Repeat
OuttextXY(350,274,'...');
PosX := 45;
PosY := 18;
ControleR;
PreciesBron := Correct1;
IF (PreciesBron <= 0) THEN Writeln(chr(7));
IF (PreciesBron > 1) THEN
Begin
Writeln(chr(7));
SetColor(Red);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OutTextXY(23,418,'*****');
SetColor(White);
OuttextXY(23,428,' Results will not be accurate ');
SetColor(Red);
OuttextXY(23,438,'*****');
OuttextXY(23,425,'*');

```

```
    OuttextXY(23,431,'*');
    OuttextXY(399,425,'*');
    OuttextXY(399,431,'*');
  End;
  Until (PreciesBron > 0) AND (PreciesBron <= 1);
End;

  Closegraph;
  Until (Keuze6 = '2');
End;

PROCEDURE VeranderBron;

  Var
  i,code : Integer;

  Begin
  Keuze3 := '4';
  Repeat
  Grafisch;
  Repeat
  CLRSCR;
  VierkantEromheen;

  SetColor(White);
  SetTextStyle(5,horizdir,10);
  OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

  SetColor(White);
  SetLineStyle(solidln,0,1);
  Line(20,100,625,100);
  Line(20,350,625,350);

  SetColor(Green);
  SetTextStyle(1,horizdir,4);
  OuttextXY(110,40,'Entrances');

  SetLineStyle(solidln,0,1);
  SetColor(Yellow);
  Line(53,120,575,120);
  Line(53,120,53,330);
  Line(53,145,575,145);
  Line(53,330,575,330);
  Line(140,120,140,330);
  Line(222,120,222,330);
  Line(304,120,304,330);
  Line(386,120,386,330);
  Line(468,120,468,330);
  Line(575,120,575,330);

  SetColor(White);
  SetTextStyle(2,horizdir,5);
  OuttextXY(60,125,'Linenumber');
  OuttextXY(155,125,'X1 [m]');
  OuttextXY(237,125,'Y1 [m]');
  OuttextXY(319,125,'X2 [m]');
  OuttextXY(401,125,'Y2 [m]');
  OuttextXY(475,125,'Accuracy (*L)');

  BrTeller:= 1;
  FOR BrTeller := 1 TO (2*AantalBr) DO
  Begin
  IF ODD(BrTeller) THEN
  Begin
  SetColor(White);
  SetTextStyle(2,horizdir,5);
  OuttextXY(95,145+ROUND(17*BrTeller/2),IntToStr(ROUND(BrTeller/2)));
  OuttextXY(150,145+ROUND(17*BrTeller/2),RealToStr(XBr[BrTeller]));
```



```

OuttextXY(232,145+ROUND(17*BrTeller/2),RealToStr(YBr[BrTeller]));
OuttextXY(314,145+ROUND(17*BrTeller/2),RealToStr(XBr[BrTeller+1]));
OuttextXY(396,145+ROUND(17*BrTeller/2),RealToStr(YEr[BrTeller+1]));
OuttextXY(475,145+ROUND(17*BrTeller/2),RealToStr(PreciesBron));
End;
End;

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,355,'1. Change entrance');
OuttextXY(110,370,'2. Change number of entrances');
OuttextXY(110,385,'3. Finished');
OuttextXY(110,420,'Choice: ...');

SetColor(White);
Keuze3 := Readkey;
OuttextXY(205,420,Keuze3);
IF (AantalBr = 0) AND (Keuze3 = '1') THEN Keuze3 := '4';
IF (Keuze3 <> '1') AND (Keuze3 <> '2') AND (Keuze3 <> '3') THEN
  writeln(chr(7));
Until (Keuze3 = '1') OR (Keuze3 = '2') OR (Keuze3 = '3');

Readln;
Case Keuze3 Of
'1' : Begin
  SetColor(Lightred);
  SetTextStyle(2,horizdir,5);
  OuttextXY(415,355,'Number: ...');
  Repeat
    PosX := 63;
    PosY := 23;
    TextColor(White);
    Controlef;
    BrTeller := (Correct2*2)-1;
    IF (BrTeller <= 0) OR (BrTeller > (2*AantalBr)) THEN
      Writeln(chr(7));
    Until (BrTeller > 0) AND (BrTeller <= (2*AantalBr));
  Closegraph;
  VeranderWaardenInBron;
End;

'2' : Begin
  SetColor(Lightred);
  SetTextStyle(2,horizdir,5);
  OuttextXY(400,370,'New amount: ...');
  Repeat
    TextColor(White);
    PosX := 66;
    PosY := 24;
    Controlef;
    AantalBr := Correct2;
    IF (AantalBr <= 0) OR (AantalBr >= 11) THEN Writeln(chr(7));
    Until (AantalBr > 0) AND (AantalBr < 11);
  End;
End;
Closegraph;
Until Keuze3 = '3';
End;

End.

UNIT UnitDoel;

INTERFACE

```

PROCEDURE VeranderDoel;

IMPLEMENTATION

USES

Crt,Graph,UnitDecl;

PROCEDURE Grafisch;

Var

i1,i2 : Integer;

Begin

TextColor(Black);

i1 := Detect;

Initgraph(i1,i2,"");

SetColor(14);

End;

PROCEDURE VierkantEromheen;

Const

Vierkant : Array[1..5] of Pointtype =

((X:20;Y:10),(X:625;Y:10),(X:625;Y:450),(X:20;Y:450),(X:20;Y:10));

Begin

SetColor(White);

SetLineStyle(solidln,0,normwidth);

DrawPoly(Sizeof(Vierkant)div Sizeof(pointtype),Vierkant);

End;

PROCEDURE ControleR;

Begin

Repeat

GotoXY(PosX,PosY);

Readln(Inv);

Val(Inv,Correct1,Rest);

If Rest <> 0 THEN Write(chr(7));

Until Rest = 0;

End;

PROCEDURE ControleI;

Begin

Repeat

GotoXY(PosX,PosY);

Readln(Inv);

Val(Inv,Correct2,Rest);

If Rest <> 0 THEN Write(chr(7));

Until Rest = 0;

End;

FUNCTION IntToStr(i : Integer) : String;

Var

s : String;

Begin

Str(i,s);

IntToStr := s;

End;

```

FUNCTION RealToStr(i : Real) : String;

Var
s : String[7];

Begin
Str(i:7:1,s);
RealToStr := s;
End;

PROCEDURE VeranderWaardenInDoel;

Begin
Keuze6 := '3';
Repeat
Grafisch;
CLRSCR;
VierkantEromheen;

SetColor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OuttextXY(500,425,<ENTER>);

SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,1);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);

SetColor(Green);
SetTextStyle(1,horizdir,4);
OuttextXY(110,40,'Line of output ');
OuttextXY(360,40,IntToStr(ROUND(LijnDoelTeller/2)));

SetColor(Yellow);
SetTextStyle(1,horizdir,2);
OuttextXY(110,140,'X1');
OuttextXY(110,172,'Y1');
OuttextXY(110,204,'X2');
OuttextXY(110,236,'Y2');
OuttextXY(110,268,'Accuracy');
OuttextXY(400,140,RealToStr(XLijnDoel[LijnDoelTeller]));
OuttextXY(400,172,RealToStr(YLijnDoel[LijnDoelTeller]));
OuttextXY(400,204,RealToStr(XLijndoel[LijnDoelTeller+1]));
OuttextXY(400,236,RealToStr(YLijnDoel[LijnDoelTeller+1]));
OuttextXY(400,268,RealToStr(PreciesDoel[LijnDoelTeller]));
OuttextXY(400,140,( ) [ m ]);
OuttextXY(400,172,( ) [ m ]);
OuttextXY(400,204,( ) [ m ]);
OuttextXY(400,236,( ) [ m ]);
OuttextXY(400,268,( ) [ m ]);

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,360,'1. Change line of output');
OuttextXY(110,375,'2. Finished');
OuttextXY(110,395,'Choice: ...');

SetColor(White);
Keuze6 := Readkey;
OuttextXY(205,395,Keuze6);
IF (Keuze6 <> '1') AND (Keuze6 <> '2') THEN Writeln(chr(7));
Readln;
IF (Keuze6 = '1') THEN
Begin
OuttextXY(350,146,'...');
TextColor(White);

```

```
PosX := 45;
PosY := 10;
ControleR;
XLijnDoel[LijnDoelTeller] := Correct1;
OuttextXY(350,178,'...');
PosX := 45;
PosY := 12;
ControleR;
YLijnDoel[LijnDoelTeller] := Correct1;
OuttextXY(350,210,'...');
PosX := 45;
PosY := 14;
ControleR;
XLijnDoel[LijnDoelTeller+1] := Correct1;
OuttextXY(350,242,'...');
PosX := 45;
PosY := 16;
ControleR;
YLijnDoel[LijnDoelTeller+1] := Correct1;
Repeat
  OuttextXY(350,274,'...');
  PosX := 45;
  PosY := 18;
  ControleR;
  PreciesDoel[LijnDoelTeller] := Correct1;
  IF (PreciesDoel[LijnDoelTeller] <= 0) THEN Writeln(chr(7));
  Until (PreciesDoel[LijnDoelTeller] > 0);
End;

Closegraph;
Until (Keuze6 = '2');
End;
```

```
PROCEDURE VeranderDoel;
```

```
Var
i,code : Integer;

Begin
Keuze3 := '4';
Repeat
  Grafisch;
  Repeat
    CLRSCR;
    VierkantEromheen;

    SetColor(White);
    SetTextStyle(5,horizdir,10);
    OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

    SetColor(White);
    SetLineStyle(solidln,0,1);
    Line(20,100,625,100);
    Line(20,350,625,350);

    SetColor(Green);
    SetTextStyle(1,horizdir,4);
    OuttextXY(110,40,'Lines of output');

    SetLineStyle(solidln,0,1);
    SetColor(Yellow);
    Line(53,120,575,120);
    Line(53,120,53,330);
    Line(53,145,575,145);
    Line(53,330,575,330);
    Line(140,120,140,330);
    Line(222,120,222,330);
    Line(304,120,304,330);
```

```

Line(386,120,386,330);
Line(468,120,468,330);
Line(575,120,575,330);

SetColor(White);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(60,125,'Linenumber');
OuttextXY(155,125,'X1 [m]');
OuttextXY(237,125,'Y1 [m]');
OuttextXY(319,125,'X2 [m]');
OuttextXY(401,125,'Y2 [m]');
OuttextXY(475,125,'Accuracy');

LijnDoelTeller:= 1;
FOR LijnDoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
Begin
IF ODD(LijnDoelTeller) THEN
Begin
SetColor(White);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(95,145+ROUND(17*LijnDoelTeller/2),IntToStr(ROUND(LijnDoelTeller/2)));
OuttextXY(150,145+ROUND(17*LijnDoelTeller/2),RealToStr(XLijnDoel[LijnDoelTeller]));
OuttextXY(232,145+ROUND(17*LijnDoelTeller/2),RealToStr(YLijnDoel[LijnDoelTeller]));
OuttextXY(314,145+ROUND(17*LijnDoelTeller/2),RealToStr(XLijnDoel[LijnDoelTeller+1]));
OuttextXY(396,145+ROUND(17*LijnDoelTeller/2),RealToStr(YLijnDoel[LijnDoelTeller+1]));
OuttextXY(475,145+ROUND(17*LijnDoelTeller/2),RealToStr(PreciesDoel[LijnDoelTeller]));
End;
End;

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,355,'1. Change line of output');
OuttextXY(110,370,'2. Change number of lines of output');
OuttextXY(110,385,'3. Finished');
OuttextXY(110,420,'Choice: ...');

SetColor(White);
Keuze3 := Readkey;
OuttextXY(205,420,Keuze3);
IF (AantalLijnDoel = 0) AND (Keuze3 = '1') THEN Keuze3 := '4';
IF (Keuze3 <> '1') AND (Keuze3 <> '2') AND (Keuze3 <> '3') THEN
Writeln(chr(7));
Until (Keuze3 = '1') OR (Keuze3 = '2') OR (Keuze3 = '3');

Readln;
If (Keuze3 = '1') THEN
Begin
SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(415,355,'Number: ...');
Repeat
PosX := 63;
PosY := 23;
TextColor(White);
ControleI;
LijnDoelTeller := (Correct2*2)-1;
IF (LijnDoelTeller <= 0) OR (LijnDoelTeller > (2*AantalLijnDoel)) THEN
Writeln(chr(7));
Until (LijnDoelTeller > 0) AND (LijnDoelTeller <= (2*AantalLijnDoel));

Closegraph;
VeranderWaardenInDoel;
End;

IF (Keuze3 = '2') THEN
Begin
SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(400,370,'New amount: ...');

```

```
Repeat
  TextColor(White);
  PosX := 66;
  PosY := 24;
  ControleI;
  AantalLijnDoel := Correct2;
  IF (AantalLijnDoel <= 0) OR (AantalLijnDoel >= 11) THEN WriteLn(chr(7));
  Until (AantalLijnDoel > 0) AND (AantalLijnDoel < 11);
End;

Closegraph;
Until Keuze3 = '3';
End;

End.
```

```
UNIT UnitReflec;
```

```
INTERFACE
```

```
PROCEDURE VeranderReflec;
```

```
IMPLEMENTATION
```

```
USES
```

```
Crt, Graph, UnitDecl;
```

```
PROCEDURE Grafisch;
```

```
Var
```

```
i1, i2 : Integer;
```

```
Begin
```

```
  TextColor(Black);
```

```
  i1 := Detect;
```

```
  InitGraph(i1, i2, "");
```

```
  SetColor(14);
```

```
End;
```

```
PROCEDURE VierkantEromheen;
```

```
Const
```

```
Vierkant : Array[1..5] of Pointtype =
```

```
((X:20; Y:10), (X:625; Y:10), (X:625; Y:450), (X:20; Y:450), (X:20; Y:10));
```

```
Begin
```

```
  SetColor(White);
```

```
  SetLineStyle(solidln, 0, normwidth);
```

```
  DrawPoly(Sizeof(Vierkant) div Sizeof(Pointtype), Vierkant);
```

```
End;
```

```
PROCEDURE ControleR;
```

```
Begin
```

```
  Repeat
```

```
    GotoXY(PosX, PosY);
```

```
    ReadLn(Inv);
```

```
    Val(Inv, Correct1, Rest);
```

```
    IF Rest <> 0 THEN Write(chr(7));
```

```
    Until Rest = 0;
```

End;

PROCEDURE ControleI;

```
Begin
Repeat
  GotoXY(PosX,PosY);
  Readln(Inv);
  Val(Inv,Correct2,Rest);
  IF Rest <> 0 THEN Write(chr(7));
Until Rest = 0;
End;
```

FUNCTION IntToStr(i : Integer) : String;

```
Var
s : String;
```

```
Begin
  Str(i,s);
  IntToStr := s;
End;
```

FUNCTION RealToStr(i : Real) : String;

```
Var
s : String[7];
```

```
Begin
  Str(i:7:1,s);
  RealToStr := s;
End;
```

PROCEDURE VeranderWaardenInReflec;

```
Begin
  Keuze6 := '3';
  Repeat
    Grafisch;
    CLRSCR;
    VierkantEromheen;

    SetColor(White);
    SetTextStyle(5,horizdir,10);
    OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

    SetColor(White);
    SetLineStyle(solidln,0,1);
    Line(20,100,625,100);
    Line(20,350,625,350);

    SetColor(Green);
    SetTextStyle(1,horizdir,4);
    OuttextXY(110,40,'Reflecting edge ');
    OuttextXY(360,40,IntToStr(ROUND(LijnReflecTeller/2)));

    SetColor(Yellow);
    SetTextStyle(1,horizdir,2);
    OuttextXY(110,140,'X1');
    OuttextXY(110,172,'Y1');
    OuttextXY(110,204,'X2');
    OuttextXY(110,236,'Y2');
    OuttextXY(110,268,'Accuracy');
    OuttextXY(110,300,'Reflection');
    OuttextXY(400,140,RealToStr(XLijnReflec[LijnReflecTeller]));
```

```

OuttextXY(400,172,RealToStr(YLijnReflec[LijnReflecTeller]));
OuttextXY(400,204,RealToStr(XLijnReflec[LijnReflecTeller+1]));
OuttextXY(400,236,RealToStr(YLijnReflec[LijnReflecTeller+1]));
OuttextXY(400,268,RealToStr(PreciesReflec[LijnReflecTeller]));
OuttextXY(400,300,RealToStr(Reflectie[LijnReflecTeller]));
OuttextXY(400,140,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,172,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,204,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,236,'( ) [ m ]');
OuttextXY(400,268,'( ) [ *L ]');
OuttextXY(400,300,'( ) [ - ]');

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,360,'1. Change reflecting edge');
OuttextXY(110,375,'2. Finished');
OuttextXY(110,395,'Choice: ...');

SetColor(White);
Keuze6 := Readkey;
OuttextXY(205,395,Keuze6);
IF (Keuze6 <> '1') AND (Keuze6 <> '2') THEN Writeln(chr(7));
Readln;
IF (Keuze6 = '1') THEN
Begin
OuttextXY(350,146,'...');
TextColor(White);
PosX := 45;
PosY := 10;
ControleR;
XLijnReflec[LijnReflecTeller] := Correct1;
OuttextXY(350,178,'...');
PosX := 45;
PosY := 12;
ControleR;
YLijnReflec[LijnReflecTeller]:= Correct1;
OuttextXY(350,210,'...');
PosX := 45;
PosY := 14;
ControleR;
XLijnReflec[LijnReflecTeller+1] := Correct1;
OuttextXY(350,242,'...');
PosX := 45;
PosY := 16;
ControleR;
YLijnReflec[LijnReflecTeller+1] := Correct1;
Repeat
OuttextXY(350,274,'...');
PosX:= 45;
PosY:= 18;
ControleR;
PreciesReflec[LijnReflecTeller] := Correct1;
IF (PreciesReflec[LijnReflecTeller] <= 0) THEN Writeln(chr(7));
IF (PreciesReflec[LijnReflecTeller] > 1) THEN
Begin
Writeln(chr(7));
SetColor(Red);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OutTextXY(23,418,'*****');
SetColor(White);
OuttextXY(23,428,' Results will not be accurate ');
SetColor(Red);
OutTextXY(23,438,'*****');
OuttextXY(23,425,'*');
OuttextXY(23,431,'*');
OuttextXY(399,425,'*');
OuttextXY(399,431,'*');
End;
Until (PreciesReflec[LijnReflecTeller] > 0) AND

```



```

(PreciesReflec[LijnReflecTeller] <= 1);
Repeat
  OuttextXY(350,306,...);
  PosX := 45;
  PosY := 20;
  ControleR;
  Reflectie[LijnReflecTeller] := Correct1;
  IF (Reflectie[LijnReflecTeller] < 0) THEN Writeln(chr(7));
  IF (Reflectie[LijnReflecTeller] > 1) THEN
  Begin
    Writeln(chr(7));
    SetColor(Red);
    SetTextStyle(2,horizdir,5);
    OutTextXY(23,418,'*****');
    SetColor(White);
    OuttextXY(23,428,'    Insert number between 0 and 1    ');
    SetColor(Red);
    OuttextXY(23,438,'*****');
    OuttextXY(23,425,'*');
    OuttextXY(23,431,'*');
    OuttextXY(399,425,'*');
    OuttextXY(399,431,'*');
  End;
Until (Reflectie[LijnReflecTeller] >= 0) AND
      (Reflectie[LijnReflecTeller] <= 1);
End;

Closegraph;
Until (Keuze6 = '2');
End;

PROCEDURE VeranderReflec;

Var
i,code : Integer;

Begin
Keuze3 := '4';
Repeat
  Grafisch;
  Repeat
    CLRSCR;
    VierkantEromheen;

    SetColor(White);
    SetTextStyle(5,horizdir,10);
    OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

    SetColor(White);
    SetLineStyle(solidln,0,1);
    Line(20,100,625,100);
    Line(20,350,625,350);

    SetColor(Green);
    SetTextStyle(1,horizdir,4);
    OuttextXY(110,40,'Reflecting edges');

    SetLineStyle(solidln,0,1);
    SetColor(Yellow);
    Line(53,120,610,120);
    Line(53,120,53,330);
    Line(53,145,610,145);
    Line(53,330,610,330);
    Line(140,120,140,330);
    Line(210,120,210,330);
    Line(280,120,280,330);
    Line(350,120,350,330);
    Line(420,120,420,330);

```

```

Line(510,120,510,330);
Line(610,120,610,330);

SetColor(White);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(60,125,'Linenumber');
OuttextXY(155,125,'X1 [m]');
OuttextXY(225,125,'Y1 [m]');
OuttextXY(295,125,'X2 [m]');
OuttextXY(365,125,'Y2 [m]');
OuttextXY(430,125,'Accuracy');
OuttextXY(520,125,'Reflection');

LijnReflecTeller := 1;
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO
Begin
IF ODD(LijnReflecTeller) THEN
Begin
SetColor(White);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(95,145+ROUND(17*LijnReflecTeller/2),IntToStr(ROUND(LijnReflecTeller/2)));
OuttextXY(150,145+ROUND(17*LijnReflecTeller/2),RealToStr(XLijnReflec[LijnReflecTeller]));
OuttextXY(220,145+ROUND(17*LijnReflecTeller/2),RealToStr(YLijnReflec[LijnReflecTeller]));
OuttextXY(290,145+ROUND(17*LijnReflecTeller/2),RealToStr(XLijnReflec[LijnReflecTeller+1]));
OuttextXY(360,145+ROUND(17*LijnReflecTeller/2),RealToStr(YLijnReflec[LijnReflecTeller+1]));
OuttextXY(420,145+ROUND(17*LijnReflecTeller/2),RealToStr(PreciesReflec[LijnReflecTeller]));
OuttextXY(510,145+ROUND(17*LijnReflecTeller/2),RealToStr(Reflectie[LijnReflecTeller]));
End;
End;

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,355,'1. Change reflecting edge');
OuttextXY(110,370,'2. Change number of reflecting edges');
OuttextXY(110,385,'3. Finished');
OuttextXY(110,420,'Choice: ...');

SetColor(White);
Keuze3 := Readkey;
OuttextXY(205,420,Keuze3);
IF (AantalLijnReflec = 0) AND (Keuze3 = '1') THEN Keuze3 := '4';
IF (Keuze3 <> '1') AND (Keuze3 <> '2') AND (Keuze3 <> '3') THEN
Writeln(chr(7));
Until (Keuze3 = '1') OR (Keuze3 = '2') OR (Keuze3 = '3');
Readln;

If (Keuze3 = '1') THEN
Begin
SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(415,355,'Number: ...');
Repeat
PosX := 63;
PosY := 23;
TextColor(White);
Controlel;
LijnReflecTeller := (Correct2*2)-1;
IF (LijnReflecTeller <= 0) OR (LijnReflecTeller > (2*AantalLijnReflec))
THEN Writeln(chr(7));
Until (LijnReflecTeller > 0) AND (LijnReflecTeller <= (2*AantalLijnReflec));

Closegraph;
VeranderWaardenInReflec;
End;

IF (Keuze3 = '2') THEN
Begin
SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);

```

```
OuttextXY(400,370,'New amount: ...');
Repeat
  TextColor(White);
  PosX := 66;
  PosY := 24;
  Controlel;
  AantalLijnReflec := Correct2;
  IF (AantalLijnReflec < 0) OR (AantalLijnReflec >= 11) THEN
    Writeln(chr(7));
  Until (AantalLijnReflec => 0) AND (AantalLijnReflec < 11);
End;

Closegraph;
Until Keuze3 = '3';
End;

End.
```

```
Unit UnitTekening;
```

```
INTERFACE
```

```
PROCEDURE Tekening;
```

```
IMPLEMENTATION
```

```
USES
```

```
Crt,Graph,UnitDecl;
```

```
PROCEDURE Grafisch;
```

```
Var
```

```
i1,i2 : Integer;
```

```
Begin
```

```
TextColor(Black);
```

```
i1 := Detect;
```

```
Initgraph(i1,i2,"");
```

```
SetColor(14);
```

```
End;
```

```
PROCEDURE VierkantEromheen;
```

```
Const
```

```
Vierkant : Array[1..5] of Pointtype =
```

```
((X:20;Y:10),(X:625;Y:10),(X:625;Y:450),(X:20;Y:450),(X:20;Y:10));
```

```
Begin
```

```
SetColor(White);
```

```
SetLineStyle(solidln,0,normwidth);
```

```
DrawPoly(Sizeof(Vierkant)div Sizeof(pointtype),Vierkant);
```

```
End;
```

```
FUNCTION RealToStr(i : Real) : String;
```

```
Var s : String[7];
```

```
Begin
```

```
Str(i:7:1,s);
```

```
RealToStr := s;  
End;
```

```
FUNCTION IntToStr(i : integer) : String;
```

```
Var  
s : String;  
  
Begin  
Str(i,s);  
IntToStr := s;  
End;
```

```
PROCEDURE Tekening;
```

```
Var  
XGroot,YGroot,XKlein,YKlein,Schaal : Real;
```

```
Begin  
Grafisch;  
VierkantEromheen;  
  
SetLineStyle(solidln,0,1);  
SetColor(White);  
Line(20,100,625,100);  
Line(20,350,625,350);  
  
SetColor(White);  
SetTextStyle(5,horizdir,10);  
OuttextXY(500,425,'<ENTER>');  
  
SetColor(Green);  
SetTextStyle(1,horizdir,4);  
OuttextXY(110,40,'Plot schematisation');  
  
SetColor(Lightblue);  
Line(50,365,75,365);  
SetColor(Lightrd);  
Line(50,387,75,387);  
SetColor(Lightgreen);  
Line(50,409,75,409);  
  
SetLineStyle(solidln,0,1);  
Setcolor(white);  
Line(50,431,75,431);  
SetLineStyle(solidln,0,2);  
Circle(50,431,3);  
  
Line(50,170,150,170);  
Line(100,120,100,220);  
SetTextStyle(2,horizdir,5);  
OuttextXY(157,163,'+x');  
OuttextXY(33,163,'-x');  
OuttextXY(95,101,'+y');  
OuttextXY(93,223,'-y');  
OuttextXY(130,175,'0');  
OuttextXY(55,190,'0.5*pi');  
OuttextXY(70,150,'pi');  
OuttextXY(105,130,'1.5*pi');  
  
SetColor(Yellow);  
SetTextStyle(2,horizdir,5);  
OuttextXY(95,358,'Entrance');  
OuttextXY(95,380,'Reflecting edge');  
OuttextXY(95,402,'Line of output');  
OuttextXY(95,424,'Direction waves');  
OuttextXY(280,368,'Waveheight:');
```

```

OuttextXY(280,394,'Waveperiod:');
OuttextXY(280,419,'Waterdepth:');
OuttextXY(440,368,'m');
OuttextXY(440,394,'s');
OuttextXY(440,419,'m');
OuttextXY(350,368,RealToStr(HGolfBuiten));
OuttextXY(350,394,RealToStr(Periode));
OuttextXY(350,419,RealToStr(Waterdiepte));

XGroot := -99900;
Xklein := 99000;
YGroot := -99900;
YKlein := 99900;

BrTeller := 0;
FOR BrTeller := 1 TO (2*AantalBr) DO
Begin
IF XBr[BrTeller] > XGroot THEN XGroot := XBr[BrTeller];
IF XBr[BrTeller] < XKlein THEN XKlein := XBr[BrTeller];
IF YBr[BrTeller] > YGroot THEN YGroot := YBr[BrTeller];
IF YBr[BrTeller] < YKlein THEN YKlein := YBr[BrTeller];
End;

LijnDoelTeller := 0;
FOR LijnDoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
Begin
IF XLijnDoel[LijnDoelTeller] > XGroot THEN XGroot := XLijnDoel[LijnDoelTeller];
IF XLijnDoel[LijnDoelTeller] < XKlein THEN XKlein := XLijnDoel[LijnDoelTeller];
IF YLijnDoel[LijnDoelTeller] > YGroot THEN YGroot := YLijnDoel[LijnDoelTeller];
IF YLijnDoel[LijnDoelTeller] < YKlein THEN YKlein := YLijnDoel[LijnDoelTeller];
End;

LijnReflecTeller := 0;
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO
Begin
IF XLijnReflec[LijnReflecTeller] > XGroot THEN XGroot := XLijnReflec[LijnReflecTeller];
IF XLijnReflec[LijnReflecTeller] < XKlein THEN XKlein := XLijnReflec[LijnReflecTeller];
IF YLijnReflec[LijnReflecTeller] > YGroot THEN YGroot := YLijnReflec[LijnReflecTeller];
IF YLijnReflec[LijnReflecTeller] < YKlein THEN YKlein := YLijnReflec[LijnReflecTeller];
End;

IF (YGroot - YKlein) >= (XGroot - XKlein) THEN
Schaal := YGroot - YKlein
Else
Schaal := XGroot - XKlein;

BrTeller := 0;
SetColor(Lightblue);
FOR BrTeller := 1 TO (2*AantalBr) DO
Begin
IF ODD(BrTeller) THEN
Begin
Line(ROUND(215+((XBr[BrTeller]-XKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(335-((YBr[BrTeller]-YKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(215+((XBr[BrTeller+1]-XKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(335-((YBr[BrTeller+1]-YKlein)*(220/Schaal))));
End;
End;

LijnDoelTeller := 0;
SetColor(Lightgreen);
FOR LijnDoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
Begin
IF ODD(LijnDoelTeller) THEN
Begin
Line(ROUND(215+((XLijnDoel[LijnDoelTeller]-XKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(335-((YLijnDoel[LijnDoelTeller]-YKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(215+((XLijnDoel[LijnDoelTeller+1]-XKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(335-((YLijnDoel[LijnDoelTeller+1]-YKlein)*(220/Schaal))));
End;
End;

```

```
End;
End;

LijnReflecTeller := 0;
SetColor(Lightred);
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO
Begin
IF ODD(LijnReflecTeller) THEN
Begin
Line(ROUND(215+((XLijnReflec[LijnReflecTeller]-XKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(335-((YLijnReflec[LijnReflecTeller]-YKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(215+((XLijnReflec[LijnReflecTeller+1]-XKlein)*(220/Schaal))),
ROUND(335-((YLijnReflec[LijnReflecTeller+1]-YKlein)*(220/Schaal))));
End;
End;

SetColor(White);
Circle(530,160,4);

IF (HoekBuiten < 0.125) OR (HoekBuiten > 1.875) THEN Line(530,160,580,160);
IF (HoekBuiten >= 0.125) AND (HoekBuiten <= 0.375) THEN Line(530,160,565,195);
IF (HoekBuiten > 0.375) AND (HoekBuiten < 0.625) THEN Line(530,160,530,210);
IF (HoekBuiten >= 0.625) AND (HoekBuiten <= 0.875) THEN Line(530,160,495,210);
IF (hoekBuiten > 0.875) AND (hoekBuiten < 1.125) THEN Line(530,160,480,160);
IF (HoekBuiten >= 1.125) AND (HoekBuiten <= 1.375) THEN Line(530,160,495,125);
IF (hoekBuiten > 1.375) AND (HoekBuiten < 1.625) THEN Line(530,160,530,110);
IF (HoekBuiten >= 1.625) AND (HoekBuiten <= 1.875) THEN Line(530,160,565,125);

Readln;
Closegraph;
End;

End.

UNIT UnitOmzet;

INTERFACE

USES
Crt,UnitDecl;

PROCEDURE Omzet;

IMPLEMENTATION

PROCEDURE VerdeelLijnInStukjes (
    XIn1,YIn1,XIn2,YIn2,Precies : Real;

VAR XUit,YUit : EenDimenVeel;
    Teller : Integer);

VAR
AantalStukjes,Tel : Integer;
XL, YL : Real;

Begin
IF Round(sqrt((sqr(XIn1 - XIn2))+sqr(YIn1 - YIn2)))/Precies = 0 THEN
AantalStukjes := 1
ELSE
AantalStukjes := ROUND(SQRT((SQR(XIn1 - XIn2))+SQR(YIn1 - YIn2)))/Precies);
```

```

XL := XIn1;
YL := YIn1;
Teller := Teller + 1;
XUit[Teller] := XIn1;
YUit[Teller] := YIn1;
FOR Tel:= 1 TO (AantalStukjes) DO
Begin
  Teller := Teller + 1;
  XL := XL - ((XIn1-XIn2)/AantalStukjes);
  YL := YL - ((YIn1-YIn2)/AantalStukjes);
  XUit[Teller] := XL;
  YUit[Teller] := YL;
End;
End;

PROCEDURE BerekenRichtingTussenPunten (
  X1,Y1,X2,Y2   : Real;

  VAR Hoek2p     : Real);

Begin
IF Y2 <> Y1 THEN
Begin
IF X1 > X2 THEN
Begin
IF Y1 > Y2
THEN Hoek2p := 0.5*pi+arctan(abs((X2-X1)/(Y2-Y1)))
ELSE Hoek2p := 1.5*pi-arctan(abs((X2-X1)/(Y2-Y1)));
End;
IF X1 < X2 THEN
Begin
IF Y1 > Y2
THEN Hoek2p := 0.5*pi-arctan(abs((X2-X1)/(Y2-Y1)))
ELSE Hoek2p := 1.5*pi+arctan(abs((X2-X1)/(Y2-Y1)));
End;
IF X1 = X2 THEN
Begin
IF Y1 > Y2
THEN Hoek2p := 0.5*pi
ELSE Hoek2p := 1.5*pi;
End;
End
ELSE
Begin
IF X1 > X2
THEN Hoek2p := pi
ELSE Hoek2p := 0;
End;
End;

PROCEDURE EersteBronIsGetal;

VAR  HoekBr,LengteBr   : Real;
     BroTeller,AantalBro : Integer;
     XBRo,YBro         : EenDimenVeel;

Begin
BronTeller:= 1;
BrTeller := 0;
FOR BrTeller := 1 TO (2*AantalBr) DO
Begin
IF ODD(BrTeller) THEN
Begin
IF (ABS(XBr[BrTeller]) > 99900) OR (ABS(XBr[BrTeller+1]) > 99900) OR
(ABS(YBr[BrTeller]) > 99900) OR (ABS(YBr[BrTeller+1]) > 99900) THEN
Begin

```

```

IF ((ABS(XBr[BrTeller]) < 99900) AND (ABS(XBr[BrTeller+1]) > 99900)) OR
((ABS(YBr[BrTeller]) < 99900) AND (ABS(YBr[BrTeller+1]) > 99900)) THEN
Begin
  XBron[BronTeller] := XBr[BrTeller];
  YBron[BronTeller] := YBr[BrTeller];
  XBron[BronTeller+1] := XBr[BrTeller+1]*YBr[BrTeller+1];
  BronTeller := BronTeller + 2;
End;
IF ((ABS(XBr[BrTeller]) > 99900) AND (ABS(XBr[BrTeller+1]) < 99900)) OR
((ABS(YBr[BrTeller]) > 99900) AND (ABS(YBr[BrTeller+1]) < 99900)) THEN
Begin
  XBron[BronTeller] := XBr[BrTeller+1];
  YBron[BronTeller] := YBr[BrTeller+1];
  XBron[BronTeller+1] := XBr[BrTeller]*YBr[BrTeller];
  BronTeller := BronTeller + 2;
End;
End
ELSE
Begin
  BroTeller := 0;
  VerdeelLijnInStukjes(XBr[BrTeller], YBr[BrTeller], XBr[BrTeller+1],
    YBr[BrTeller+1], PreciesBron, XBro, YBro, BroTeller);
  AantalBro := ROUND((SQRT(SQR(XBr[BrTeller]-XBr[BrTeller+1])
    +SQR(YBr[BrTeller]-YBr[BrTeller+1]))/PReciesBron);
  IF AantalBro = 0 THEN
  Begin
    AantalBro := 1;
  End;
  BroTeller := 0;
  FOR BroTeller := 1 TO (AantalBro) DO
  Begin
    XBron[BronTeller] := XBro[BroTeller];
    YBron[BronTeller] := YBro[BroTeller];
    XBron[BronTeller+1] := XBro[BroTeller+1];
    YBron[BronTeller+1] := YBro[BroTeller+1];
    BronTeller := BronTeller+2;
  End;
  End;
  End;
  End;
  AantalBron := ROUND(0.5*(BronTeller-1));
End;

```

PROCEDURE Halfoneindig;

```

Begin
  BronTeller := 0;
  FOR BronTeller := 1 TO (2*AantalBron) DO
  Begin
    IF NOT ODD(BronTeller) THEN
    Begin
      IF XBron[BronTeller] > 99900 THEN
      Begin
        XBron[BronTeller] := (XBron[BronTeller-1])-
          50*GolfLengte*COS(HoekBuiten + 0.5*pi);
        YBron[BronTeller] := (YBron[BronTeller-1])+
          50*GolfLengte*SIN(HoekBuiten + 0.5*pi);
      End;
      IF XBron[BronTeller] < -99900 THEN
      Begin
        XBron[BronTeller] := (XBron[BronTeller-1])+
          50*GolfLengte*COS(HoekBuiten + 0.5*pi);
        YBron[BronTeller] := (YBron[BronTeller-1])-
          50*GolfLengte*SIN(HoekBuiten + 0.5*pi);
      End;
    End;
  End;
  End;
  End;

```



```

PROCEDURE BerekenFaseInBron;

VAR X,Y,HoekNul    : Real;

Begin
BronTeller := 0;
FOR BronTeller := 1 TO (AantalBron*2) DO
Begin
IF ODD(BronTeller) THEN
Begin
X := (XBron[BronTeller]+XBron[BronTeller+1])/2;
Y := (YBron[BronTeller]+YBron[BronTeller+1])/2;
BerekenRichtingTussenPunten(0,0,X,Y,HoekNul);
FaseBron[BronTeller] :=(2*pi/GolfLengte)*(SQRT(SQR(X)+SQR(Y))*
ABS(COS(HoekBuiten-HoekNul)));
While FaseBron[BronTeller] > (2*pi) DO
Begin
FaseBron[BronTeller] := FaseBron[BronTeller]-2*pi;
End;
FaseBron[BronTeller] := (2*pi)-FaseBron[BronTeller];
End;
End;
End;

PROCEDURE Omzet;

VAR
L0,L1,QQ,RR      : Real;
Aantal,Teller    : Integer;

Begin
HoekBuiten := HoekBuiten * pi;

L0 := (g/(2*pi))*SQR(Periode);
L1 := L0*(EXP(0.4*LN(1-(EXP(-1*(EXP(1.25*LN(Waterdiepte*2*pi/L0)))))));
QQ := 2*pi*Waterdiepte/L1;
RR := SQR(QQ)/((EXP(QQ)+EXP(-1*QQ))/2);
Golfengte := L1*((RR+QQ*(EXP(QQ)-EXP(-1*QQ))/(EXP(QQ)+EXP(-1*QQ)))/(RR+((2*PI*Waterdiepte)/L0)));

BrTeller := 0;
PreciesBron := PreciesBron*Golfengte;
EersteBronIsGetal;
HalfOneindig;
BerekenFaseInBron;

DoelTeller := 0;
AantalDoel := 0;
LijnDoelTeller := 0;
FOR LijnDoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
Begin
IF ODD(LijnDoelTeller) THEN
Begin
VerdeelLijnInStukjes(XLijnDoel[LijnDoelTeller],YLijnDoel[LijnDoelTeller],
XLijndoel[LijnDoelTeller+1],YLijnDoel[LijnDoelTeller+1],
PreciesDoel[LijnDoelTeller],XDoel,YDoel,DoelTeller);

Aantal := 1+ROUND((Sqrt(sqr(XLijnDoel[LijnDoelTeller]-XLijnDoel[LijnDoelTeller+1])
+SQR(YLijnDoel[LijnDoelTeller]-YLijnDoel[LijnDoelTeller+1])))/(PreciesDoel[LijnDoelTeller]));
AantalDoel := AantalDoel + Aantal;
DoelTeller := AantalDoel;
End;
End;

LijnReflecTeller := 0;
TellerReflec := 0;
Teller := 0;

```

```
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (AantalLijnReflec*2) DO
Begin
PreciesReflec[LijnReflecTeller] := PreciesReflec[LijnReflecTeller]*Golfengte;
IF ODD(LijnReflecTeller) THEN
Begin
AantalReflec[LijnReflecTeller] := 1+ROUND(SQRT(SQR(XLijnReflec[LijnReflecTeller]
-XLijnReflec[LijnReflecTeller+1])+SQR(YLijnReflec[LijnReflecTeller]-
YLijnReflec[LijnReflecTeller+1]))/PreciesReflec[LijnReflecTeller]);

BeginReflecTeller[LijnReflecTeller] := Teller+1;
TellerReflec := Teller;

VerdeelLijnInStukjes(XLijnReflec[LijnReflecTeller], YLijnReflec[LijnReflecTeller],
XLijnReflec[LijnReflecTeller+1], YLijnReflec[LijnReflecTeller+1],
PreciesReflec[LijnReflecTeller], XReflec, YReflec, TellerReflec);

Teller := Teller + AantalReflec[LijnReflecTeller];
EindReflecTeller[LijnReflecTeller] := Teller;
End;
End;
MaalReflec := Teller;
End;

End.
```

```
UNIT UnitReken;
```

```
INTERFACE
```

```
USES
```

```
Crt, Graph, UnitDecl;
```

```
PROCEDURE Berekening;
```

```
IMPLEMENTATION
```

```
PROCEDURE Grafisch;
```

```
Var
```

```
i1, i2 : Integer;
```

```
Begin
```

```
TextColor(Black);
```

```
i1 := Detect;
```

```
InitGraph(i1, i2, "");
```

```
SetColor(Yellow);
```

```
End;
```

```
PROCEDURE VierkantEromheen;
```

```
Const
```

```
Vierkant : Array[1..5] OF Pointtype =
```

```
((X:20; Y:10), (X:625; Y:10), (X:625; Y:450), (X:20; Y:450), (X:20; Y:10));
```

```
Begin
```

```
SetColor(White);
```

```
SetLineStyle(solidln, 0, normwidth);
```

```
DrawPoly(SizeOf(Vierkant) div SizeOf(Pointtype), Vierkant);
```

```
End;
```

```

PROCEDURE BerekenRichtingTussenPunten (
X1,Y1,X2,Y2      : Real;

Var
Hoek2p           : Real);

Begin
IF Y2 <> Y1 THEN
Begin
IF X1 > X2 THEN
Begin
IF Y1 > Y2
THEN Hoek2p := 0.5*Pi+ARCTAN(ABS((X2-X1)/(Y2-Y1)))
ELSE Hoek2p := 1.5*Pi-ARCTAN(ABS((X2-X1)/(Y2-Y1)));
End;
IF X1 < X2 THEN
Begin
IF Y1 > Y2
THEN Hoek2p := 0.5*Pi-ARCTAN(ABS((X2-X1)/(Y2-Y1)))
ELSE Hoek2p := 1.5*Pi+ARCTAN(ABS((X2-X1)/(Y2-Y1)));
End;
IF X1 = X2 THEN
Begin
IF Y1 > Y2
THEN Hoek2p := 0.5*Pi
ELSE Hoek2p := 1.5*Pi;
End;
End
ELSE
Begin
IF X1 > X2
THEN Hoek2p := Pi
ELSE Hoek2p := 0;
End;
End;

PROCEDURE GolfhoogteInEenPuntDoorEenBron (
XBr,YBr          : EenDimenVeel;
XDo,YDo,GolfH,Hoekbu  : Real;
Teller           : Integer;

VAR
HDoel            : Real);

VAR
RR, YY, Lengte,
Hulp, WW, FF, GG, SS, CC  : Real;
XCornu,YCornu,Hoek      : EenDimenVeel;

Begin
FOR Teller := Teller TO Teller+1 DO
Begin
BerekenRichtingTussenPunten(XBr[Teller],YBr[Teller],
XDo,YDo,Hoek[Teller]);

IF Hoek[Teller] > HoekBu
THEN RR := SQRT(sqr(XBr[Teller]-XDo)+sqr(YBr[Teller]-YDo))
ELSE RR := -1*SQRT(sqr(XBr[Teller]-XDo)+sqr(YBr[Teller]-YDo));

IF ABS(Hoek[Teller]-HoekBu) < 0.5*pi
THEN YY := RR*COS(ABS(Hoek[Teller]-HoekBu))
ELSE YY := -1*RR*COS(ABS(Hoek[Teller]-HoekBu-pi));
IF ABS(COS(ABS(Hoek[Teller]-HoekBu))) < 0.001
THEN YY := 0;

WW := (RR-YY)/GolfLengte;

```

```

Hulp := 2*sqrt(ABS(WW));
FF := (1+0.926*Hulp)/(2+1.792*Hulp+3.104*sqrt(Hulp));
GG := 1/(2+4.142*Hulp+3.492*sqrt(Hulp)+6.670*(Hulp*Hulp*Hulp));
CC := 0.5+(FF*sin(sqrt(Hulp)*(pi/2)))-(GG*cos(sqrt(Hulp)*(pi/2)));
SS := 0.5-(FF*cos(sqrt(Hulp)*(pi/2)))-(GG*sin(sqrt(Hulp)*(pi/2)));

IF WW >= 0 THEN
Begin
XComu[Teller] := 0.5+0.5*SS+0.5*CC;
YComu[Teller] := 0.5*CC-0.5*SS;
End
ELSE
Begin
XComu[Teller] := 0.5-0.5*SS-0.5*CC;
YComu[Teller] := -0.5*CC+0.5*SS;
End;
End;

Lengte := SQRT(SQR(XComu[Teller-1]-XComu[Teller])+
SQR(YComu[Teller-1]-YComu[Teller]));
HDoel := Lengte * GolfH;
End;

PROCEDURE BerekenFaseInPuntDoorBron(
GolfI, RichBui, InFase, XDoe, YDoe : Real;
XBronn, YBronn : EenDimenVeel;
Tel : Integer;

VAR
FaseDoel : Real);

VAR
RR, Hoek1, Hoek2 : Real;

Begin
BerekenRichtingTussenPunten(XBronn[Tel], YBronn[Tel], XDoe, YDoe, Hoek1);
BerekenRichtingTussenPunten(XBronn[Tel+1], YBronn[Tel+1], XDoe, YDoe, Hoek2);
IF SQRT(SQR(XBronn[Tel]-XBronn[Tel+1])+SQR(YBronn[Tel]-YBronn[Tel+1])) <
(5*GolfI) THEN
Begin
RR := SQRT(sqr((XBronn[Tel]+XBronn[Tel+1])/2-XDoe)+
sqr((YBronn[Tel]+YBronn[Tel+1])/2-YDoe));
End
ELSE
Begin
IF ((RichBui > Hoek1) AND (RichBui > Hoek2)) OR
((RichBui < Hoek1) AND (RichBui < Hoek2))
THEN
Begin
RR := SQRT(sqr(XBronn[Tel]-XDoe)+sqr(YBronn[Tel]-YDoe));
End
ELSE
Begin
RR := SQRT(SQR(XBronn[Tel]-XDoe)+SQR(YBronn[Tel]-YDoe));
IF RichBui > Hoek1 THEN
Begin
RR := RR*COS(RichBui-Hoek1);
End
ELSE
Begin
RR := RR*COS(Hoek1-RichBui);
End;
End;
End;

FaseDoel := InFase + ((RR/GolfI)*2*pi);

```

End;

PROCEDURE SpiegelRichting (

XSpiegel1, YSpiegel1, XSpiegel2, YSpiegel2, RichtingIn : Real;

VAR  
RichtingUit : Real);

VAR  
RichtingSpiegel : Real;

Begin  
BerekenRichtingTussenPunten(XSpiegel1, YSpiegel1, XSpiegel2, YSpiegel2,  
RichtingSpiegel);

IF RichtingSpiegel > pi  
THEN RichtingSpiegel := RichtingSpiegel - pi;

IF RichtingSpiegel > 0.5\*pi THEN  
Begin  
IF (RichtingIn < RichtingSpiegel) OR (RichtingIn > (RichtingSpiegel + pi))  
THEN RichtingUit := RichtingSpiegel + (RichtingSpiegel - RichtingIn)  
ELSE RichtingUit := RichtingSpiegel - (RichtingIn - RichtingSpiegel);  
End

ELSE  
Begin  
RichtingSpiegel := RichtingSpiegel + pi;  
IF (RichtingIn > RichtingSpiegel) OR (RichtingIn < (RichtingSpiegel - pi))  
THEN RichtingUit := RichtingSpiegel - (RichtingIn - RichtingSpiegel)  
ELSE RichtingUit := RichtingSpiegel + (RichtingSpiegel - RichtingIn);  
End;

IF RichtingIn = RichtingSpiegel THEN  
RichtingUit := RichtingIn;  
IF (RichtingIn = RichtingSpiegel + 0.5\*pi) OR (RichtingIn = (RichtingSpiegel - 0.5\*pi)) THEN  
RichtingUit := RichtingIn + pi;

End;

PROCEDURE MaakReflecterendeRandTotBron (

Hrand1, Hrand2, RefCoef, FaseRan1, FaseRan2,  
XPun1, YPun1, XPun2, YPun2,  
XBro1, YBro1, XBro2, YBro2 : Real;

VAR  
BronRichting, BronHoogte, BronFase : Real);

VAR  
Rich1, Rich2, Rich3, Rich4, Rich : Real;

Begin  
BronHoogte := ((Hrand1 + Hrand2)/2)\*Refcoef;  
BronFase := ((FaseRan1 + FaseRan2)/2){ + pi};  
IF XBro1 > 99900 Then  
Begin  
BerekenRichtingTussenPunten(XPun1, Ypun1, XPun2, YPun2, Rich);  
BronRichting := Rich + 0.5\*pi;  
End  
Else  
Begin  
BerekenRichtingTussenPunten(XBro1, YBro1, XPun1, YPun1, Rich1);  
BerekenRichtingTussenPunten(XBro1, YBro1, XPun2, YPun2, Rich2);  
BerekenRichtingTussenPunten(XBro2, YBro2, XPun1, YPun1, Rich3);  
BerekenRichtingTussenPunten(XBro2, YBro2, XPun2, YPun2, Rich4);  
IF SQR(SQR(XBro1-XBro2)+SQR(YBro1-YBro2)) < (5\*Golflengte) THEN

```
Begin
Rich := (Rich1+Rich2+Rich3+Rich4)/4;
SpiegelRichting(XPun1,YPun1,XPun2,YPun2,Rich,BronRichting);
End
ELSE
Begin
IF ((HoekBuiten > Rich1) AND (HoekBuiten > Rich3)) OR
((HoekBuiten < Rich1) AND (HoekBuiten < Rich3))
THEN
Begin
Rich := (Rich1 + Rich2)/2;
SpiegelRichting(XPun1,YPun1,XPun2,YPun2,Rich,BronRichting);
End
ELSE
Begin
SpiegelRichting(XPun1,YPun1,XPun2,YPun2,HoekBuiten,BronRichting);
End;
End;
End;
End;
```

PROCEDURE GolfhoogteUitVerschillendeInvloeden (

HoogteBij,FaseBij : Real;

VAR

HoogteOud,FaseOud : Real);

VAR

X,Y : Real;

Begin

```
X := (HoogteOud*COS(FaseOud));
Y := -1*(HoogteOud*SIN(FaseOud));
X := X + (HoogteBij*COS(FaseBij));
Y := Y - (HoogteBij*SIN(FaseBij));
HoogteOud := Sqrt(SQR(X)+SQR(Y));
BerekenRichtingTussenPunten(0,0,X,Y,FaseOud);
End;
```

PROCEDURE Berekening;

Var

BeginBron,EindBron :Integer;

Begin

```
Grafisch;
CLRSCR;
VierkantEromheen;
```

```
SetColor(White);
SetLineStyle(solidln,0,1);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);
```

```
SetColor(Green);
SetTextStyle(1,horizdir,4);
OuttextXY(110,40,'Calculating...');
```

```
SetColor(Yellow);
SetTextStyle(1,horizdir,2);
OuttextXY(105,180,'0%');
OuttextXY(515,180,'100%');
OuttextXY(310,180,'50%');
```

```
SetColor(Lightred);
Line(110,210,535,210);
```

```

Line(110,230,535,230);
Line(110,210,110,230);
Line(535,210,535,230);

SetColor(White);
SetLineStyle(Solidln,0,3);
Line(110,220,120,220);

DoelTeller := 0;
FOR DoelTeller := 1 TO (2*AantalDoel) DO
Begin
Huitvoer[DoelTeller] := 0;
FaseUit[DoelTeller]:=0;
End;

BeginBron := 110;
EindBron := 110;

BronTeller := 0;
FOR BronTeller := 1 TO (2*AantalBron) DO
Begin
IF ODD(BronTeller) THEN
Begin
BeginBron := EindBron;
EindBron := ROUND(110+(425/(2*AantalBron))*(1+BronTeller));

TellerReflec := 0;
FOR TellerReflec := 1 TO MaalReflec DO
Begin

Hoogterand[Tellerreflec] := 0;
FaseRand[TellerReflec] := 0;

GolfhoogteInEenPuntDoorEenBron(XBron,YBron,XReflec[TellerReflec],
YReflec[TellerReflec],HGolfBuiten,HoekBuiten,BronTeller,
HoogteRand[TellerReflec]);

BerekenFaseInPuntDoorBron(GolfLengte,HoekBuiten,FaseBron[BronTeller],
XReflec[TellerReflec],YReflec[TellerReflec],XBron,YBron,Bronteller,
FaseRand[TellerReflec]);

End;

LijnReflecTeller := 0;
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO
Begin

IF ODD(LijnReflecTeller) THEN
Begin

TellerReflec := 0;
FOR TellerReflec := (BeginReflecTeller[LijnReflecTeller]) TO
(EindReflecTeller[LijnReflecTeller]-1) DO
Begin

MaakReflecterendeRandTotBron(HoogteRand[TellerReflec],
HoogteRand[TellerReflec+1],Reflectie[LijnReflecteller],
FaseRand[TellerReflec],FaseRand[TellerReflec+1],
XReflec[TellerReflec],YReflec[TellerReflec],XReflec[TellerReflec+1],
YReflec[TellerReflec+1],XBron[BronTeller],YBron[BronTeller],
XBron[BronTeller+1],YBron[BronTeller+1],RichtingRand[TellerReflec],
HoogteRand[TellerReflec],FaseRand[TellerReflec]);

End;
End;
End;

LijnReflecTeller := 0;
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO

```

```
Begin
IF ODD(LijnReflecTeller) THEN
Begin

TellerReflec := 0;
FOR TellerReflec := (BeginReflecTeller[LijnReflecTeller]) TO
(EindReflecTeller[LijnReflecTeller]-1) DO
Begin

DoelTeller := 0;
FOR DoelTeller := 1 TO AantalDoel DO
Begin

GolfhoogteInEenPuntDoorEenBron(XReflec, YReflec, XDoel[DoelTeller],
YDoel[DoelTeller], HoogteRand[TellerReflec],
RichtingRand[TellerReflec], TellerReflec, HoogtePunt);

BerekenFaseInPuntDoorBron(GolfLengte, RichtingRand[TellerReflec],
FaseRand[TellerReflec], XDoel[DoelTeller], YDoel[DoelTeller],
XReflec, YReflec, TellerReflec, FasePunt);

GolfhoogteUitVerschillendeInvloeden(HoogtePunt, FasePunt,
HUitvoer[DoelTeller], FaseUit[DoelTeller]);

End;
Line(110, 220, ROUND(BeginBron + ((EindBron - BeginBron) /
(Maalreflec)) * (1 + Tellerreflec)), 220);

End;
End;

End;

DoelTeller := 0;
FOR DoelTeller := 1 TO AantalDoel DO
Begin

GolfhoogteInEenPuntDoorEenBron(XBron, YBron, XDoel[DoelTeller],
YDoel[DoelTeller], HGolfBuiten, HoekBuiten, BronTeller, HoogtePunt);

BerekenFaseInPuntDoorBron(GolfLengte, HoekBuiten, FaseBron[BronTeller],
XDoel[DoelTeller], YDoel[DoelTeller], XBron, YBron, BronTeller, FasePunt);

GolfHoogteUitVerschillendeInvloeden(HoogtePunt, FasePunt,
HUitvoer[DoelTeller], FaseUit[DoelTeller]);

End;
End;
End;

Preciesbron := Preciesbron/GolfLengte;
HoekBuiten := HoekBuiten/Pi;
LijnReflecTeller := 0;
FOR LijnReflecTeller := 1 TO (2*AantalLijnReflec) DO
Begin
PreciesReflec[LijnReflecTeller] := PreciesReflec[LijnReflecTeller]
/GolfLengte;
End;
Closegraph;
End;

End.
```



```
UNIT UnitResu;

INTERFACE

USES
  Crt,Graph,UnitDecl;

PROCEDURE Grafiek;

IMPLEMENTATION

PROCEDURE Grafisch;

  Var
    i1,i2 : Integer;

  Begin
    TextColor(Black);
    i1 := Detect;
    InitGraph(i1,i2,"");
    SetColor(14);
  End;

PROCEDURE VierkantEromheen;

  Const
    Vierkant : Array[1..5] of Pointtype =
      ((X:20;Y:10),(X:625;Y:10),(X:625;Y:450),(X:20;Y:450),(X:20;Y:10));

  Begin
    SetColor(White);
    SetLineStyle(solidln,0,normwidth);
    DrawPoly(Sizeof(Vierkant)div Sizeof(Pointtype),Vierkant);
  End;

FUNCTION RealToStr(i : Real) : String;

  Var
    s : String[7];

  Begin
    Str(i:7:1,s);
    RealToStr := s;
  End;

FUNCTION IntToStr(i : Integer) : String;

  Var
    s : String;

  Begin
    Str(i,s);
    IntToStr := s;
  End;

PROCEDURE Grafiek;

  Var
    DoelMin,DoelMax : Integer;
    HMax           : Real;
```

Label 4;

```
Begin
DoelMin := 0;
DoelMax := 0;
FOR LijnDoelTeller := 1 TO (2*AantalLijnDoel) DO
Begin
Keuze7:= '3';
IF ODD(LijnDoelTeller) THEN
Begin
Grafisch;
CLRSCR;
VierkantEromheen;

SetLineStyle(solidln,0,1);
SetColor(White);
Line(20,100,625,100);
Line(20,350,625,350);

SetColor(White);
SetTextStyle(5,horizdir,10);
OuttextXY(500,425,'<ENTER>');

SetColor(Green);
SetTextStyle(1,horizdir,4);
OuttextXY(110,40,'Results line of output');
OuttextXY(475,40,IntToStr(ROUND((LijnDoelTeller+1)/2)));

SetColor(Lightred);
SetTextStyle(2,horizdir,5);
OuttextXY(110,360,'1. Next line of output');
OuttextXY(110,375,'2. Finished');
OuttextXY(110,395,'Choice: ...');

SetColor(Yellow);
OuttextXY(320,360,'Line of output');
OuttextXY(320,375,'X1:');
OuttextXY(320,390,'Y1:');
OuttextXY(320,405,'X2:');
OuttextXY(320,420,'Y2:');
OuttextXY(430,360,IntToStr(ROUND((LijnDoelTeller+1)/2)));
OuttextXY(370,375,RealToStr(XLijnDoel[LijnDoelTeller]));
OuttextXY(370,390,RealToStr(YLijnDoel[LijnDoelTeller]));
OuttextXY(370,405,RealToStr(XLijnDoel[LijnDoelTeller+1]));
OuttextXY(370,420,RealToStr(YLijnDoel[LijnDoelTeller+1]));

SetColor(Yellow);
Line(140,310,530,310);
Line(140,310,140,120);
Line(138,120,142,120);
Line(138,215,142,215);
Line(218,308,218,312);
Line(296,308,296,312);
Line(374,308,374,312);
Line(452,308,452,312);
Line(530,308,530,312);

SetColor(Lightred);
OuttextXY(450,334,'Pointnumber');
SetLineStyle(2,Horizdir,5);
OuttextXY(40,170,'Waveheight');
OuttextXY(70,155,(m));

DoelMin := DoelMax+1;
DoelTeller := 0;
Repeat
DoelTeller := DoelTeller +1;
Until (ABS(XDoel[DoelTeller] -XLijnDoel[LijnDoelTeller+1]) <
```

```

    PreciesDoel[LijnDoelTeller] AND
    (ABS(YDoel[DoelTeller]- YLijnDoel[LijnDoelTeller+1]) <
    PreciesDoel[LijnDoelTeller]);
DoelMax := DoelTeller;
DoelTeller := DoelMin;

HMax := 0;
FOR DoelTeller := DoelMin TO DoelMax DO
Begin
IF (Huitvoer[DoelTeller] > HMax) THEN HMax := Huitvoer[DoelTeller];
End;

SetColor(Yellow);
OuttextXY(80,115,RealToStr(HMax));
OuttextXY(80,210,RealToStr(HMax/2));
OuttextXY(115,300,'0');
OuttextXY(140,315,IntToStr(DoelMin));
OuttextXY(217,315,IntToStr(ROUND(DoelMin+(DoelMax-DoelMin)/5)));
OuttextXY(294,315,IntToStr(ROUND(DoelMin+(DoelMax-DoelMin)*2/5)));
OuttextXY(372,315,IntToStr(ROUND(DoelMin+(DoelMax-DoelMin)*3/5)));
OuttextXY(450,315,IntToStr(ROUND(DoelMin+(DoelMax-DoelMin)*4/5)));
OuttextXY(528,315,IntToStr(DoelMax));

Doelteller := 0;
SetColor(Lightcyan);
FOR DoelTeller := DoelMin TO (DoelMax-1) DO
Begin
Line(ROUND(140+((DoelTeller-DoelMin)/(DoelMax-DoelMin))*390),
    ROUND(310-(Huitvoer[DoelTeller]/HMax)*190),
    ROUND(140+(((DoelTeller+1)-DoelMin)/(DoelMax-DoelMin))*390),
    ROUND(310-(Huitvoer[DoelTeller+1]/HMax)*190));
End;

Repeat
Keuze7 := Readkey;
SetColor(White);
OuttextXY(205,395,Keuze7);
Readln;
IF (Keuze7 <> '1') AND (Keuze7 <> '2') THEN Writeln(chr(7));
Until (Keuze7 = '1') OR (Keuze7 = '2');
IF (Keuze7 = '2') THEN
Begin
Closegraph;
Goto 4;
End;
Closegraph;
End;
4:
End;

End.

```



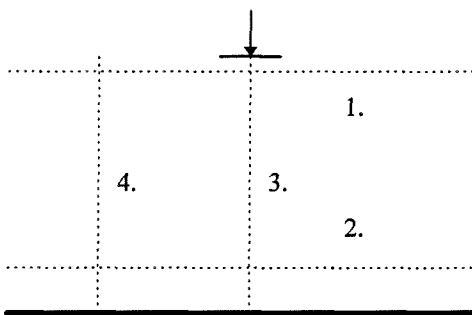
## Bijlage C4: Resultaten testen

In deze bijlage worden de resultaten van een elftal vergelijkingen tussen de computerprogramma's CHarON en DIFFRAC in verschillende situaties weergegeven. Per test worden de invoerwaarden en een viertal grafieken gegeven.

De invoerwaarden die in de bijlage aangegeven staan, zijn de invoerwaarden die bij CHarON ingevoerd zijn. Voor DIFFRAC zijn dezelfde waarden gebruikt. In DIFFRAC wordt de situatie echter enigszins anders geschematiseerd en daarmee worden ook de invoerwaarden enigszins anders weergegeven. De golflengte staat ook aangegeven, ook al is dit geen invoerwaarde.

De grafieken representeren vier lijnen van uitvoer. In figuur C4.1 is aangegeven welke lijnen dat zijn.

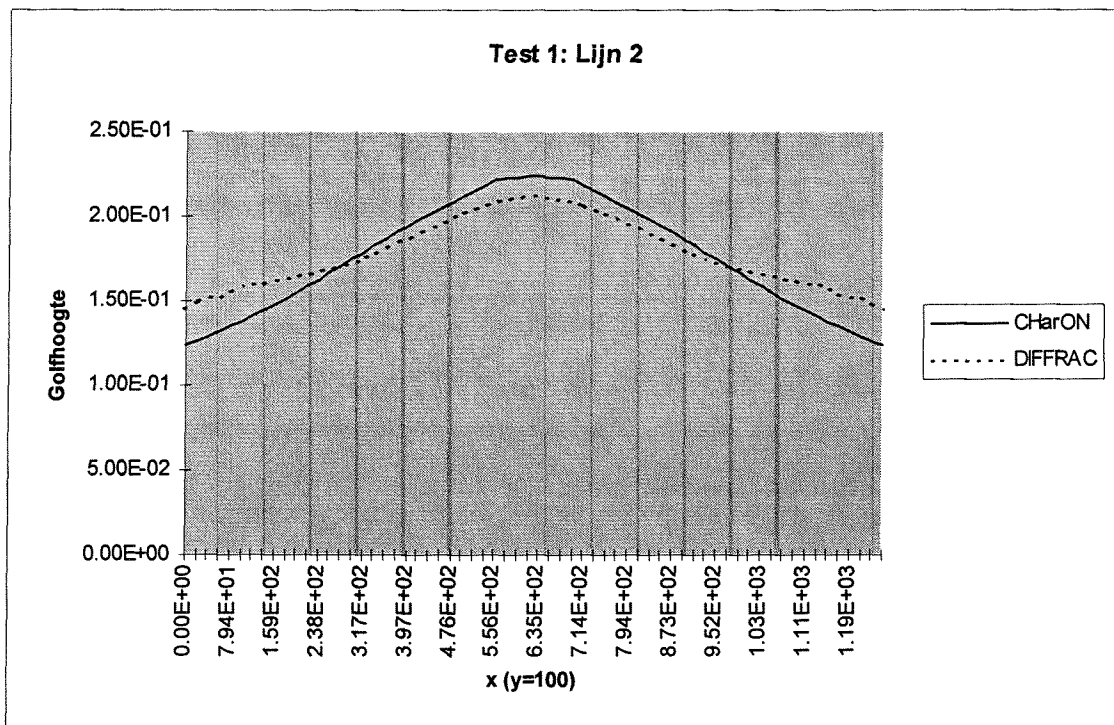
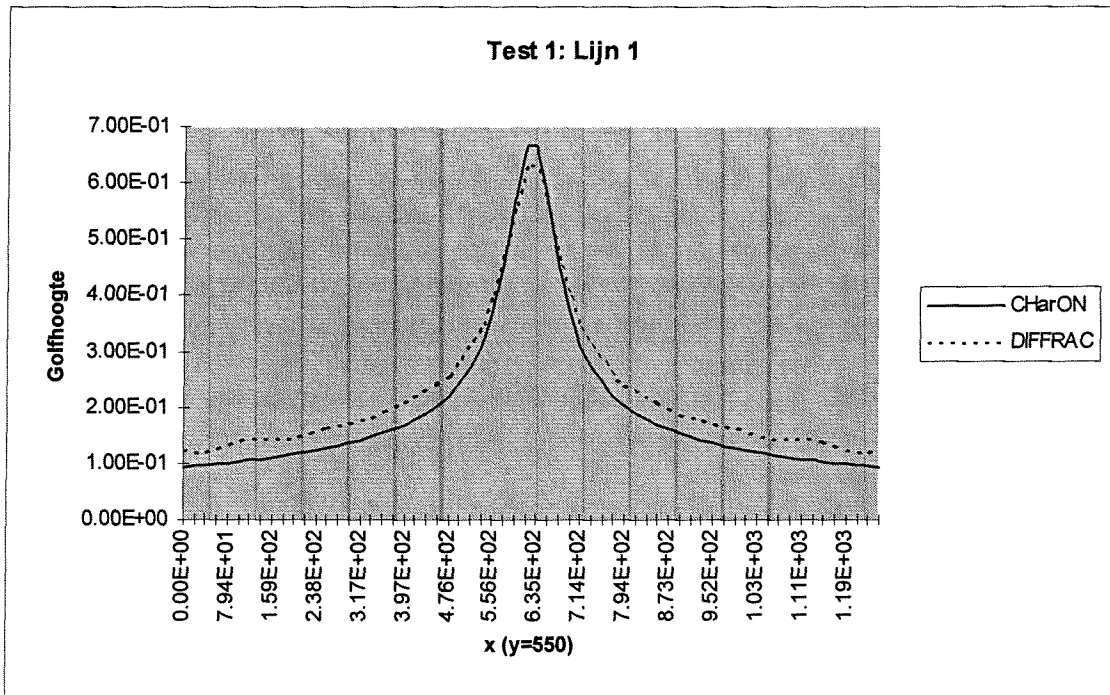
In hoofdstuk 12 van dit rapport worden de testen beschreven en worden conclusies uit de resultaten getrokken.

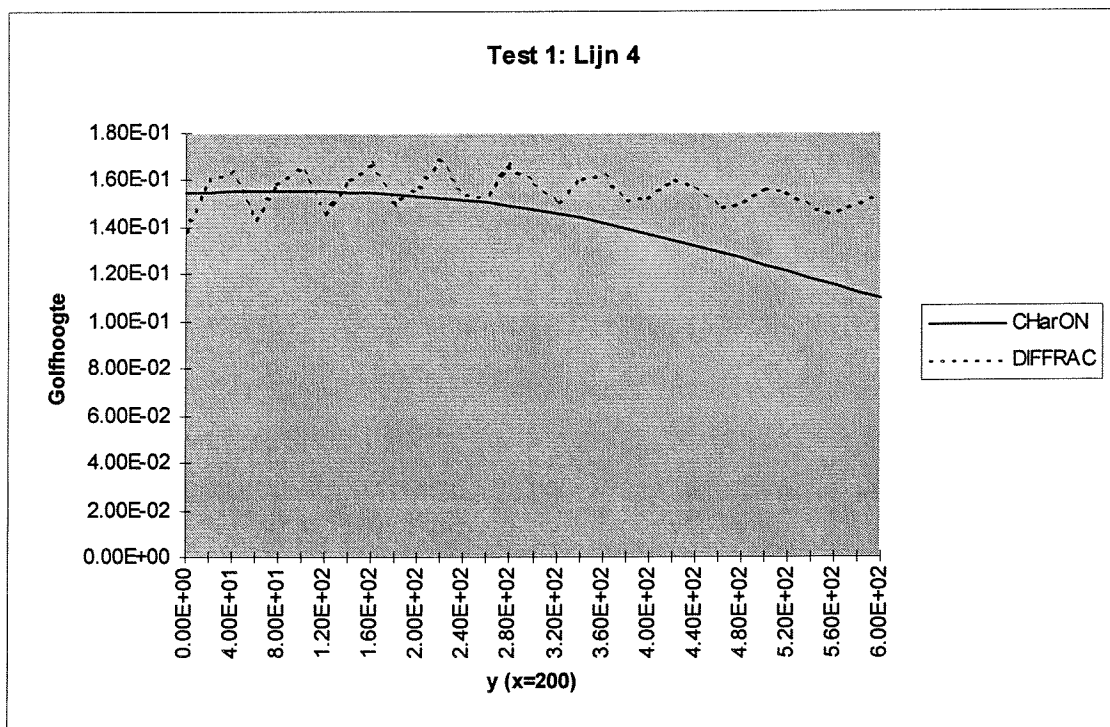
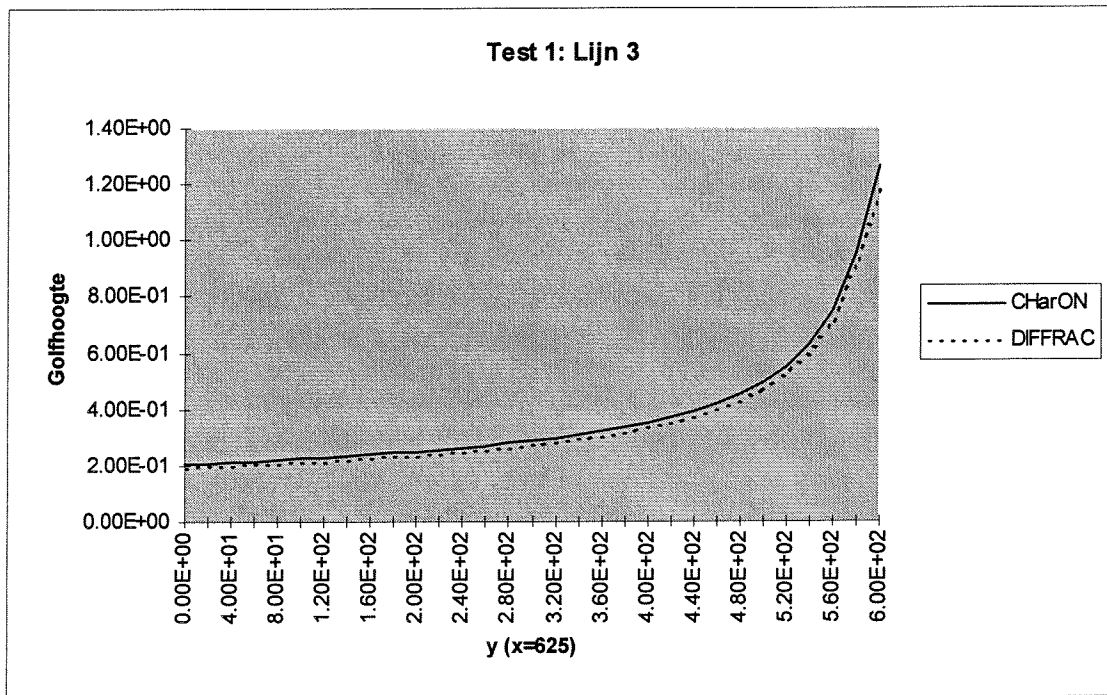


*Figuur C4.1: Doellijnen*

## Test 1: Enkel diffractie

- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golflengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5 \*L (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.

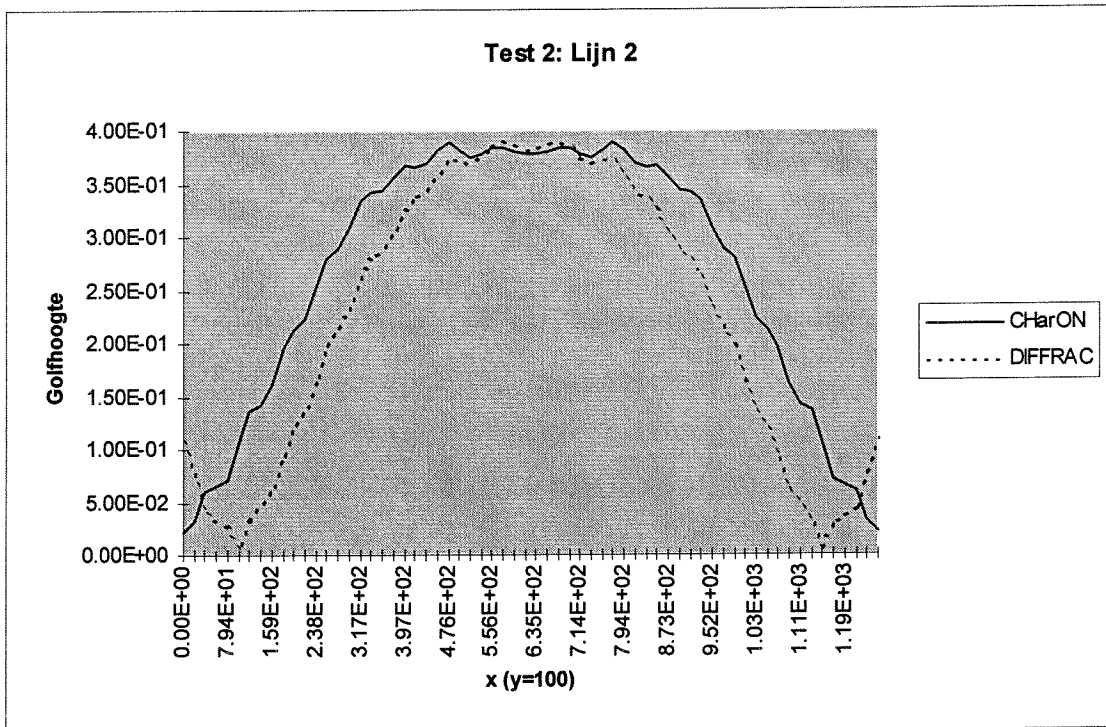
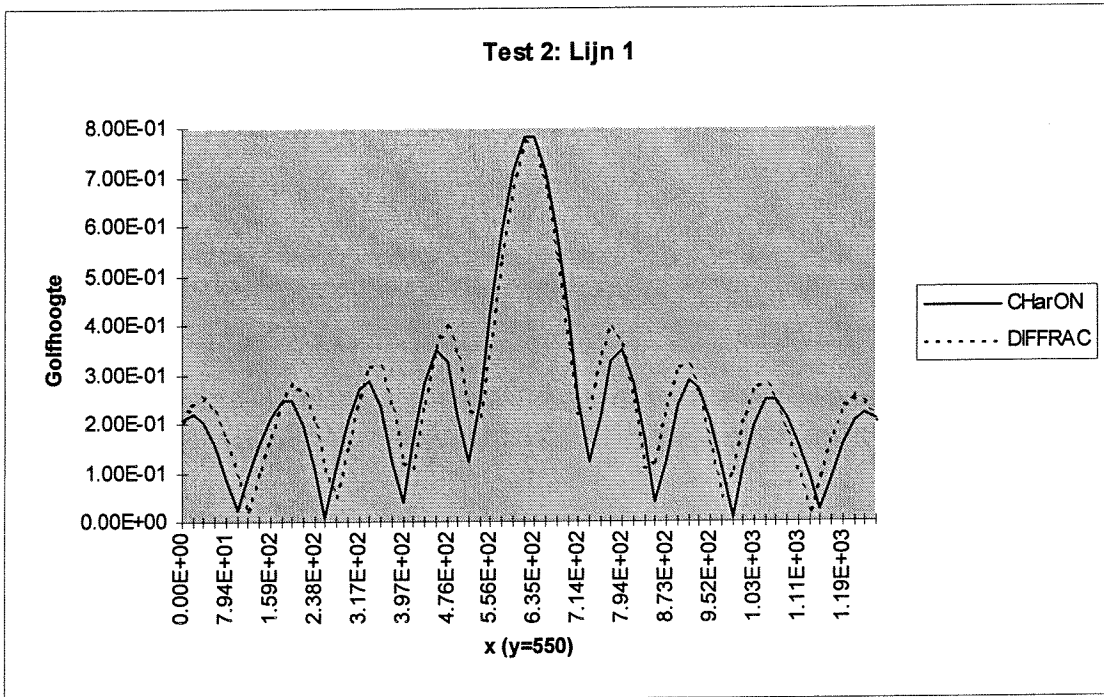


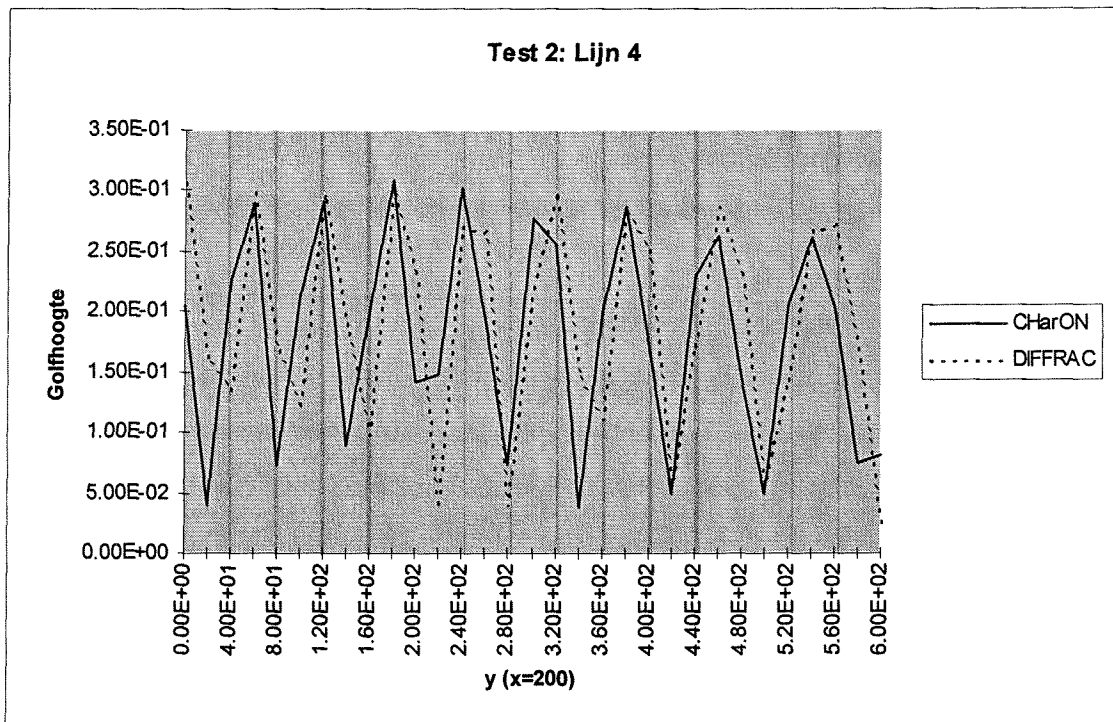
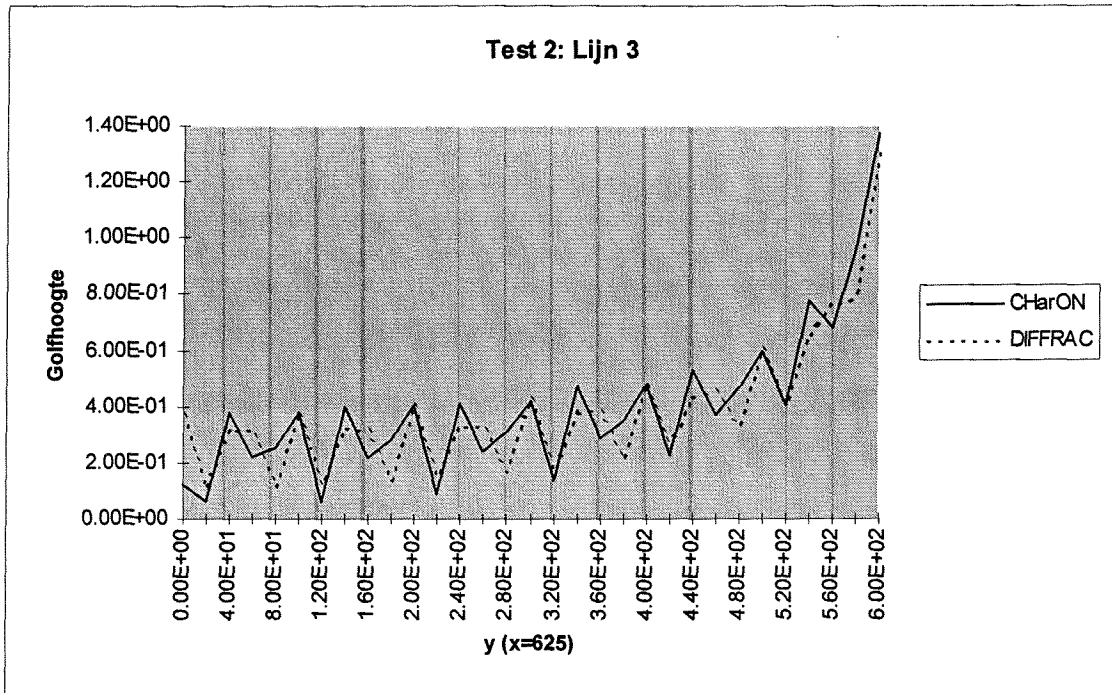




## Test 2: Reflecterende wand

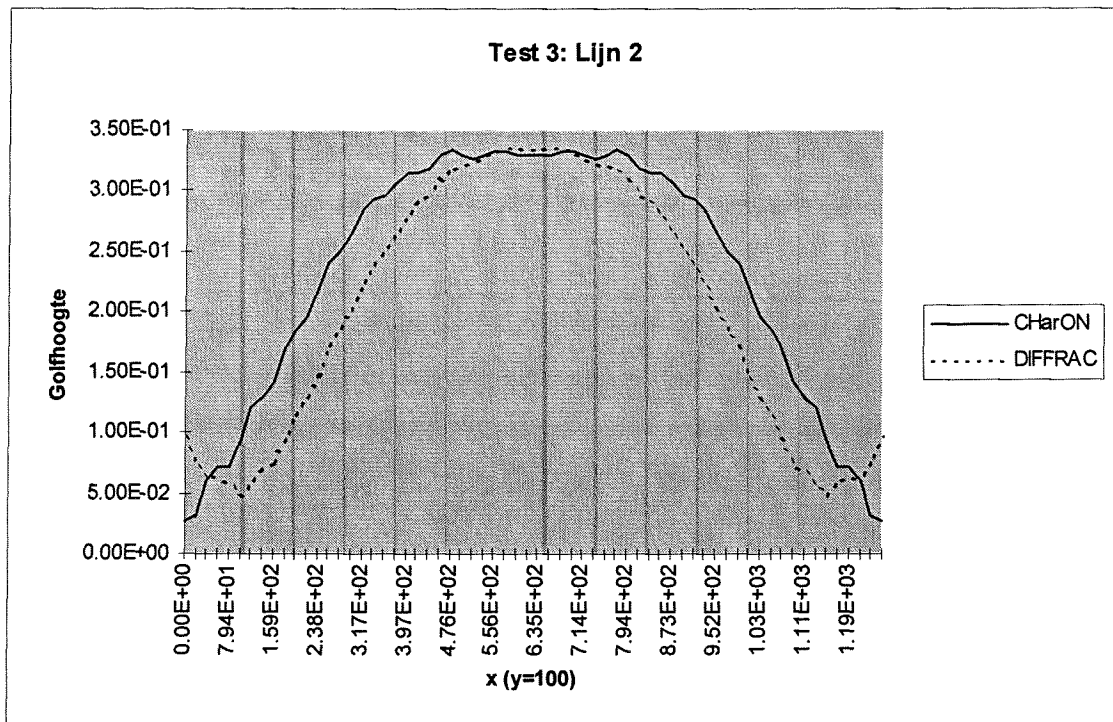
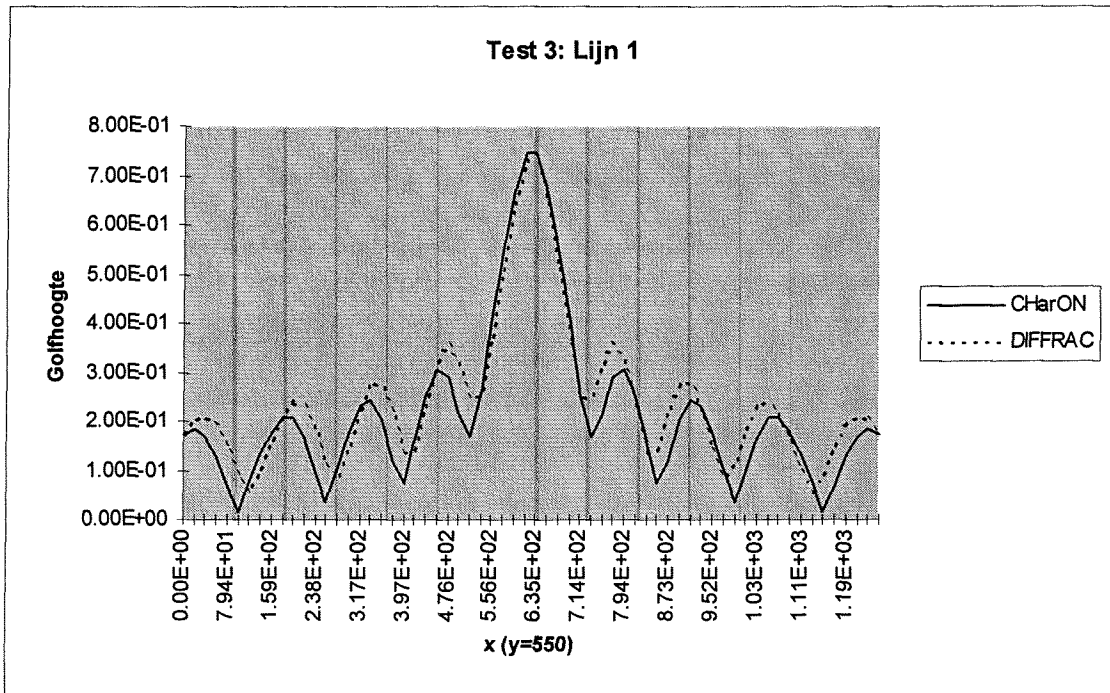
- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golfengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1

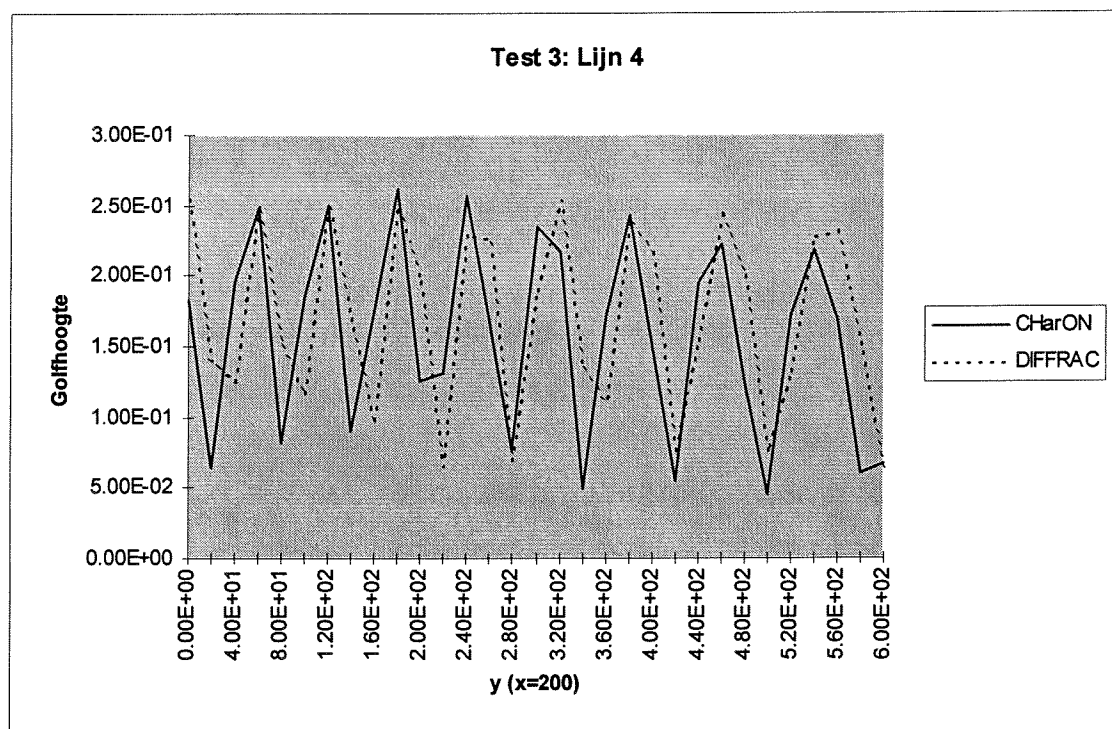
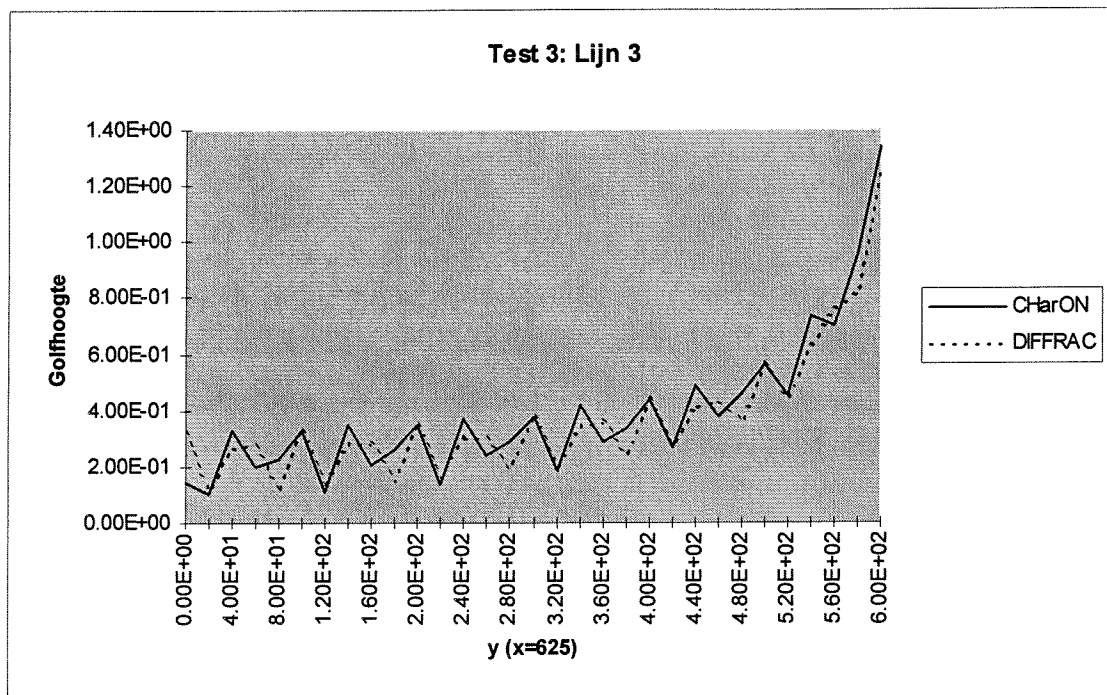




### Test 3: Reflectiecoëfficiënt

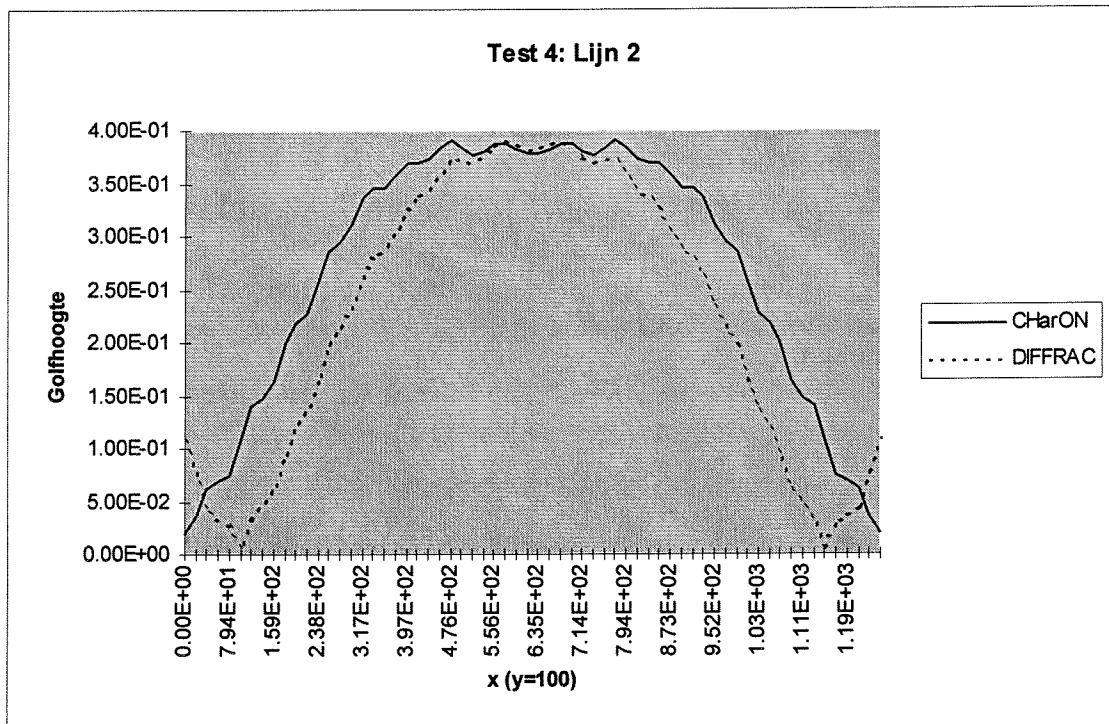
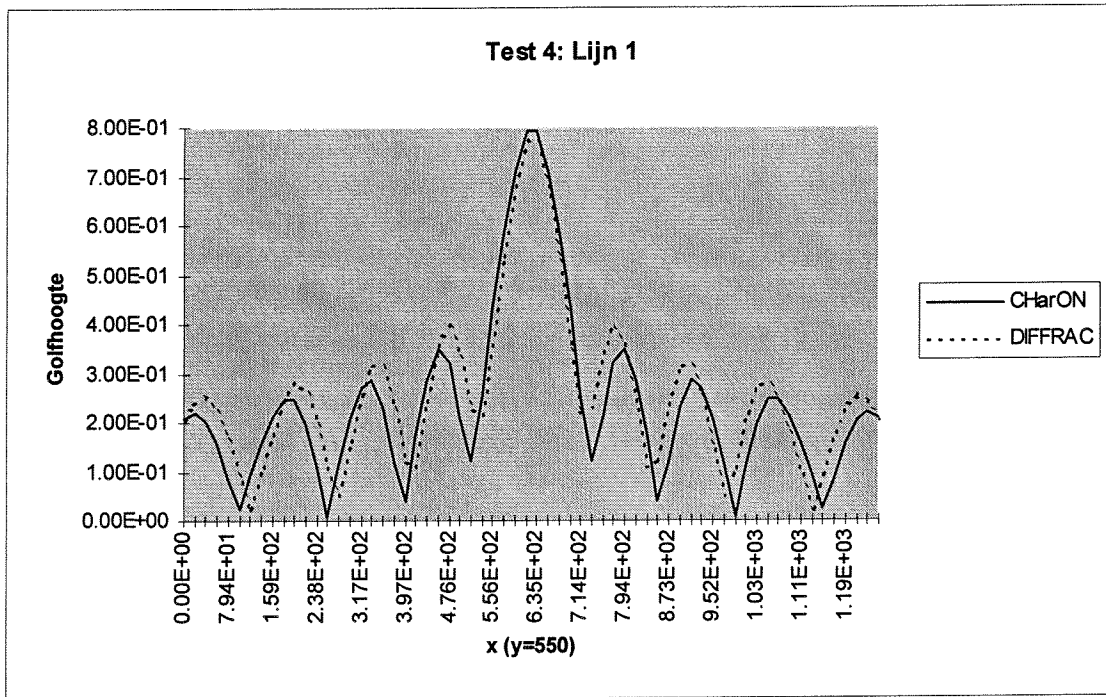
- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golflengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\cdot \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5  $\cdot L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5  $\cdot L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 0.7



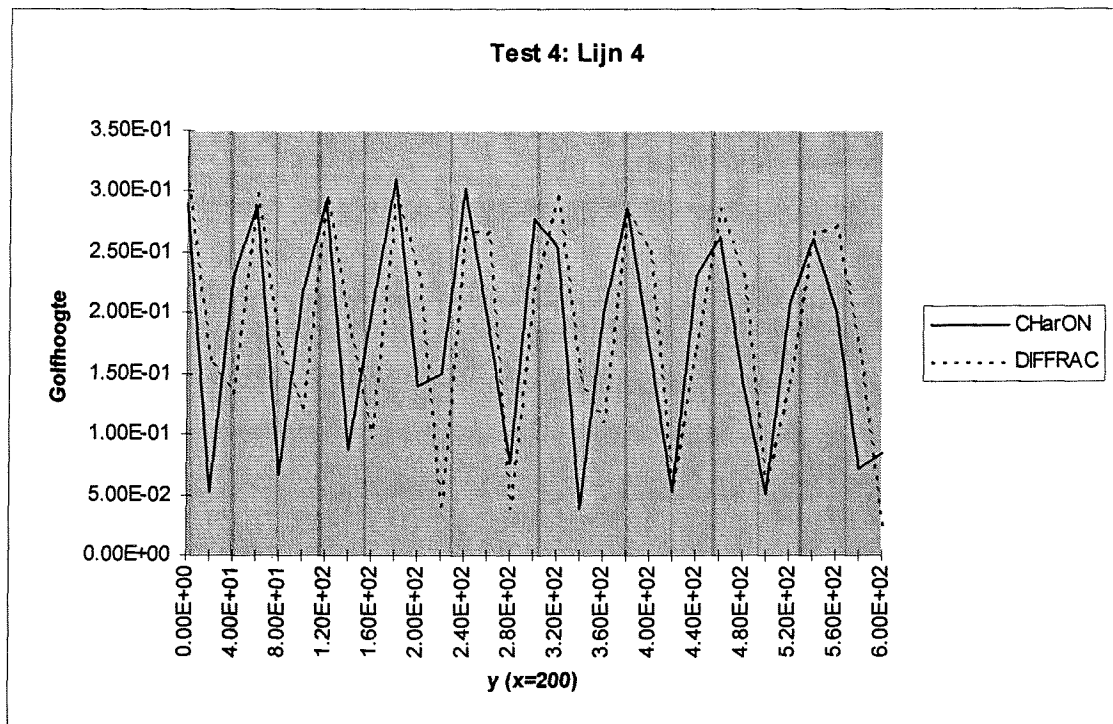
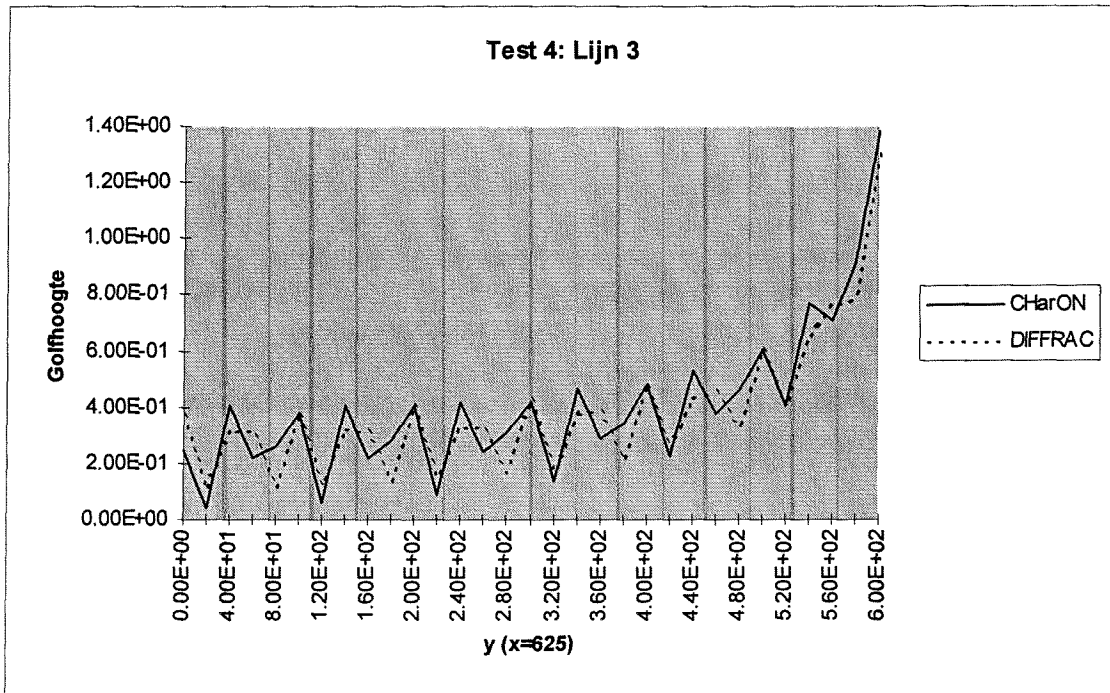


## Test 4: Kleine tussenafstand rekenpunten

- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golfengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.1  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.1 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1

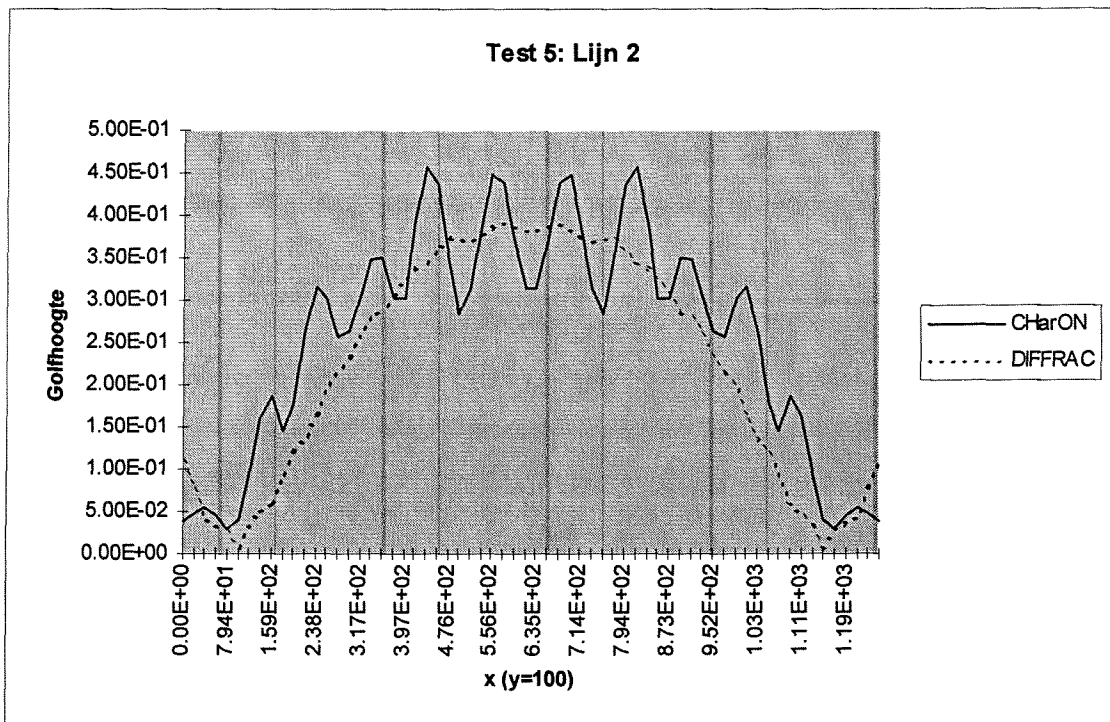
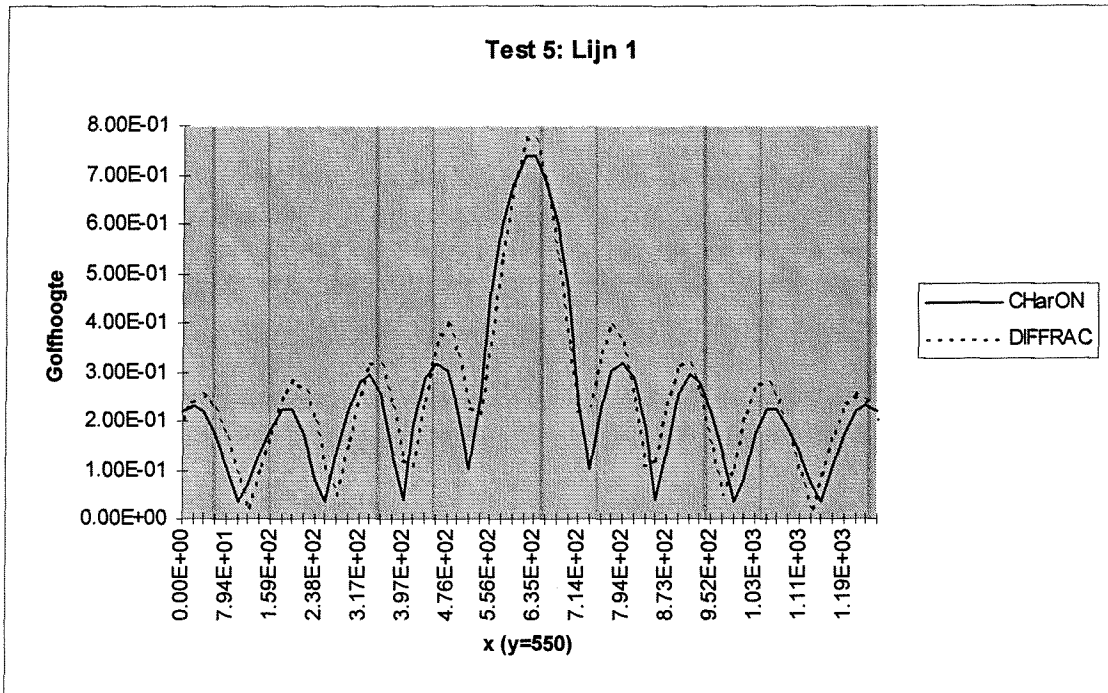


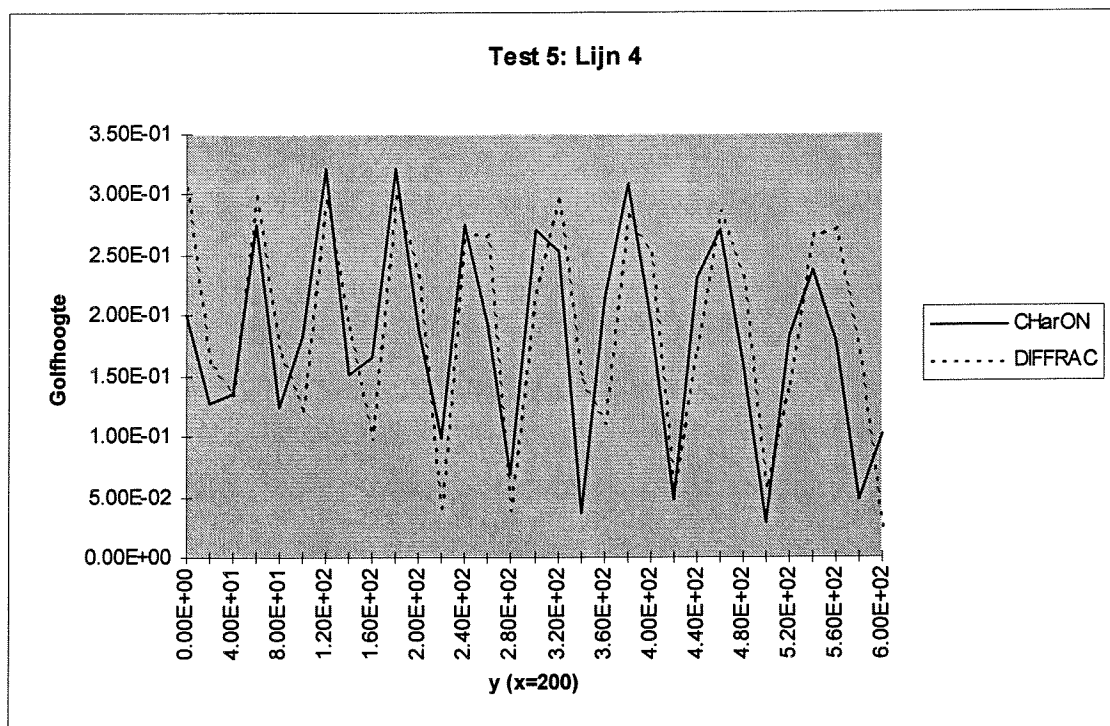
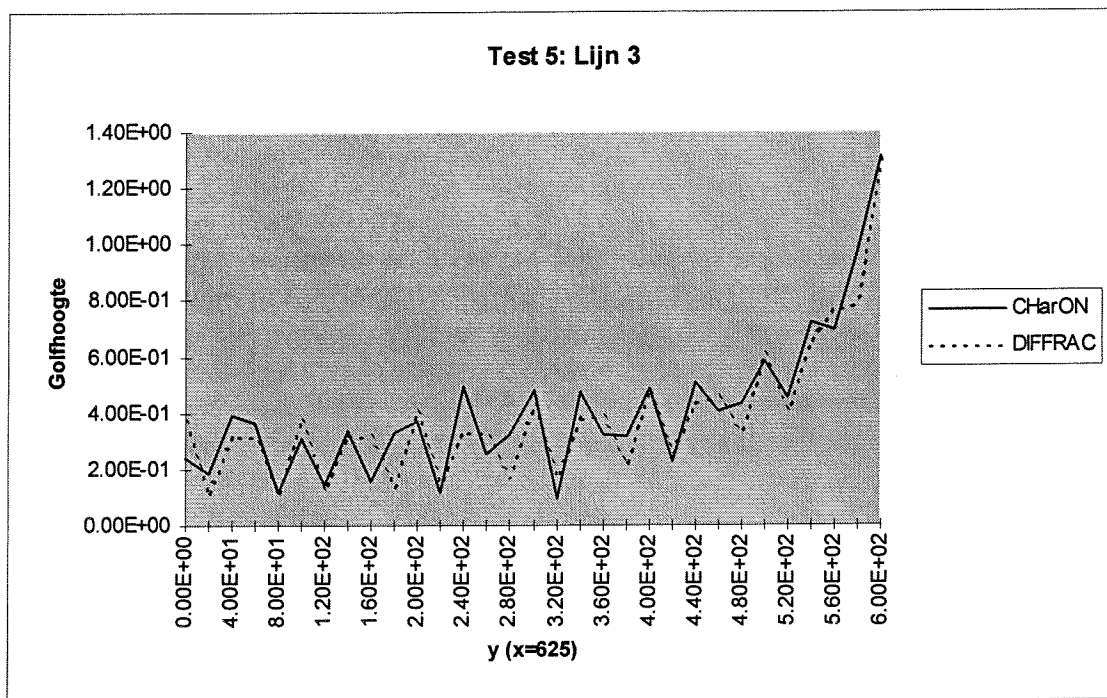




## Test 5: Grote tussenafstand rekenpunten

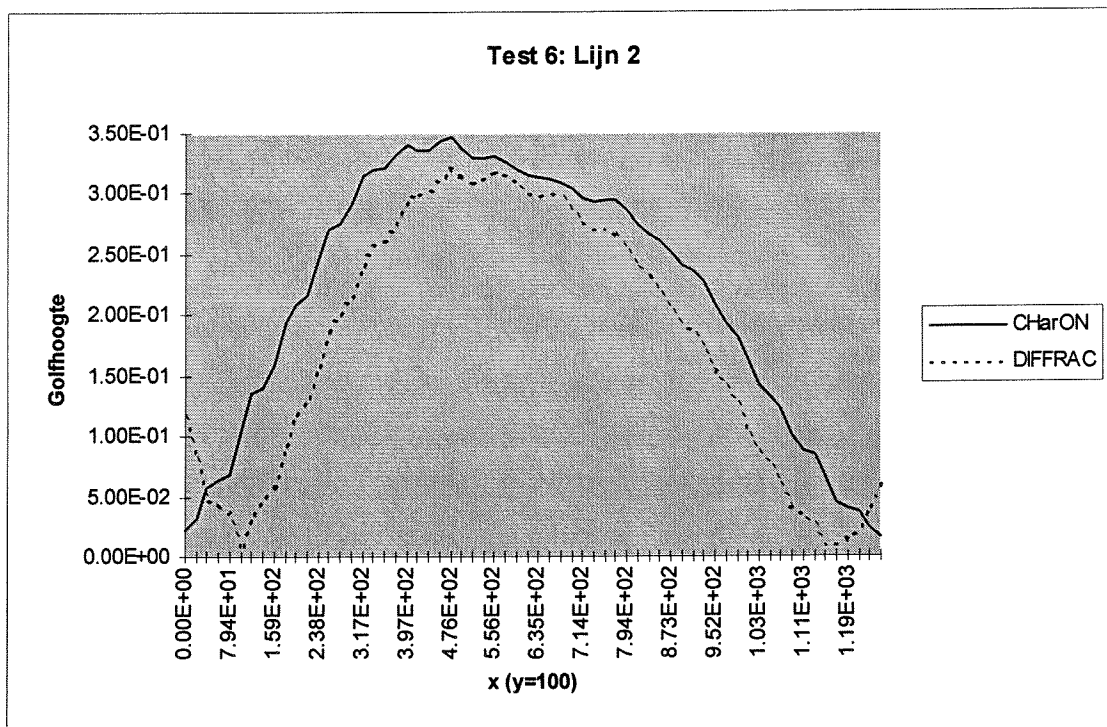
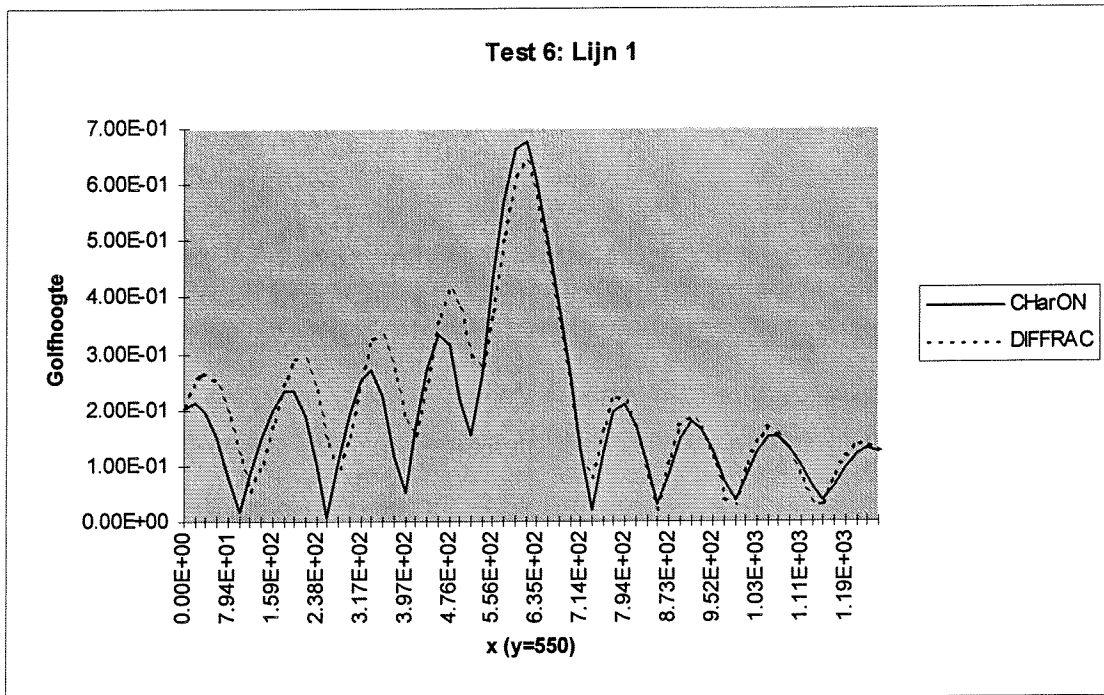
- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golf lengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 1  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 1  $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1

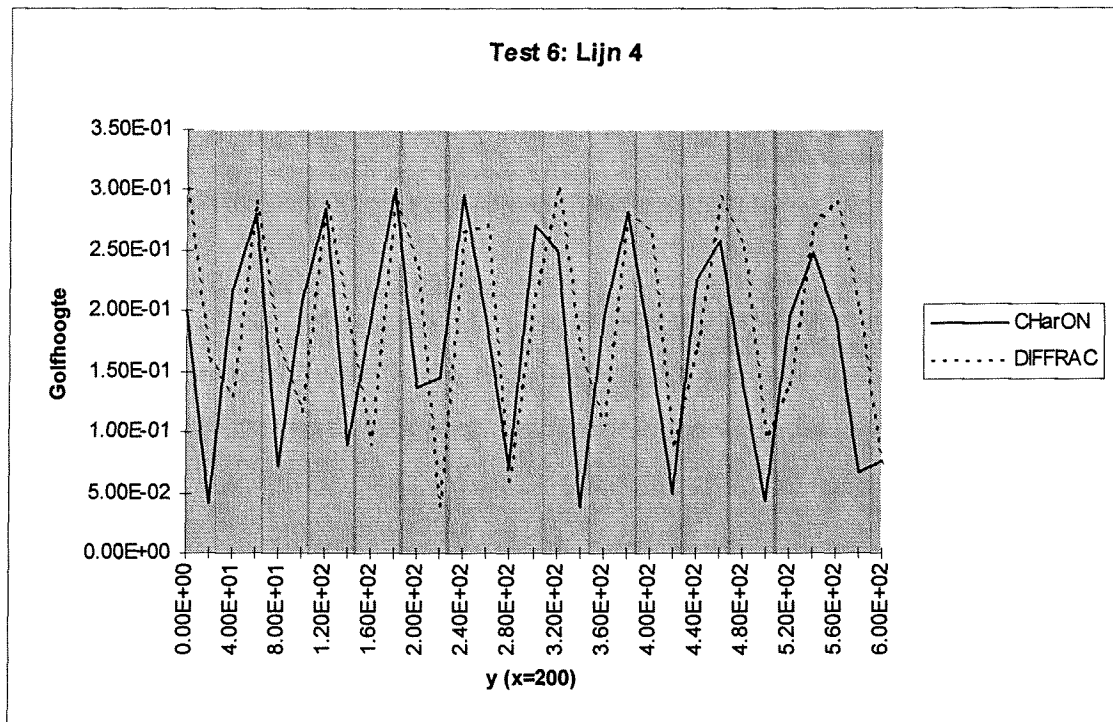
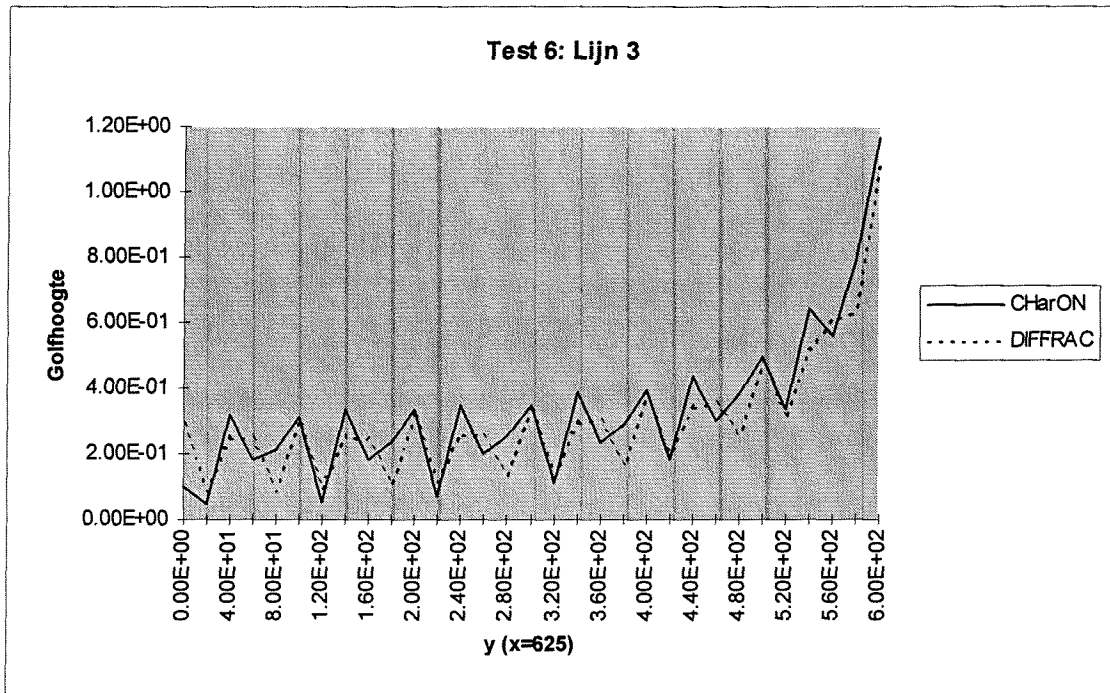




## Test 6: Hoek van inval

- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golfengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.7  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1

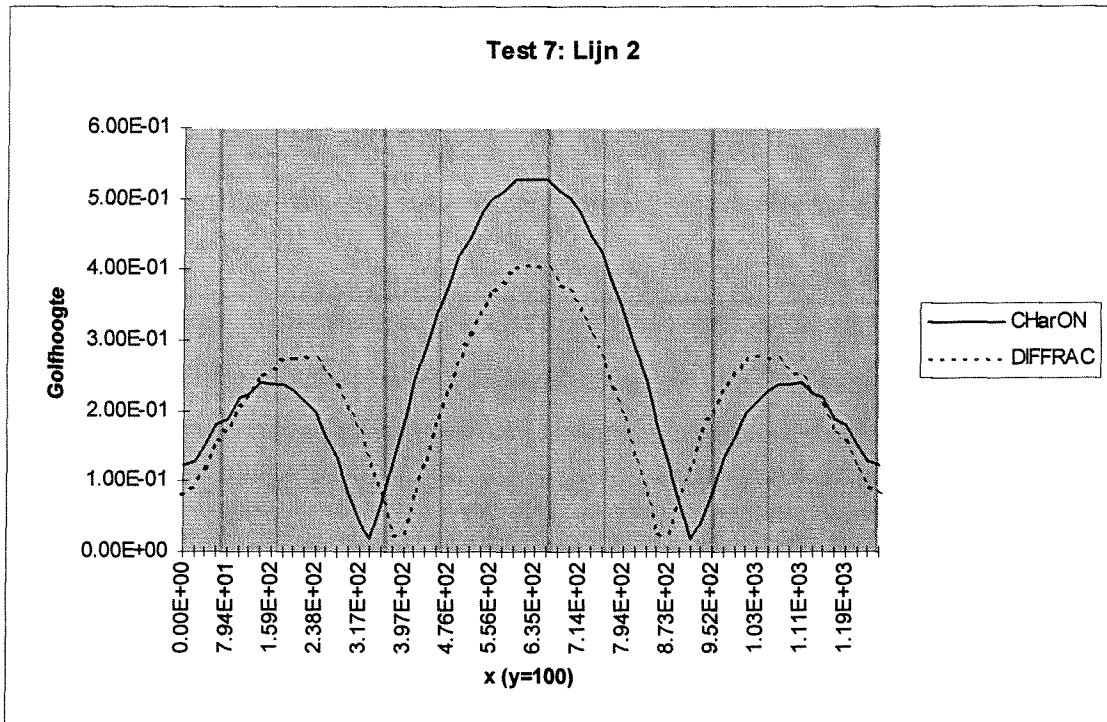
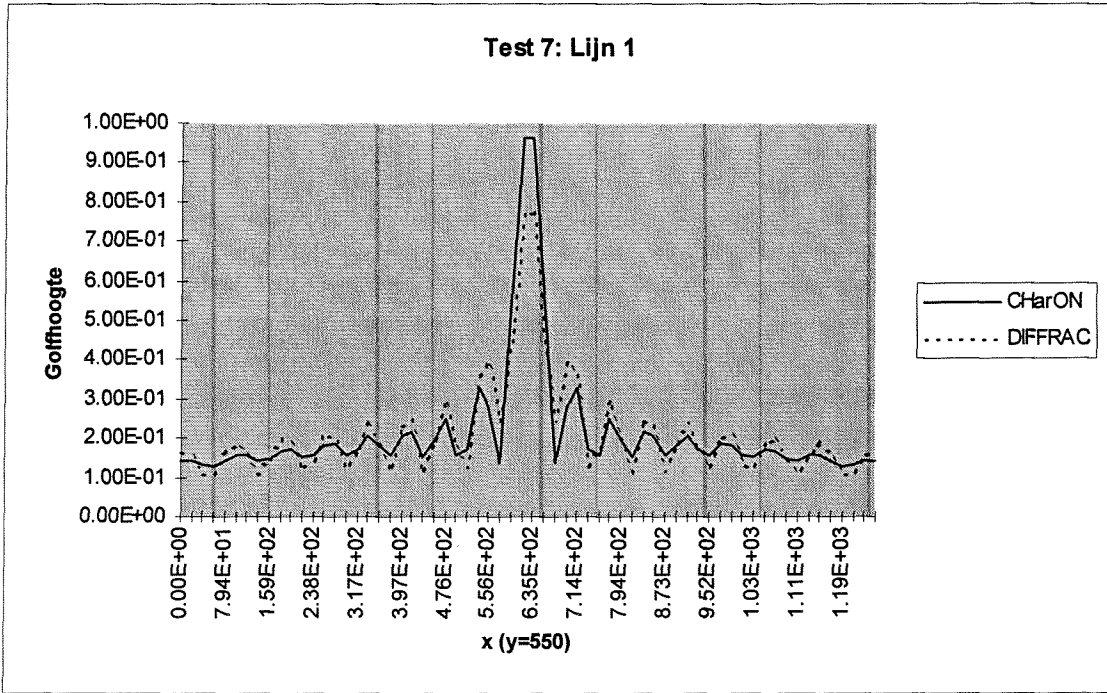


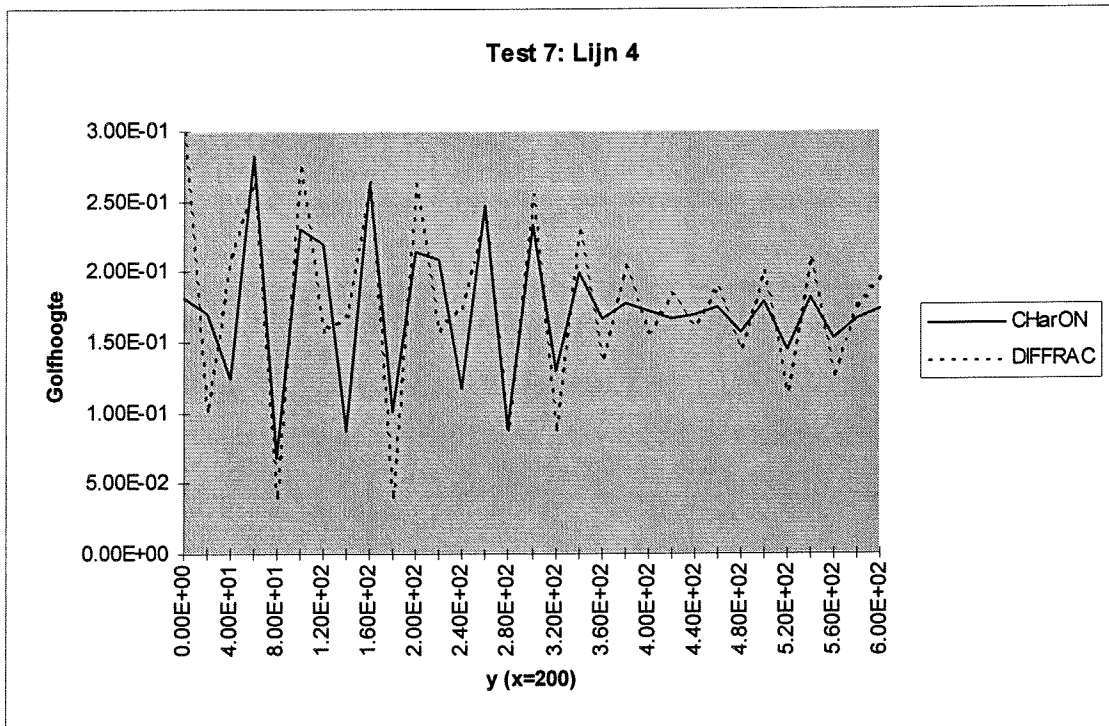
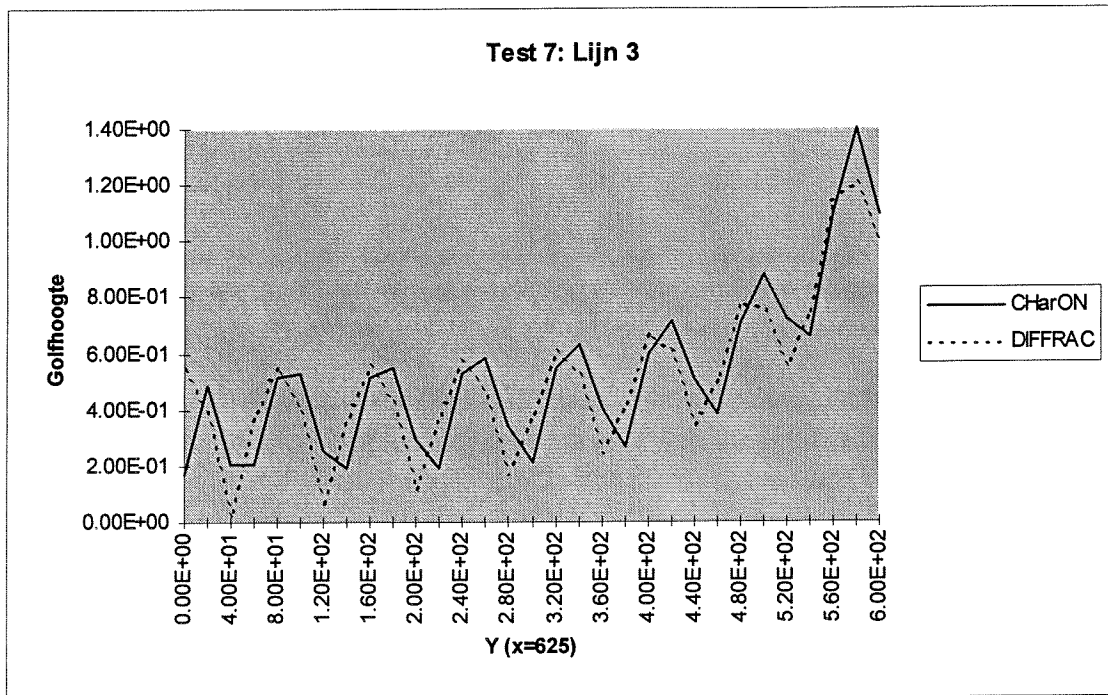


## Test 7: Waterdiepte

- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golflengte: 53.1 (m)
- Waterdiepte: 5 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1

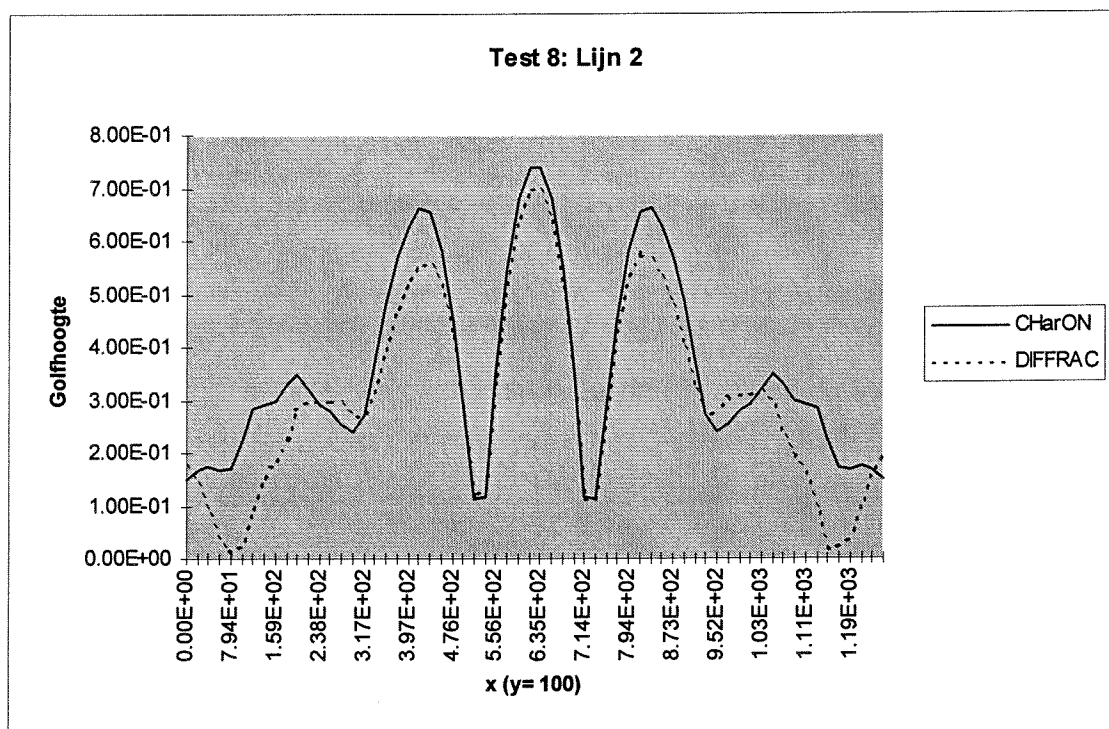
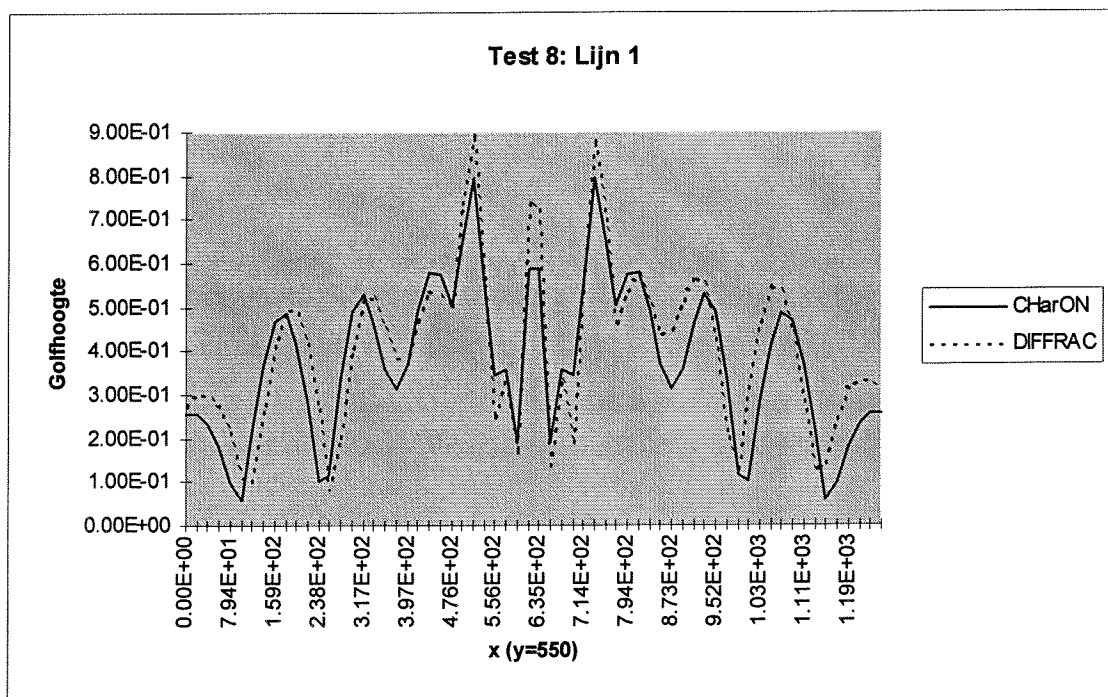


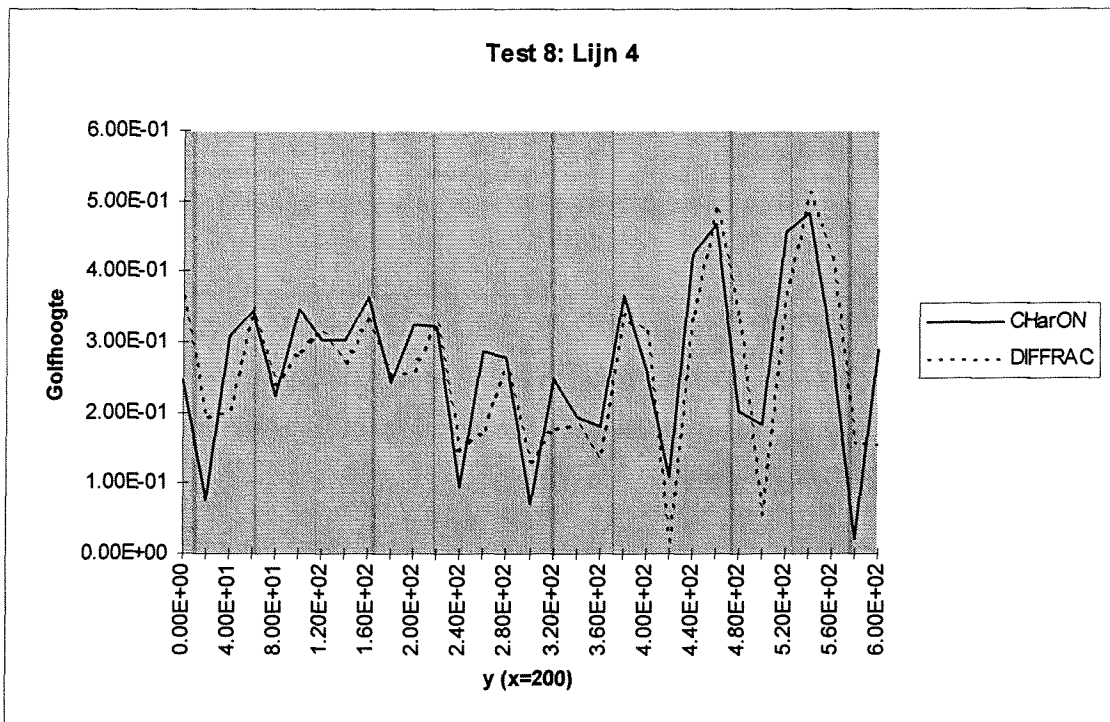
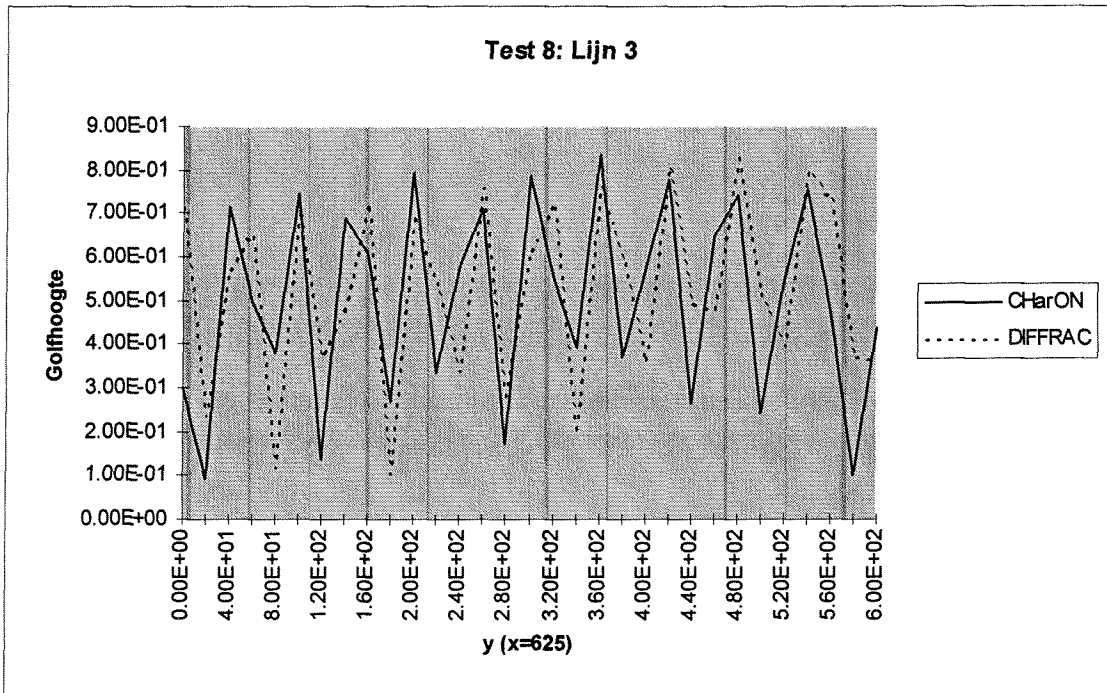




## Test 8: Twee bronnen

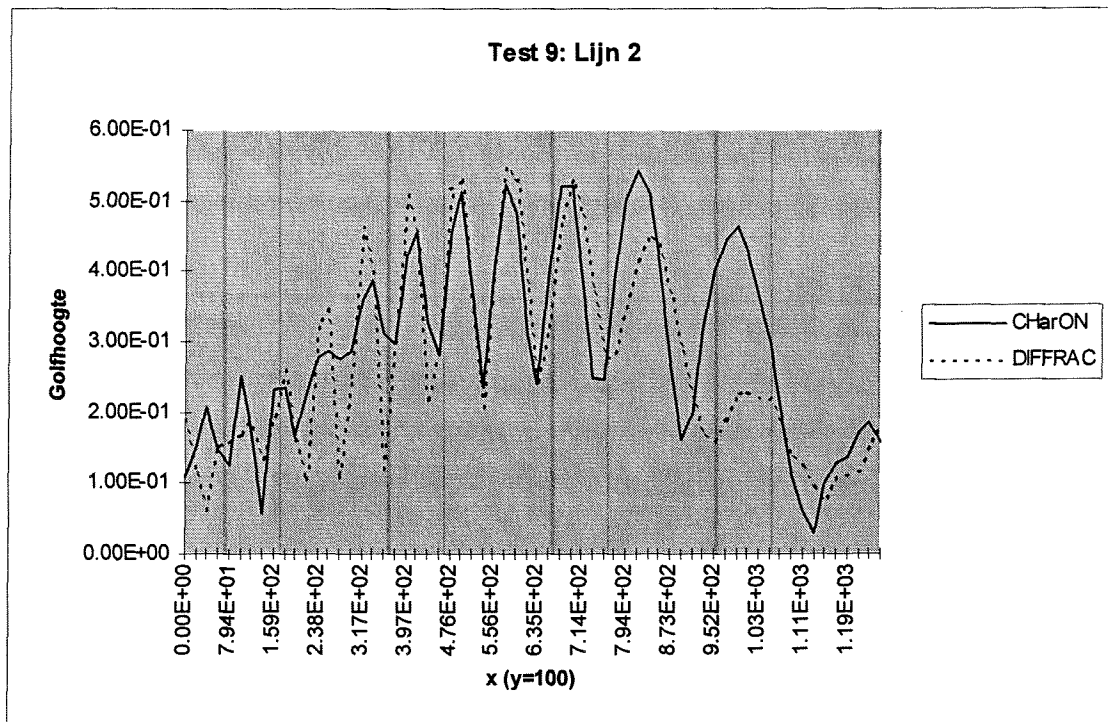
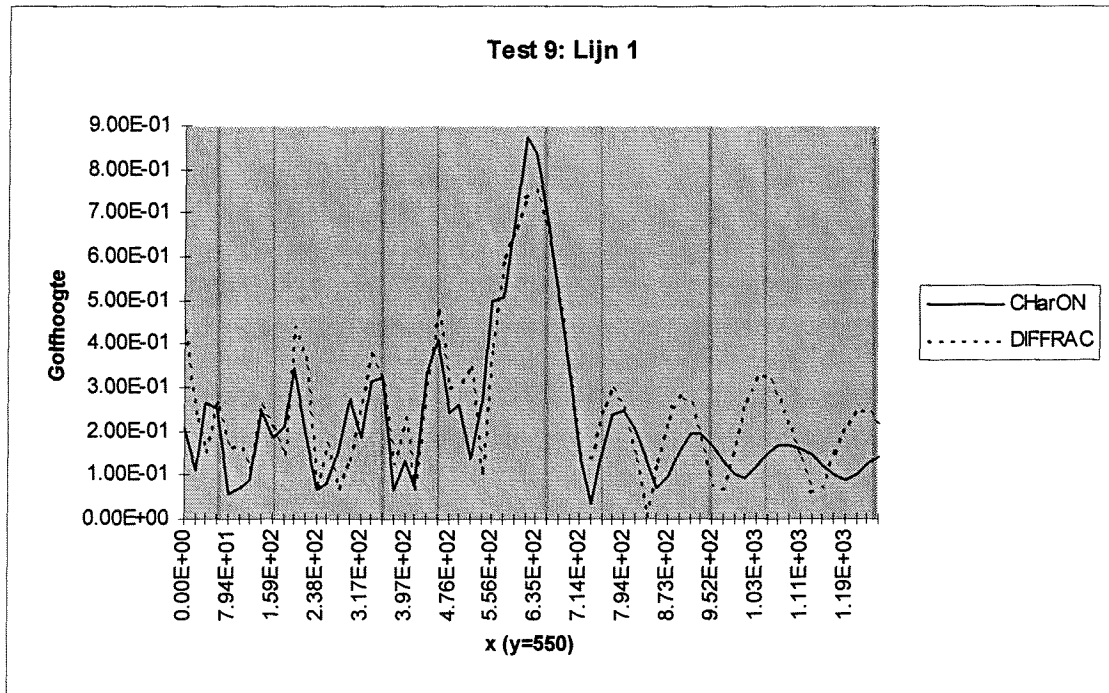
- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golflengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 2
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 450 Y1: 600  
X2: 500 Y2: 600
- Bron 2: X1: 750 Y1: 600  
X2: 800 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1

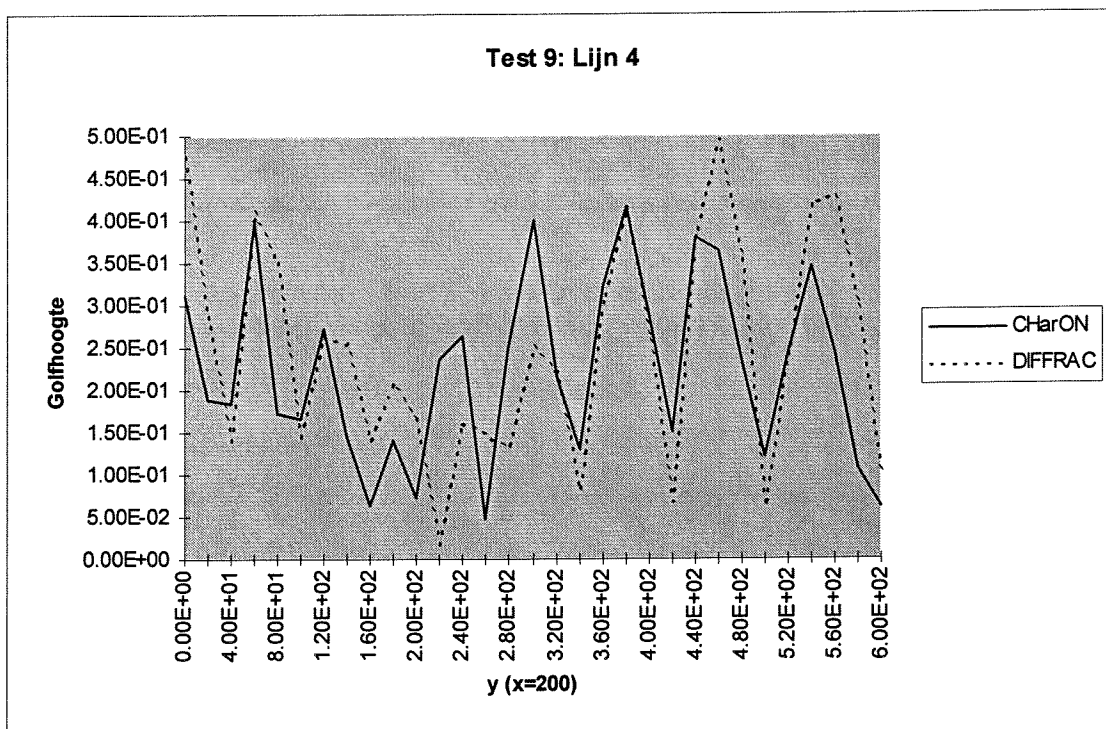
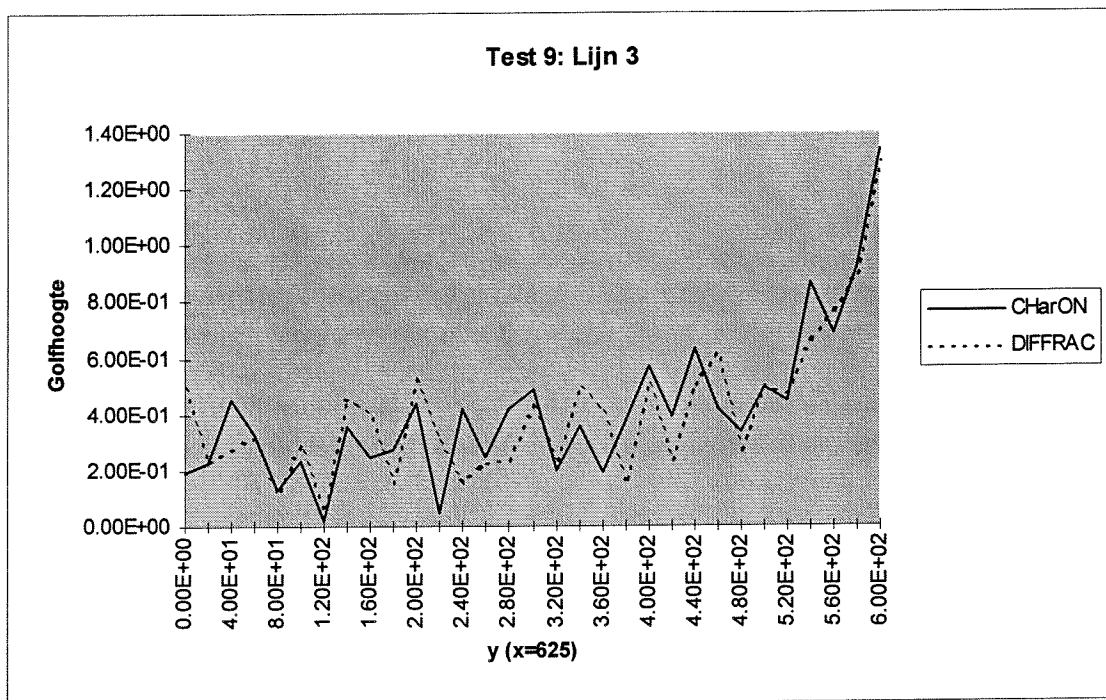




## Test 9: Twee reflecterende wanden

- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golflengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.5  $\pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 650 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 2
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1
- Wand 2: X1: 0 Y1: 0  
X2: 0 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1

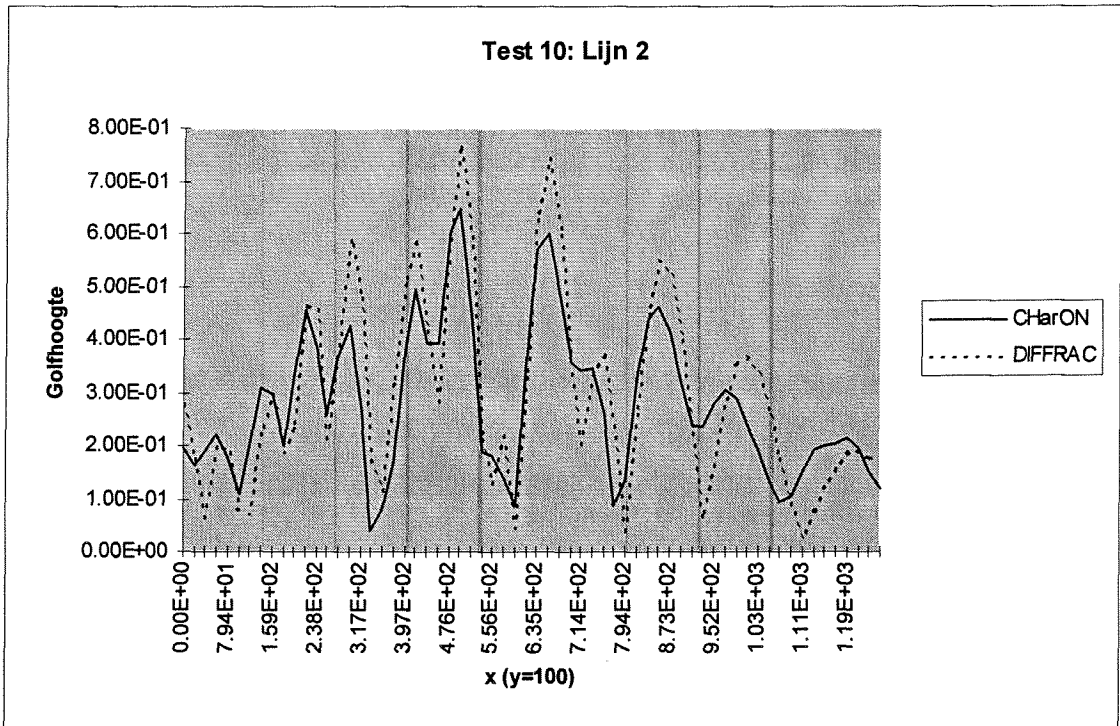
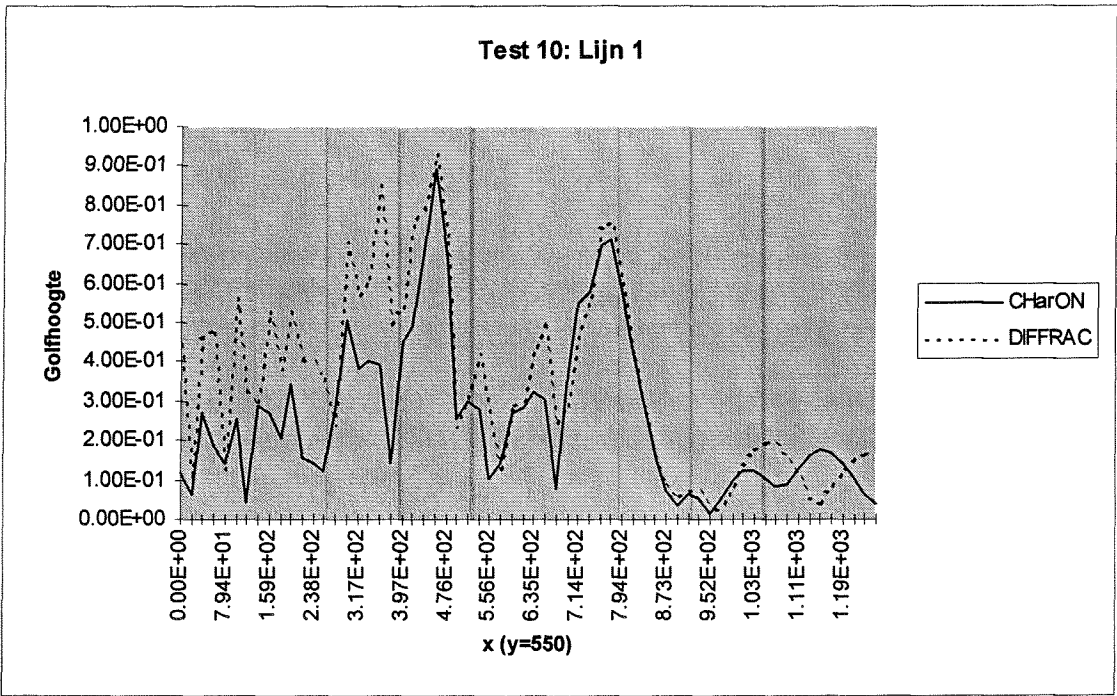


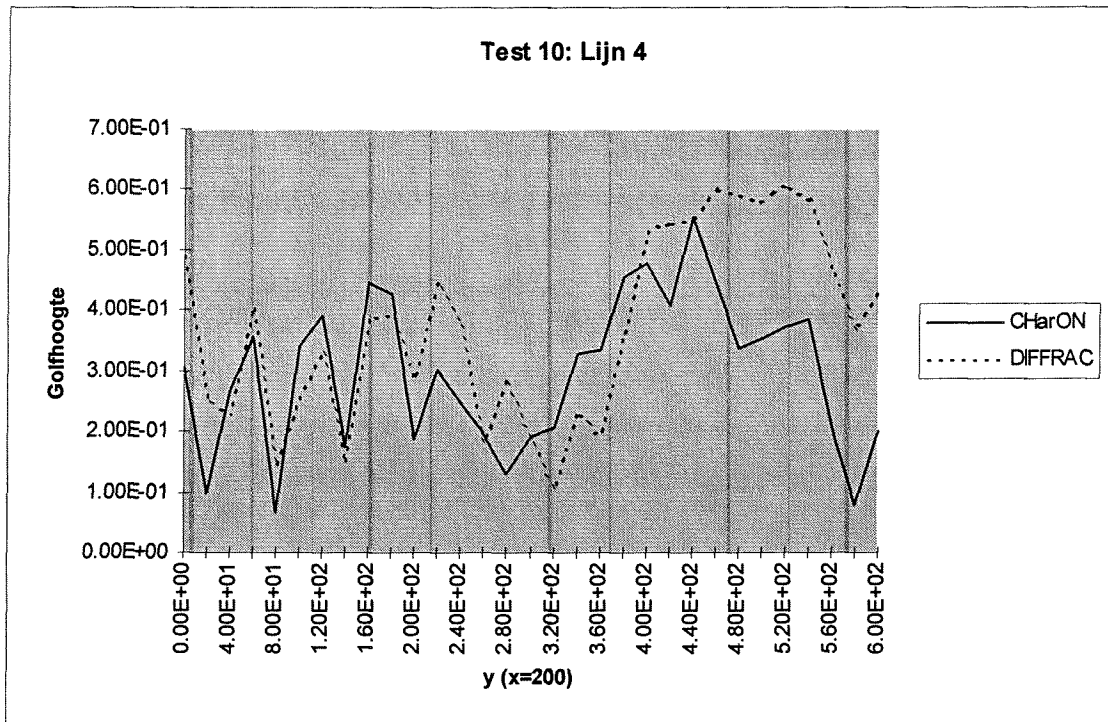
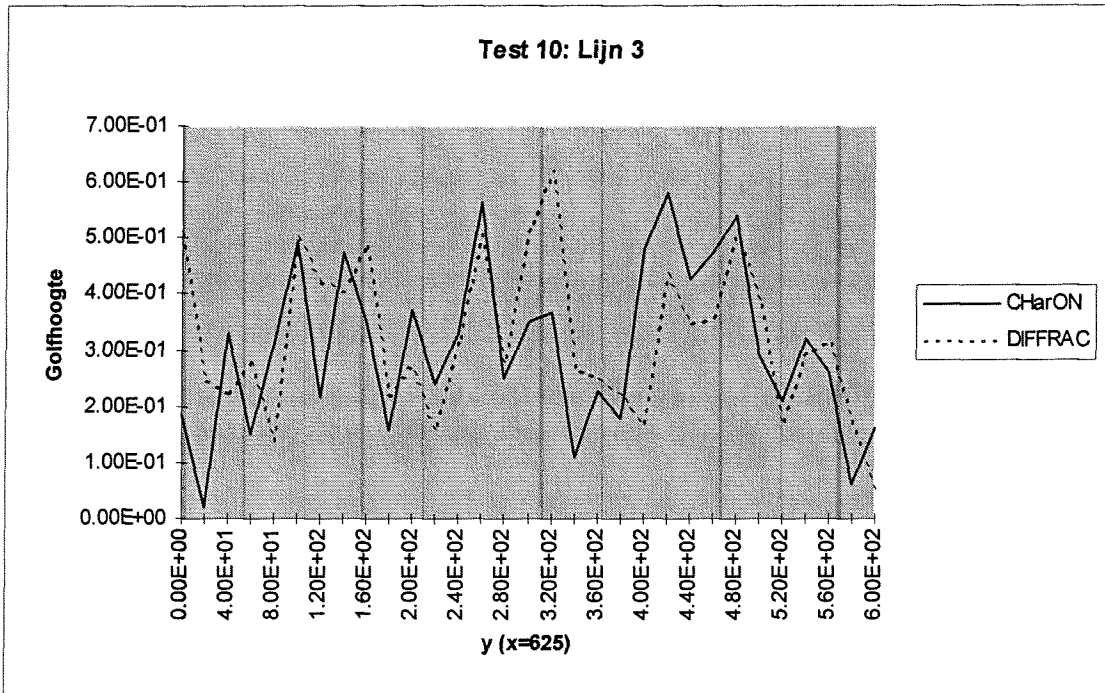




## Test 10: Simpele havensituatie

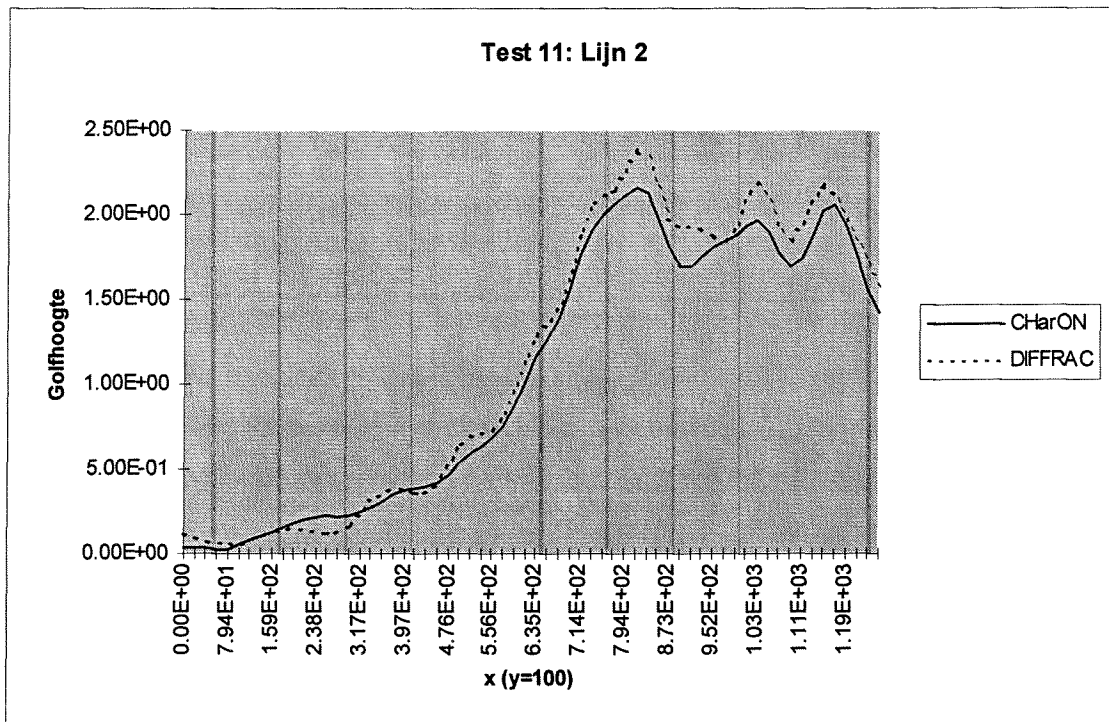
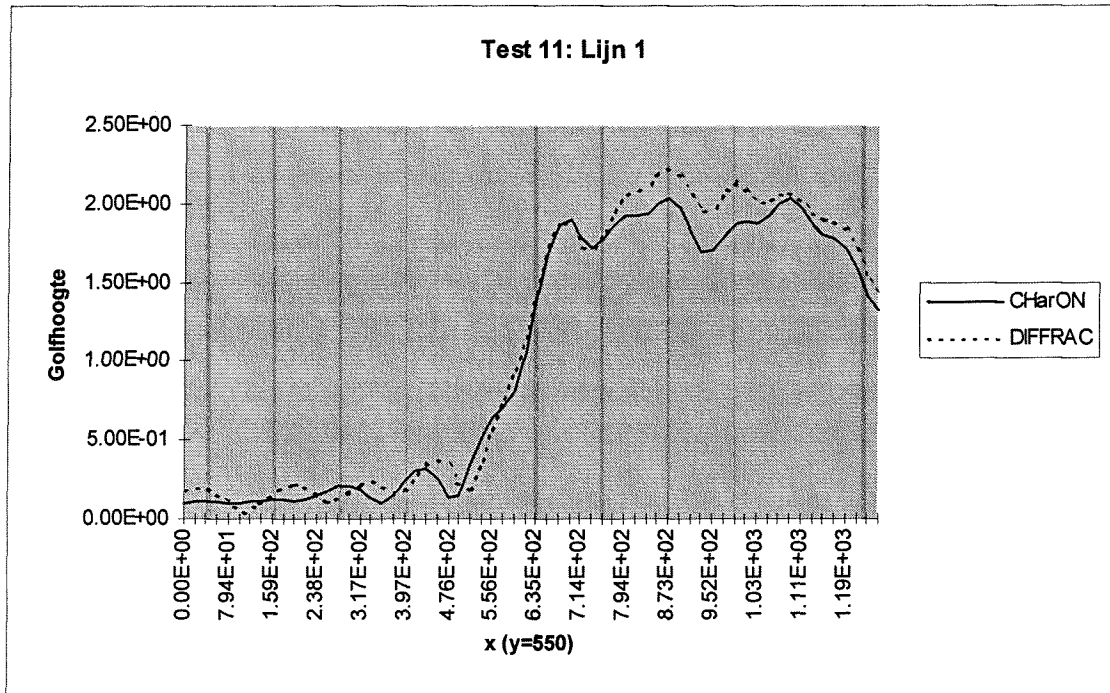
- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golfengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval: 0.7  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 2
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 450 Y1: 600  
X2: 500 Y2: 600
- Bron 2: X1: 750 Y1: 600  
X2: 800 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 2
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 0.7
- Wand 2: X1: 0 Y1: 0  
X2: 0 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 0.7

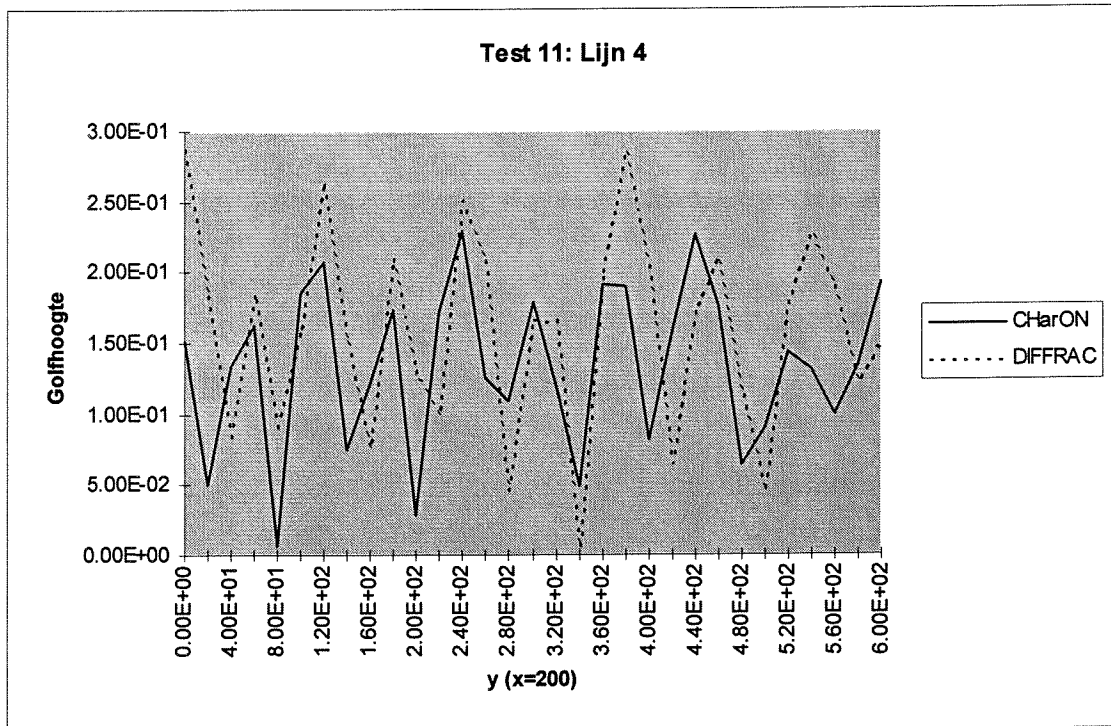
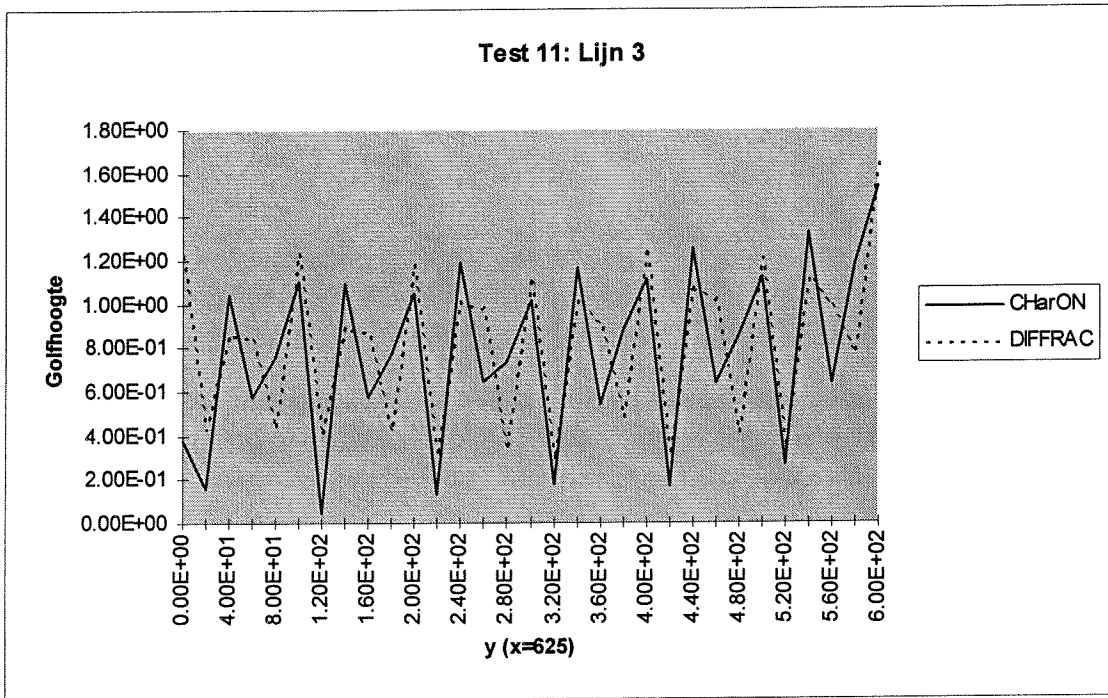




## Test 11: Halfoneindige bron

- Golfhoogte buiten: 1.0 (m)
- Periode: 8.0 (s)
- Golfengte: 99.9 (m)
- Waterdiepte: 100 (m)
- Hoek inval 0.5  $\ast \pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen 1
- Nauwkeurigheid bronnen 0.5  $\ast L$  (m)
- Bron 1: X1: 600 Y1: 600  
X2: 99999 Y2: 600
  
- Aantal doellijnen: 4
- Doellijn 1: X1: 0 Y1: 550  
X2: 1250 Y2: 550  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 2: X1: 0 Y1: 100  
X2: 1250 Y2: 100  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 3: X1: 625 Y1: 0  
X2: 625 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
- Doellijn 4: X1: 200 Y1: 0  
X2: 200 Y2: 600  
Nauwkeurigheid: 20 m.
  
- Aantal reflecterende wanden: 1
- Wand 1: X1: 0 Y1: 0  
X2: 1250 Y2: 0  
Nauwkeurigheid: 0.5 $\ast L$  m.  
Reflectiecoëfficiënt: 1





## Bijlage D1: CHarON voor case 1

In hoofdstuk 15 is de situatie in een bestaande haven beschreven. Tevens is aangegeven op welke wijze het probleem in die haven, de golfindringing, met behulp van HADES opgelost kan worden. Een belangrijk deel van HADES voor de uitwerking van deze situatie is het golfindringingsprogramma CHarON. In deze bijlage wordt aangegeven op welke wijze de situatie in CHarON is gemodelleerd en worden enkele resultaten van de berekening van de golfhogten in deze haven gegeven.

### Situatie

Het model dat doorgerekend wordt, is beschreven in hoofdstuk 15 bij de randvoorwaarden. Om de golfhogten in verschillende situaties te kunnen vergelijken, is het nodig te weten welke golfhogten CHarON berekent voor de situatie zonder aanpassingen. De uitvoer van de situatie zonder aanpassing geldt als referentie.

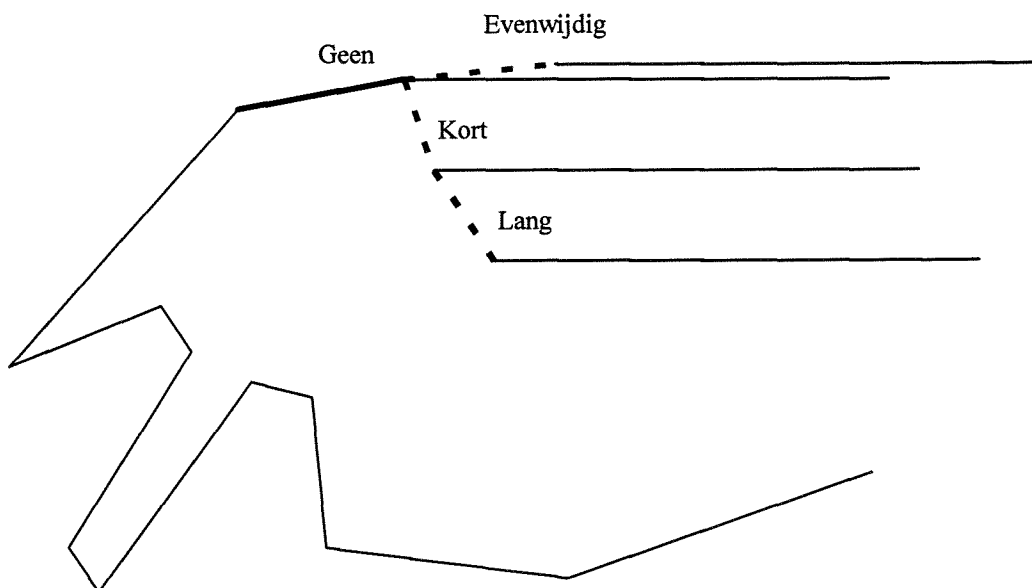
Het doel van de case is het zoeken van een optimale golfbrekerconfiguratie. Daarom zijn er een aantal alternatieve golfbrekerconfiguraties vergeleken.

De eerste is een uitbreiding van de golfbreker, evenwijdig aan de golfrichting. De golfbreker heeft een lengte zodanig dat de ondiepte achter de golfbreker juist afgeschermd wordt.

Bij de tweede is de golfbreker verder doorgetrokken, tot voorbij de ondiepte.

Het derde alternatief is een golfbrekeruitbreiding, evenwijdig aan de bestaande golfbreker. Deze uitbreiding loopt door tot voorbij de vaargeul, die op dit moment naast de golfbreker ligt. Deze vaargeul moet, wanneer dit alternatief gekozen wordt op een andere plaats gebaggerd worden.

De alternatieve golfbrekeruitbreidingen zijn gegeven in figuur D1.1.



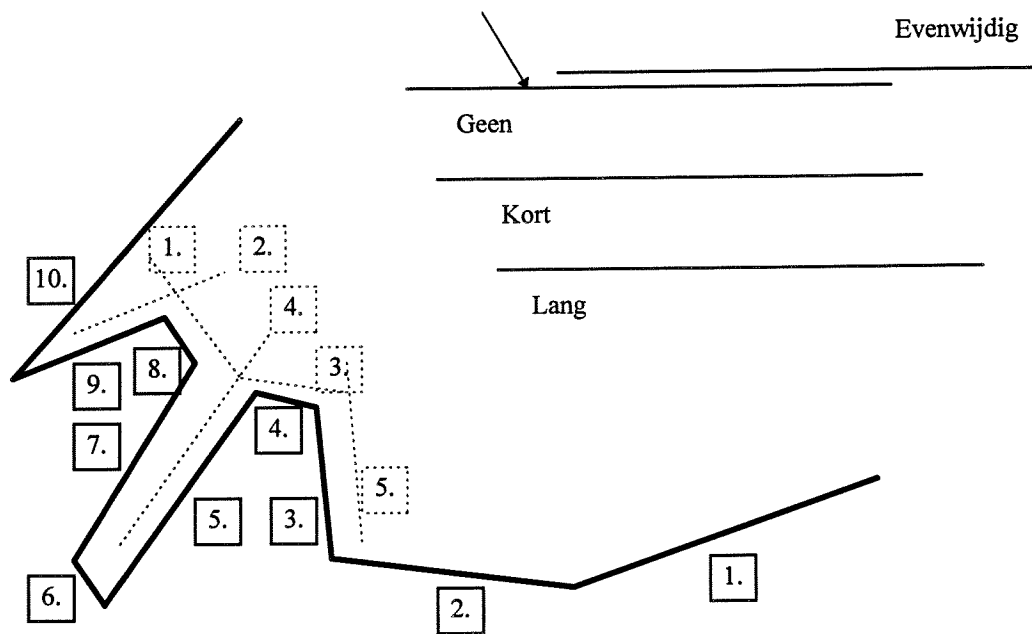
*Figuur D1.1: Schets alternatieve golfbrekeruitbreidingen*

Een aantal reflecterende wanden is weggelaten, omdat ze voor de golfhoogten bij de kades een verwaarloosbare invloed hebben.

Voor de kades zelf is een reflectiecoëfficiënt van 0.7 aangehouden. Op andere plaatsen waar golven reflecteren is een talud aanwezig. Hier is een reflectiecoëfficiënt van 0.5 aangehouden.

### Invoer

De volgende schets is de basis voor de invoer bij de verschillende alternatieven. Er wordt op gewezen dat de golfbreker zelf niet is getekend, omdat deze voor de modellering niet van belang is.



**Figuur D1.2: Situatieschets**

De numerieke waarden van de verschillende lijnen worden in het volgende gegeven. De coördinaten zijn bepaald ten opzichte van een arbitrair gekozen nulpunt.

- Golfhoogte buiten: 2.0 (m)
- Periode: 6.0 (s)
- Golflengte: 51.2 (m)
- Waterdiepte: 12.5 (m)
- Hoek inval: 0.4 \* $\pi$  (rad)
  
- Aantal bronnen: 1
- Nauwkeurigheid bronnen: 0.5 \*L (m)
- Bron 1 (Geen uitbreiding): X1: 2257.1 Y1: 2942.9  
X2: 99999 Y2: 0
- Bron 1 (Kort): X1: 2342.9 Y1: 2542.9  
X2: 99999 Y2: 0
- Bron 1 (Lang): X1: 2457.1 Y1: 2000  
X2: 99999 Y2: 0



---

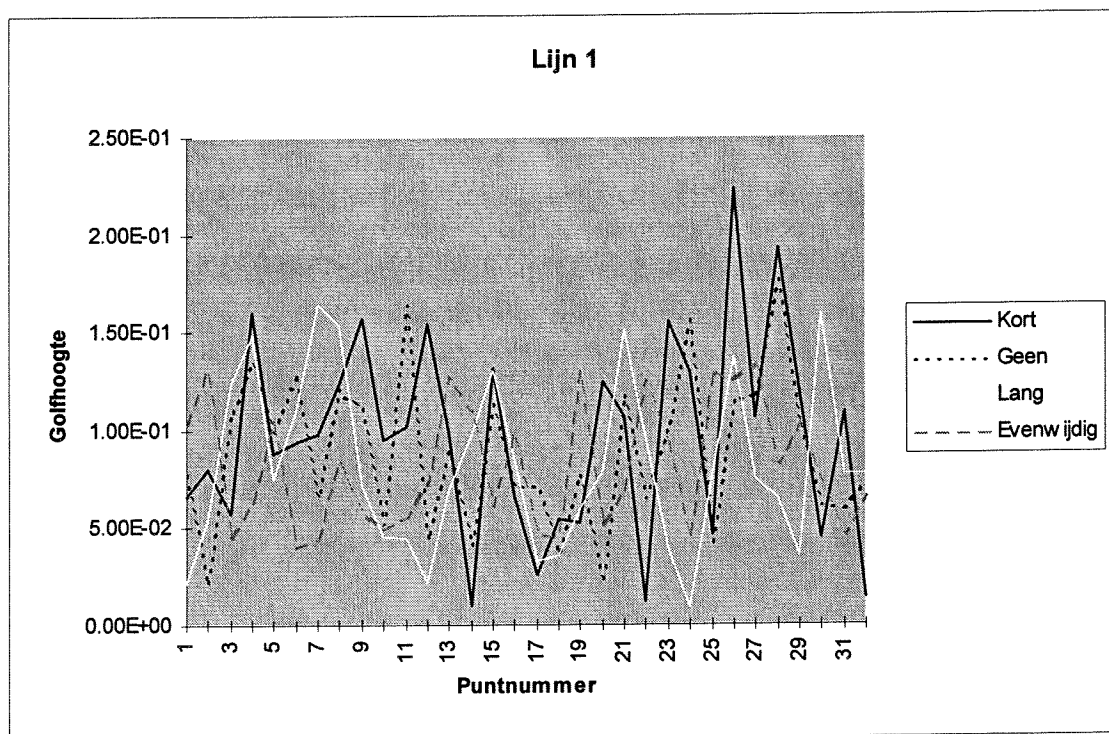
• Bron 1 (Evenwijdig):	X1: 2800	Y1: 2942.9
	X2: 99999	Y2: 0
• Aantal doellijnen:	5	
• Doellijn 1:	X1: 1200	Y1: 2200
	X2: 1600	Y2: 1714.3
	Nauwkeurigheid: 20 m.	
• Doellijn 2:	X1: 1600	Y1: 2200
	X2: 885.7	Y2: 1742.9
	Nauwkeurigheid: 20 m.	
• Doellijn 3:	X1: 1600	Y1: 1714.3
	X2: 2057.1	Y2: 1600
	Nauwkeurigheid: 20 m.	
• Doellijn 4:	X1: 1800	Y1: 1857.1
	X2: 1085.7	Y2: 1057.1
	Nauwkeurigheid: 20 m.	
• Doellijn 5:	X1: 2000	Y1: 1800
	X2: 2085.7	Y2: 828.6
	Nauwkeurigheid: 20 m.	
• Aantal reflecterende lijnen:	10	
• Wand 1:	X1: 3028.6	Y1: 657.1
	X2: 4000	Y2: 1114.3
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.5	
• Wand 2:	X1: 3028.6	Y1: 657.1
	X2: 2000	Y2: 771.4
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.5	
• Wand 3:	X1: 2000	Y1: 771.4
	X2: 1917.4	Y2: 1542.9
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.7	
• Wand 4:	X1: 1971.4	Y1: 1542.9
	X2: 1771.4	Y2: 1517.4
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.7	
• Wand 5:	X1: 1771.4	Y1: 1571.4
	X2: 1057.1	Y2: 685.7
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.7	
• Wand 6:	X1: 1057.1	Y1: 685.7
	X2: 971.4	Y2: 1028.6
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.7	
• Wand 7:	X1: 971.4	Y1: 1028.6
	X2: 1514.3	Y2: 1714.3
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.7	
• Wand 8:	X1: 1514.3	Y1: 1714.3
	X2: 1314.3	Y2: 1914.3
	Nauwkeurigheid: 0.5*L (m)	
	Reflectie: 0.7	

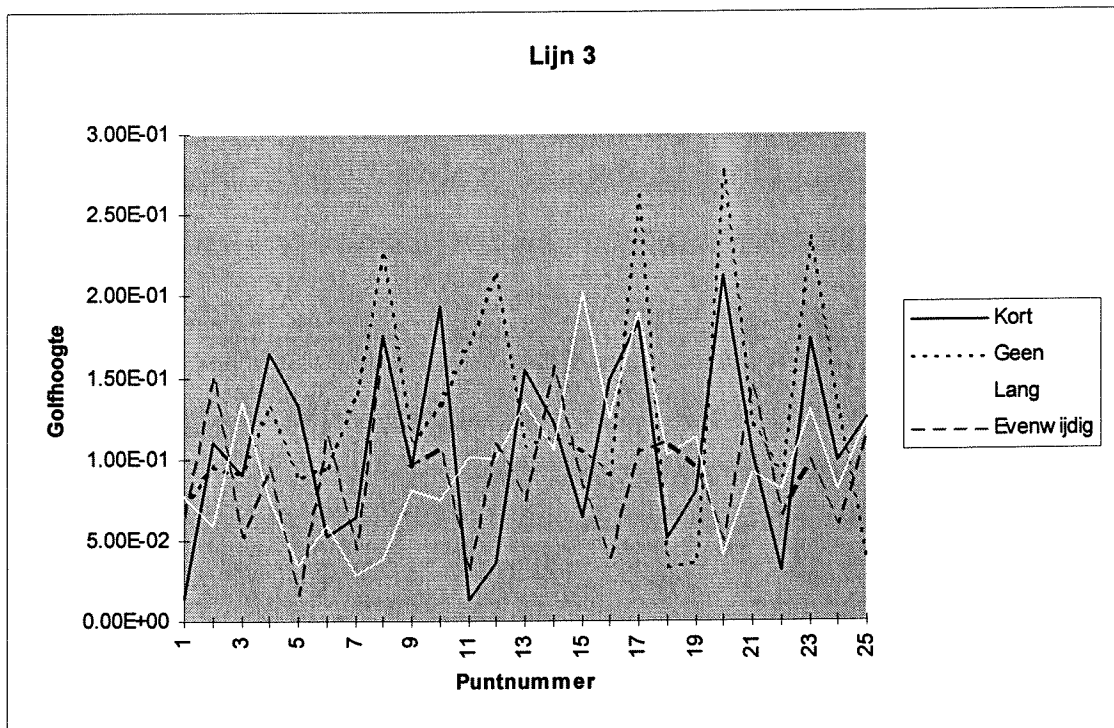
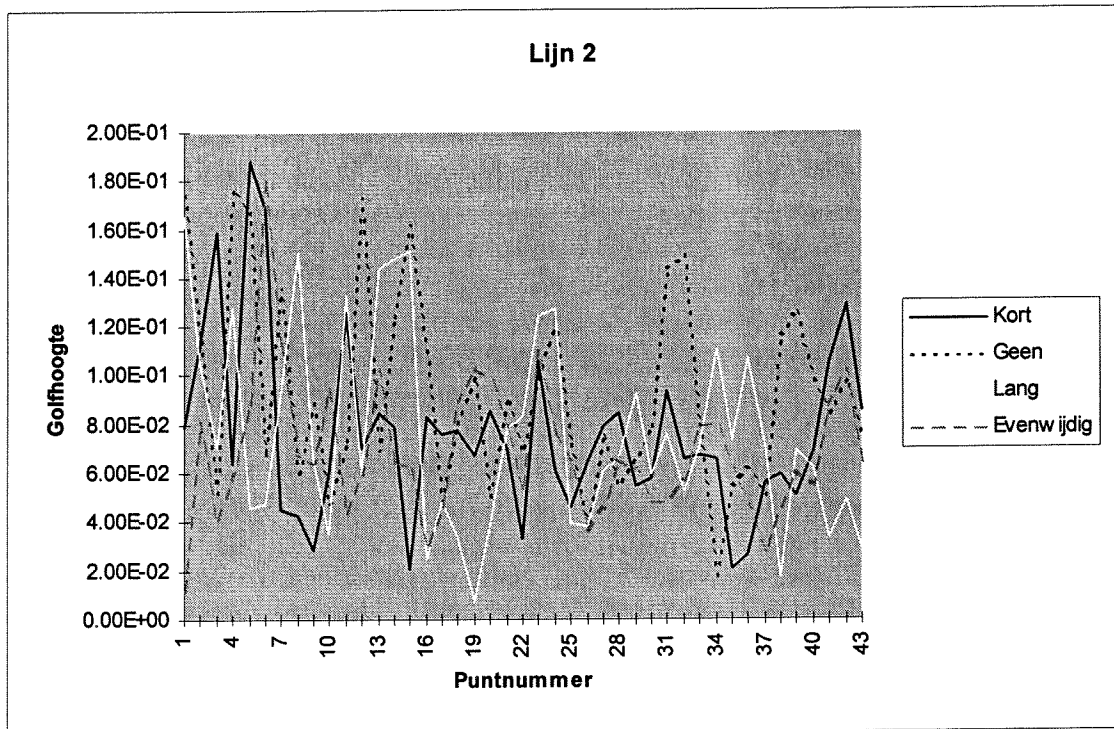
---

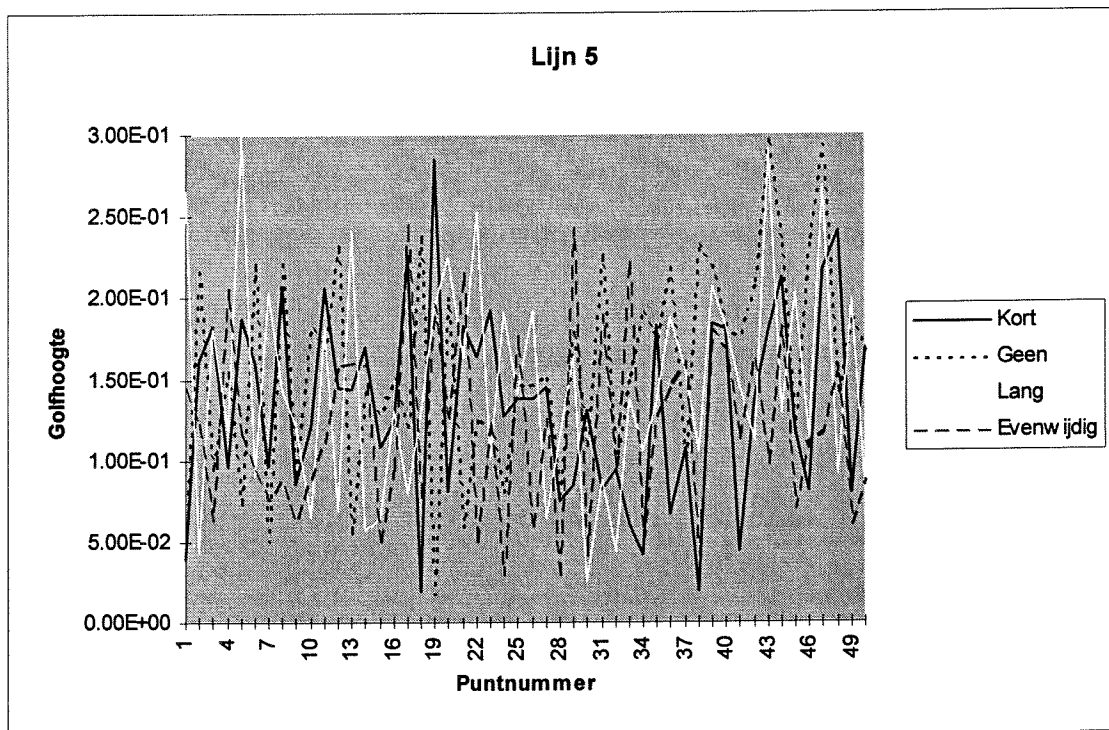
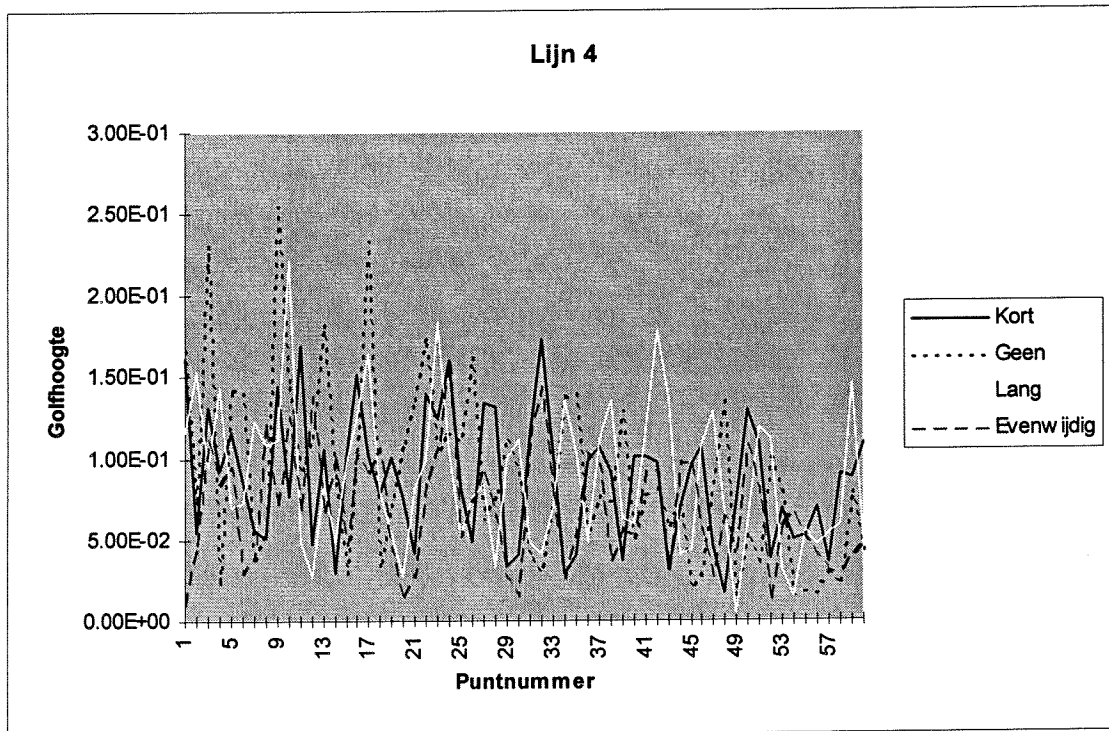
- Wand 9: X1: 1314.3 Y1: 1914.3  
X2: 685.7 Y2: 1485.7  
Nauwkeurigheid: 0.5\*L (m)  
Reflectie: 0.7
- Wand 10: X1: 685.7 Y1: 1485.7  
X2: 1485.7 Y2: 2742.9  
Nauwkeurigheid: 0.5\*L (m)  
Reflectie: 0.5

### Uitvoer

De uitvoer wordt weergegeven in 5 grafieken die elk de golfhoogten ter plekke van een doellijn representeren.

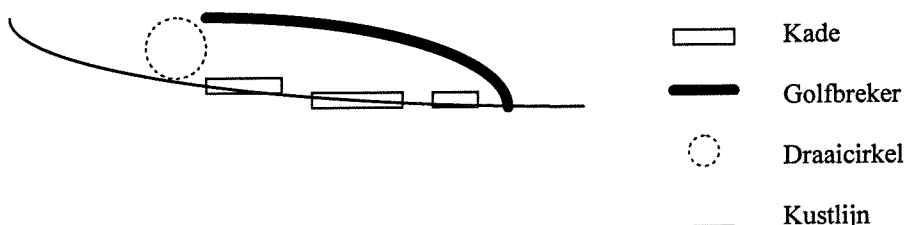






## Bijlage D2: VOLGORDE voor case 2

In hoofdstuk 16 is de situatie rond een nieuw aan te leggen haven beschreven. Eén ontwerpalternatief daarvoor wordt met behulp van HADES uitgewerkt. In figuur D2.1 is een schets gegeven van dit oplossingsprincipe.



*Figuur D2.1: Oplossingsprincipe*

In deze bijlage wordt een onderdeel van dit HADES-systeem voor deze specifieke situatie uitgewerkt, namelijk het stap voor stap invoeren van de eerste opzet van het havenalternatief. Binnen HADES wordt dit gedaan in de module VOLGORDE. De te nemen stappen worden hier beschreven.

- Type kade

Het type kade is afhankelijk van de ontwerpschepen.

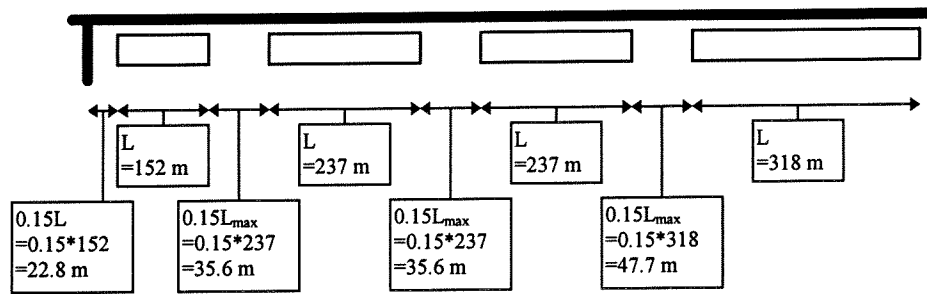
De haven moet zo ontworpen worden dat containerschepen hun goederen kunnen overslaan. Tevens moeten enkele olietankers aan kunnen leggen in de haven. Er zijn dus twee typen kade, namelijk een kademuur voor de containerschepen en een jetty voor de olieoverslag.

- Lay-out kades

De lengte van de kademuur is afhankelijk van het scheepsaanbod en de grootte van de ontwerpschepen.

Als eerste moet bij de bepaling van de lay-out van de kades de lengte van de kademuur en het aantal jetties bepaald worden. Zoals bij de randvoorwaarden is beschreven wordt er niet uitgegaan van een totale lengte voor de kademuur, maar van een specifiek aantal kades, namelijk vier. Er is één kade voor de grootste schepen, er moeten er twee zijn voor middelgrote containerschepen en er is er één nodig voor kleine feeders. Verder is één jetty voor olieoverslag voldoende. Met behulp van vuistregels wordt de totale kadelengte voor de containeroverslag bepaald. In deze totale lengte moeten ook de tussenruimtes tussen schepen en tussen de wal en een schip zitten.

De totale lengte van de kademuur moet 1086.4 meter bedragen. Dit wordt afgerond op 1100 meter. Figuur D2.2 maakt duidelijk op welke manier deze lengte tot stand is gekomen.



**Figuur D2.2: Lengte kademuur**

Hierbij is arbitrair ervan uitgegaan dat de kade aan één zijde grenst aan een harde constructie en dat het schip dat daar het dichtst bij moet aanleggen een kleine feeder is.

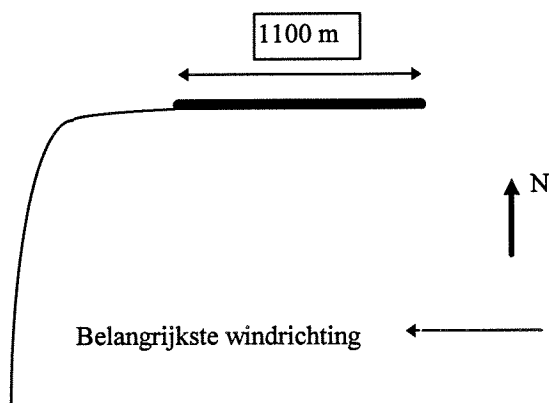
De richting van de kades is afhankelijk van de richting van de wind en van de golven (stroming wordt verwaarloosd) en tevens van de richting van de kustlijn. Er wordt voor gekozen de kademuur uit één stuk aan te leggen. Er kan nu uit twee richtingen voor de kademuur gekozen worden. In de kustlijn (noordwesten van de baai) zit namelijk een hoek. De kademuur kan in een noord-zuid richting aangelegd worden of in een oost-west richting.

De golven zullen altijd de haven binnendringen door de opening op het einde van de golfbreker. De richting van de golven bij de schepen is daarom onafhankelijk van de richting van de golven buiten de haven en is in beide gevallen soortgelijk.

Aanliggende schepen zijn gevoeliger voor wind loodrecht op het schip dan voor wind evenwijdig aan het schip. Aangezien de wind voor het belangrijkste deel uit een oostelijke richting waait, wordt ervoor gekozen de kades in een oost-west richting aan te leggen.

Voorsnog wordt ervan uitgegaan dat de down-time die bij de jetty ontstaat als gevolg van hoge golven, wanneer de jetty buiten de golfbrekers wordt aangelegd, voldoende klein is. De jetty wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

De lay-out van de kades is geschetst in figuur D2.3.



**Figuur D2.3: Lay-out kades**

- Breedte havenbassins

De breedte van de havenbassins is afhankelijk van de dimensies van de ontwerpschepen, van de lay-out van de kades en van het wel of niet gebruiken van sleepboten (lokatie).

Met behulp van vuistregels kunnen waarden voor de breedtes van de havenbassins bepaald worden. De te zake doende vuistregels zijn de volgende:

4B+100                    Voor 1 zijde aanleggen en containerschepen  
L+B+50                    Voor lange bassins (>1000 m) (keren mogelijk)

Dit betekent voor deze situatie:

Post Panamax schip:	$4 \cdot 43 + 100$	=	272 m
Panamax:	$4 \cdot 32.3 + 100$	=	229 m
Feeders:	$152 + 23.7 + 50$	=	226 m

Er is hierbij weer vanuit gegaan dat de kleine schepen aan de harde constructie grenzen. Alleen deze feeders moeten kunnen keren.

- Diepte havenbassins

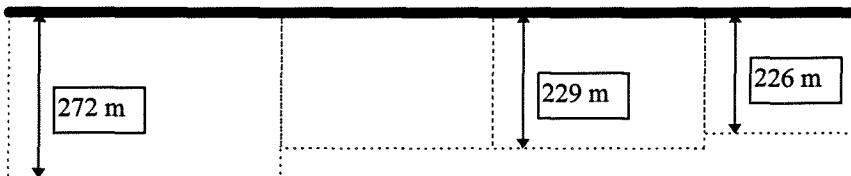
De diepte van de havenbassins is afhankelijk van de diepgang van het ontwerpschip.

Voor de diepte van de havenbassins geldt als vuistregel dat de waterdiepte/diepgang-ratio gelijk moet zijn aan 1.1. Voor de verschillende scheepstypen wordt de diepte van het havenbassin daarmee:

Post Panamax schip:	$1.1 \cdot 14$	=	15.4 m
Panamax:	$1.1 \cdot 13.2$	=	14.5 m
Feeders:	$1.1 \cdot 8.5$	=	9.4 m

- Lay-out havenbassins

De lay-out van de havenbassins volgt direct uit de plaats van de kades en de benodigde breedte. In figuur D2.4 is dit geschetst.



*Figuur D2.4: Lay-out havenbassin*

- Diameter draaibassin

Voor de diameter van het draaibassin is van belang of er sleepboten gebruikt worden en zijn de dimensies van de ontwerpschepen van belang.

Er wordt van uitgegaan dat er één draaibassin aanwezig is. Er zullen sleepboten aanwezig zijn om de schepen de haven in en uit te leiden. Omdat het draaibassin, zoals in de schets van het oplossingsprincipe duidelijk is gemaakt, gedeeltelijk onbeschermd tegen golven gelegen is, moet met relatief ongunstige golfomstandigheden rekening worden gehouden. De vuistregel voor de diameter van het draaibassin is dan dat deze 2 maal de lengte van het grootste schip moet bedragen. In dit geval wordt de diameter daarom  $2 \cdot 318 = 636$  m.

- Diepte draaibassin

De diepte van het draaibassin wordt bepaald door de stroming, de golven, de diepgang van het ontwerpschip en door de bathymetrie.

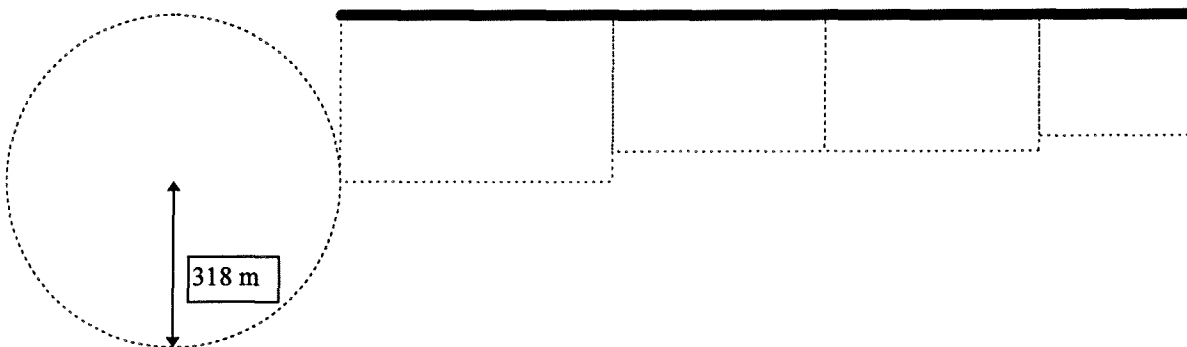
Hoewel de snelheden van de schepen laag zijn in het draaibassin en de dynamische diepgang verwaarloosd mag worden, is er een grotere diepte benodigd in het draaibassin dan in de havenbassins. Het draaibassin ligt namelijk gedeeltelijk onbeschermd tegen golven en de golfbewegingen zorgen voor bewegingen van de schepen. Als vuistregel wordt aangehouden dat de waterdiepte/diepgang- ratio gelijk moet zijn aan 1.3. De benodigde diepte van het draaibassin wordt daarmee 18.2 meter.

- Plaats draaibassin

Het draaibassin moet aan de buitenzijde van de havenbassins liggen. Vanuit het draaibassin moet het havenbassin rechtstreeks te bereiken zijn. De diameter van het draaibassin bepaalt het ruimtebeslag van het draaibassin.

Voor de keuze van de zijde van het draaibassin dient al een aannname gedaan te worden over de lay-out van de golfbreker. Het draaibassin moet namelijk komen aan de zijde van het havenbassin waar de opening zit. Aangezien de golven voornamelijk uit oostelijke richting komen, zal de opening van de haven aan de westzijde geïmplementeerd worden. De golfindringing moet namelijk beperkt blijven.

In figuur D2.5 is de plaats van het draaibassin geschetst.



**Figuur D2.5:** Plaats draaibassin

Zoals in hoofdstuk 7 is beschreven wordt het stap voor stap invoeren van de verschillende delen van de haven in twee onafhankelijke delen gedaan. De twee delen worden later in elkaar geschoven. Met de diepte van de buitenvaargeul begint het tweede deel.

- Diepte buitenvaargeul

De waterdiepte in de omgeving van de aan te leggen haven is relatief groot. De 50 meter waterdiepte contour ligt op ongeveer 500 meter van de kust.

Dichtbij de haven zijn de snelheden van de schepen laag, zodat net als in het draaibassin een waterdiepte/diepgang-ratio van 1.3 voldoet. Er moet een gegarandeerde waterdiepte van 18.2 meter aanwezig zijn. Deze waterdiepte is op 400 meter van de kust bereikt. Er is dus slechts een korte doorsteek nodig van het draaibassin naar een plaats waar de waterdiepte 18.2 meter is. Omdat op die plaatsen de schepen bij het manoeuvreren geholpen worden door sleepboten, hoeft er voor de richting van de vaargeul geen rekening gehouden te worden met de manoeuvre-eigenschappen van schepen en verschijnselen die dat beïnvloeden, zoals golven en wind. De vaargeul kan zo kort mogelijk gehouden worden, zonder dat daarbij rekening hoeft gehouden te worden met de richting van de geul.

- Lay-out buitenvaargeul/breedte buitenvaargeul

Omdat er zo snel voldoende waterdiepte aanwezig is, is er geen buitenvaargeul nodig.



- Breedte binnenvaargeul/diepte binnenvaargeul/lay-out binnenvaargeul

De golfbreker grenst direct aan het draaibassin. Er is dus geen binnenvaargeul aanwezig. Het afremmen van de schepen gebeurt al buiten de golfbrekers.

- Samenvoegen delen

In veel voorkomende gevallen wordt op deze plaats het deel waarin de buitenvaargeul en de binnenvaargeul ontworpen zijn aan het eerste draaibassin geschoven. In dit geval zijn er geen vaargeulen ontworpen en kan deze handeling worden overgeslagen.

- Type golfbrekers

Het type golfbreker wordt gekozen op basis van de bathymetrie, het golfveld, de waterstand, de bouwtijd en de lay-out van de kades.

Omdat er voldoende ruimte aanwezig is wordt ervoor gekozen de golfbreker van het type rubble mound uit te voeren.

- Lay-out golfbrekers

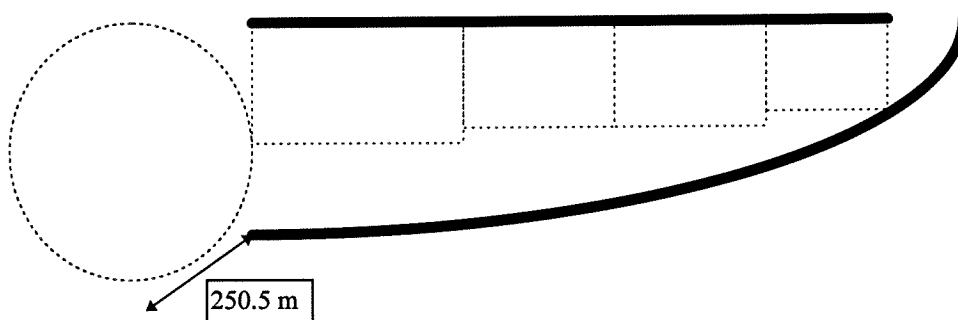
In standaard gevallen ligt de golfbreker om de gehele haven heen. Zowel de binnenvaargeul, als het draaibassin en de havenbassins liggen worden dan tegen golven beschermd door de golfbreker. In dit geval is er echter geen binnenvaargeul aanwezig en zijn de dimensies van het draaibassin gedimensioneerd op een ligging van het draaibassin buiten de golfbreker. De golfbreker wordt daarom aangelegd langs de havenbassins tot aan het begin van het draaibassin. Aan de achterzijde wordt de golfbreker doorgetrokken tot aan de kust, zodat er aan die zijde geen golven de haven binnen kunnen dringen.

Omdat de schepen al voor het passeren van het golfbrekerhoofd door sleepboten worden ondersteund bij het manoeuvreren, hoeft voor de richting van de ingang van de haven geen rekening gehouden te worden met de richting van de golven.

De ingang van de haven wordt aan één zijde begrensd door het golfbrekerhoofd. Aan de andere zijde geldt de plaats waar de waterdiepte kleiner is dan 18.2 meter als begrenzing.

De vuistregel voor de breedte van de ingang is dat deze een breedte moet hebben van  $3.5B+100$ . Hierbij is rekening gehouden met de lage snelheid van de schepen, de wind- en golfomstandigheden en het feit dat er sleepboten aanwezig zijn bij het binnenvaren van de haven. Voor dit specifieke geval betekent dat dat de breedte van de ingang 250.5 meter moet zijn. Aangezien de diepte op deze plaats niet voldoende is, dient er over deze breedte gebaggerd te worden.

In figuur D2.6 is grafisch de plaats van de golfbreker aangegeven.



**Figuur D2.6:** Lay-out golfbreker

- Dimensies golfbreker

Omdat er voldoende ruimte aanwezig is, spelen de dimensies van de golfbreker voor de lay-out van de haven geen belangrijke rol. Er wordt daarom in deze case geen aandacht aan de dimensies besteedt.

Voor de vergelijking van verschillende alternatieven spelen de dimensies wel een belangrijke rol.

Wanneer dus verschillende alternatieven tegen elkaar afgewogen moeten worden, zullen de dimensies bepaald moeten zijn.

## Bijlage D3: CHarON voor case 2

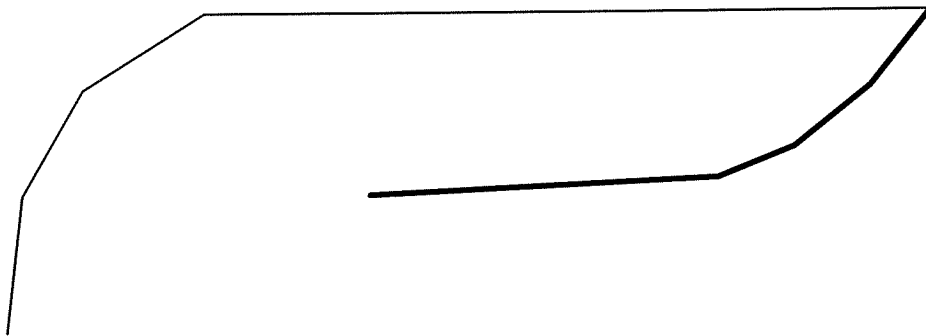
Hoofdstuk 16 behandelt een te ontwerpen haven. Aangegeven wordt daar op welke wijze een alternatief ontwerp met behulp van HADES wordt uitgewerkt. Als onderdeel van dat proces wordt er een optimaliseringsproces voor de plaats van de golfbreker uitgevoerd. In deze bijlage wordt dit proces weergegeven.

In de probleemanalyse van de haven is een alternatief oplossingsprincipe gedeponneerd, wat met behulp van HADES uitgewerkt moet worden. Met behulp van de module VOLGORDE zijn er dimensies gegeven aan de verschillende onderdelen van de natte infrastructuur van deze haven. Voor de plaats van de golfbreker is een aanname gedaan die met behulp van CHarON geverifieerd moet worden.

### Situatie

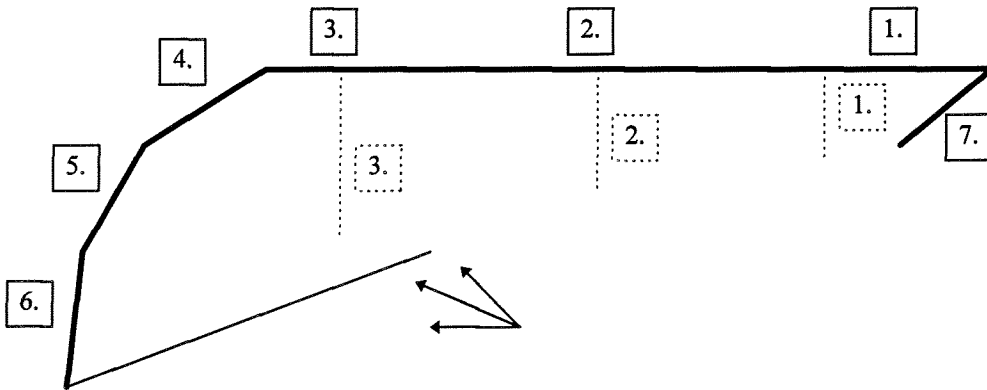
Het ontwerpproces voor de plaats van de golfbreker begint met het berekenen van de golfhoogten in de haven met de aangenomen golfbrekerconfiguratie.

Figuur D3.1 geeft een schets van de situatie. De golfbreker is hierbij dikgedrukt weergegeven en de kustlijn dungedrukt.



*Figuur D3.1: Situatieschets*

Figuur D3.1 geeft een schets van het model dat ingevoerd is in de eerste simulaties van CHarON.



**Figuur D3.2:** Sschets invoer model

De golven komen volgens de randvoorwaarden uit drie richtingen. Voor al deze drie richtingen is de situatie doorgerekend. Bij de verschillende richtingen horen verschillende maatgevende golfhoogten.

De ingang is gemodelleerd door middel van een lijn. Aan één zijde vormt het golfbrekerhoofd de grens van die ingang. Aan de andere zijde wordt de grens bepaald door de kustlijn. De precieze plaats van deze grens is niet van belang, maar er is voor gekozen de ingang te laten stoppen vlak na de bocht in de kustlijn. De invloed van de gehele bocht kan daarom worden meegenomen in de berekening.

Verder moeten de golven niet evenwijdig aan de ingang binnenkomen, omdat dan volgens de berekeningsmethode binnen CHarON de golven zich langs de ingang zullen voortplanten en de haven niet zullen binnendringen.

Voor de golfhoogten in de doellijnen is de invloed van het deel van de ingang dat dichtbij de golfbreker is gesitueerd van groter belang dan de invloed van het deel dichtbij de kust.

Voor situaties waar de bocht in de kust niet van belang is voor de golfhoogten in de doelpunten is een ingang gemodelleerd met dezelfde afmetingen, zodat de resultaten goed vergeleken kunnen worden.

De reflecterende lijnen 1,3,4,5 en 6 stellen delen van de kustlijn voor. Er is hierbij uitgegaan van een reflectiecoëfficiënt van 0.5. De reflecterende lijn 2 stelt de kademuur voor. Hierbij is de reflectiecoëfficiënt op 0.8 gesteld. De zevende reflecterende wand is een deel van de golfbreker. Deze heeft een reflectie van 0.6. Het andere deel van de golfbreker is niet gemodelleerd, omdat dit deel geen invloed heeft op de golfhoogten in de doelpunten.

De berekeningen zijn voor drie doellijnen uitgevoerd. Doellijn 1 is gelegen in het verste havenbassin, waar de kleine feeders laden en lossen. De tweede ligt in het havenbassin waar de grootste containerschepen moeten aanliggen en de derde doellijn ligt in het midden van het draaibassin.

### Invoer

De schets in figuur D3.2 is de basis voor alle berekeningen. De coördinaten van de reflecterende wanden, doellijnen en van de ingang worden in het volgende gegeven. Tevens zijn de randvoorwaarden gegeven. De drie sets van golfrichtingen en golfhoogten stellen de drie maatgevende combinaties voor. Deze drie combinaties zijn onafhankelijk van elkaar in verschillende runs van CHarON ingevoerd.

Het nulpunt is zo gekozen dat het in de schets in figuur D3.2 samenvalt met de grens van de ingang aan de kustlijn.

- Golfhoogte buiten 1:        2.25        (m)
- Hoek inval 1:                1            \* $\pi$  (rad)
  
- Golfhoogte buiten 2:        3.25        (m)

---

• Hoek inval 2:	1.17	* $\pi$ (rad)		
• Golfhoogte buiten 3:	2.25	(m)		
• Hoek inval 3:	1.33	* $\pi$ (rad)		
• Periode:	7.5	(s)		
• Golf lengte:	74.8	(m)		
• Waterdiepte:	15	(m)		
• Aantal bronnen:	1			
• Nauwkeurigheid bronnen:	0.5	*L (m)		
• Bron:	X1:	1200	Y1:	375
	X2:	0	Y2:	0
• Aantal doellijnen:	3			
• Doellijn 1:	X1:	2200	Y1:	875
	X2:	2200	Y2:	625
	Nauwkeurigheid:	20 (m)		
• Doellijn 2:	X1:	1550	Y1:	875
	X2:	1550	Y2:	450
	Nauwkeurigheid:	20 (m)		
• Doellijn 3:	X1:	900	Y1:	875
	X2:	900	Y2:	225
	Nauwkeurigheid:	20 (m)		
• Aantal reflecterende lijnen:	6			
• Wand 1:	X1:	2526	Y1:	875
	X2:	2300	Y2:	875
	Nauwkeurigheid:	0.5	*L (m)	
	Reflectie	0.5		
• Wand 2:	X1:	2300	Y1:	875
	X2:	1200	Y2:	875
	Nauwkeurigheid:	0.5	*L (m)	
	Reflectie	0.8		
• Wand 3:	X1:	1200	Y1:	875
	X2:	650	Y2:	875
	Nauwkeurigheid:	0.5	*L (m)	
	Reflectie	0.5		
• Wand 4:	X1:	650	Y1:	875
	X2:	300	Y2:	700
	Nauwkeurigheid:	0.5	*L (m)	
	Reflectie	0.5		
• Wand 5:	X1:	300	Y1:	700
	X2:	100	Y2:	350
	Nauwkeurigheid:	0.5	*L (m)	
	Reflectie	0.5		
• Wand 6:	X1:	100	Y1:	350
	X2:	0	Y2:	0
	Nauwkeurigheid:	0.5	*L (m)	
	Reflectie	0.5		
• Wand 7:	X1:	2526	Y1:	875
	X2:	2300	Y2:	649
	Nauwkeurigheid:	0.5	*L (m)	
	Reflectie	0.6		

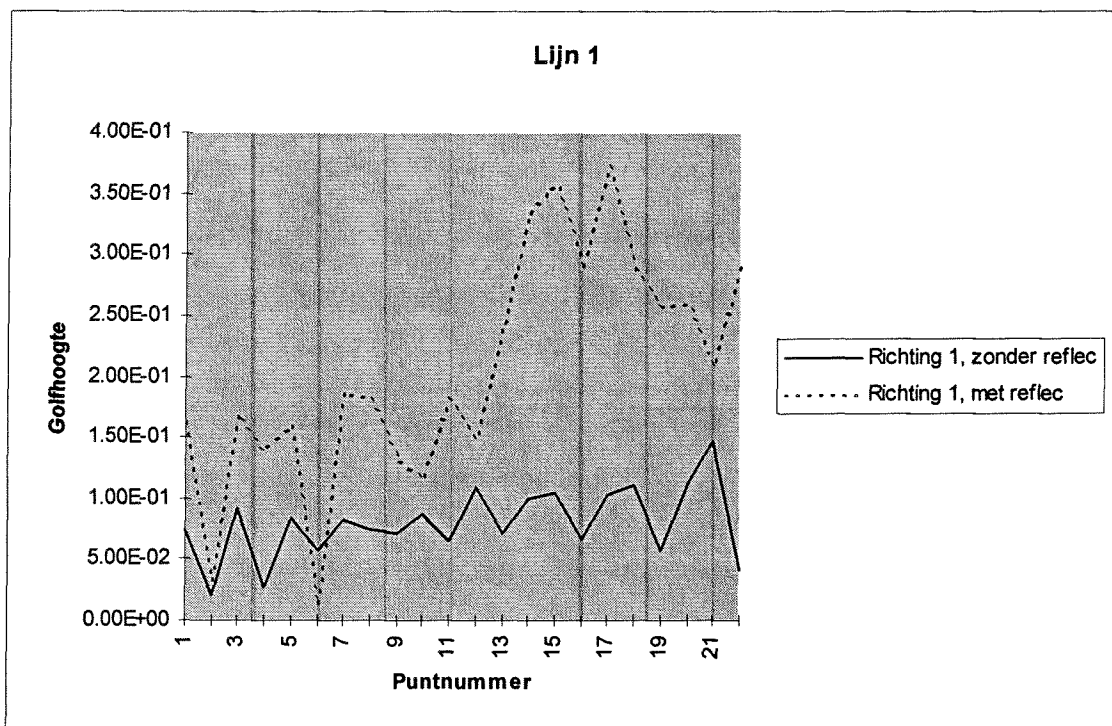
---

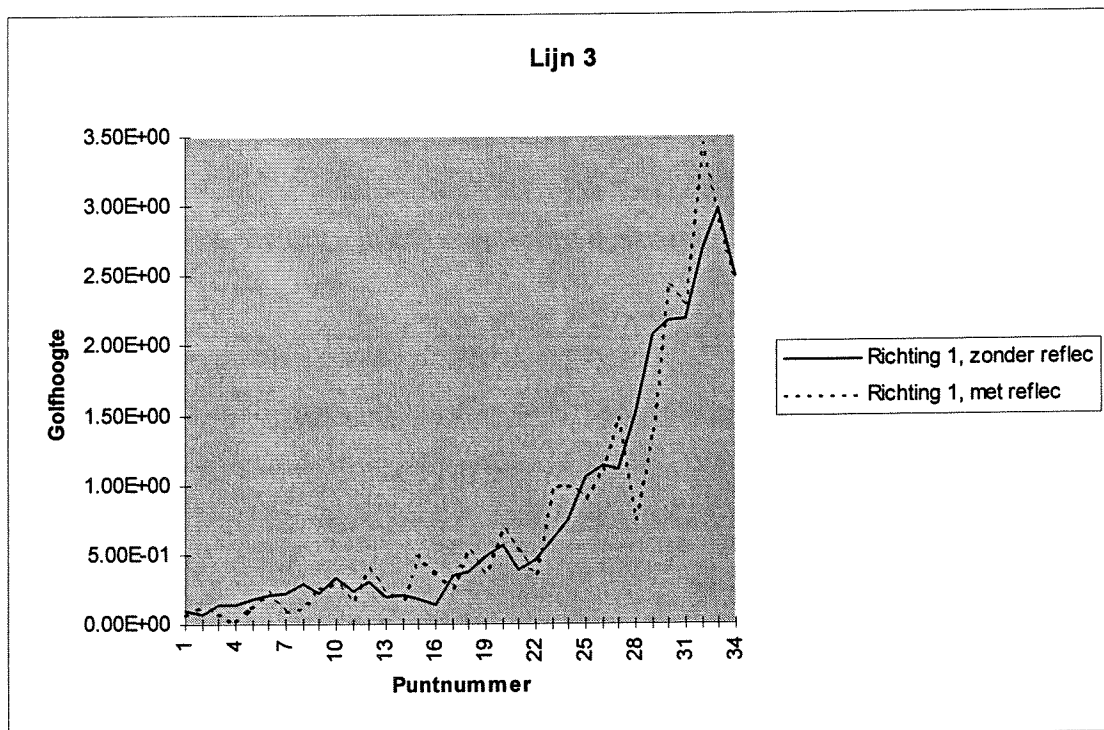
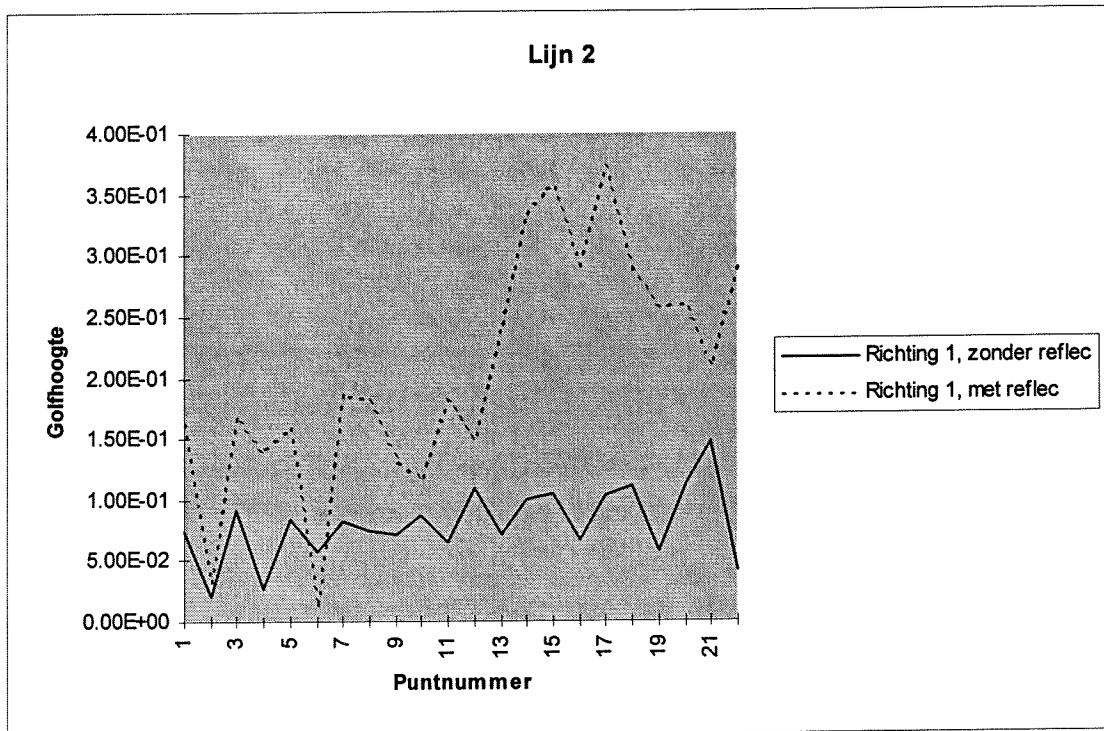
### Proces

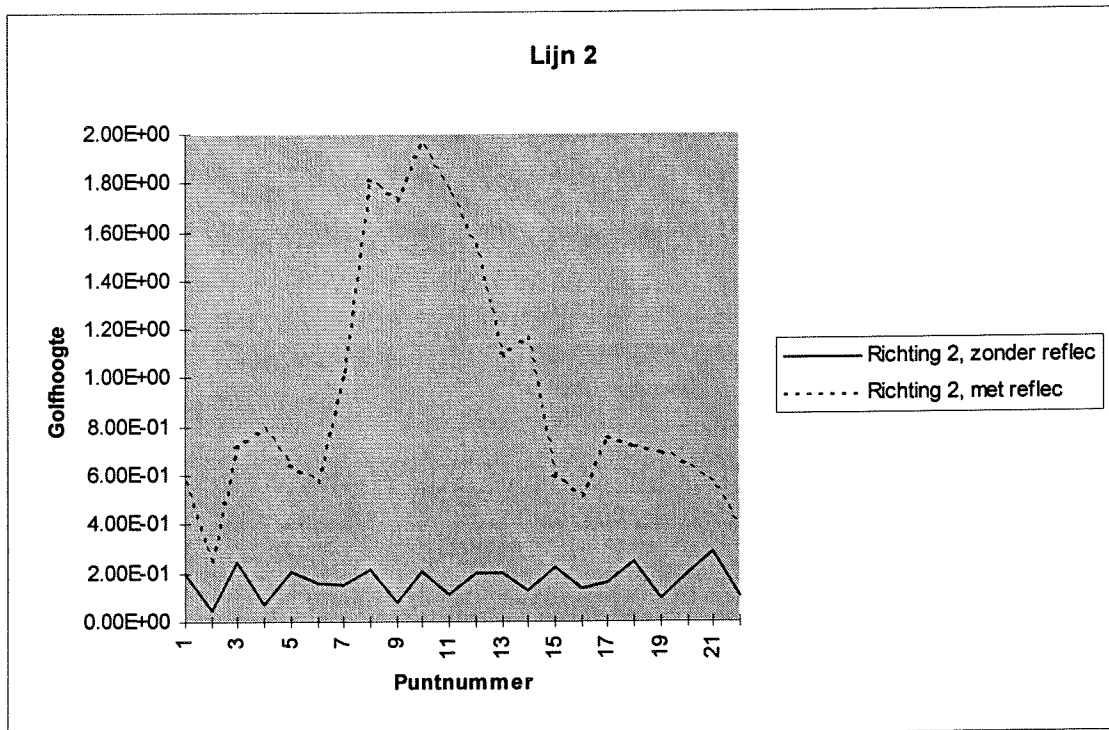
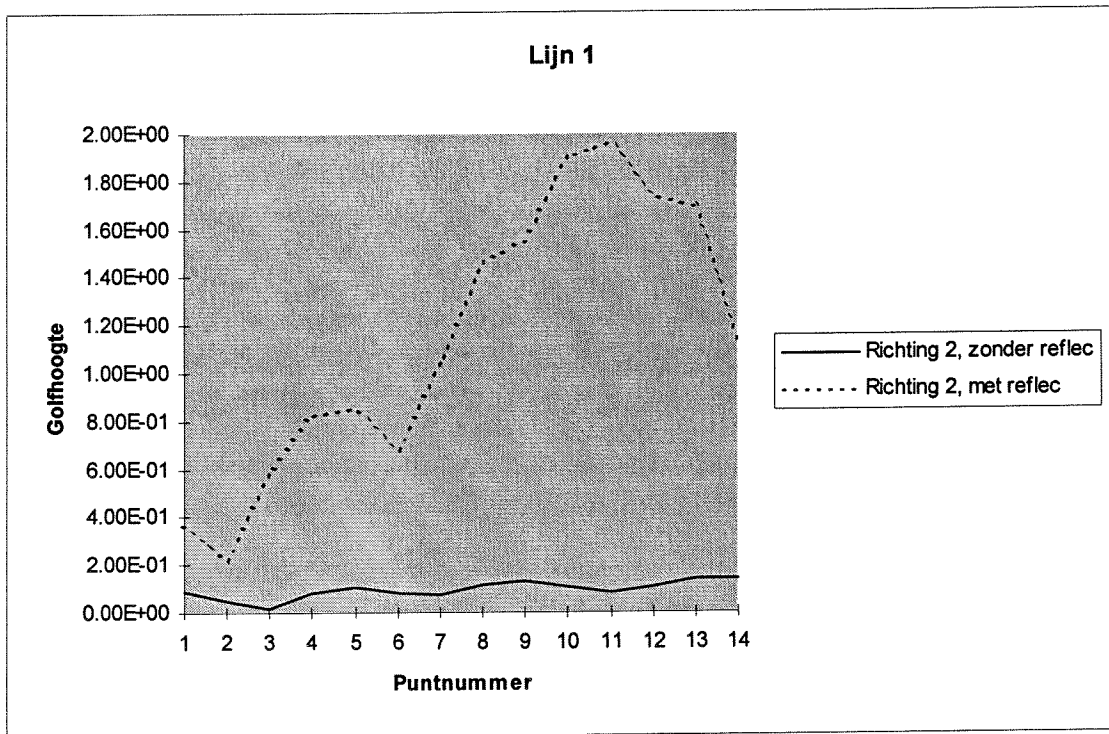
De eerste stap is het berekenen van de golfhoogten in de basis situatie, zoals die hierboven beschreven is. Dit is gedaan voor alle drie de golfrichting-golfhoogte combinaties.

Uit de vuistregels is gebleken dat op doellijn 1 de golfhoogten niet groter mogen worden dan 0.3 meter. Op doellijn 2 mogen de golfhoogten niet hoger worden dan 0.6 meter en op doellijn 3 geldt als bovengrens voor de golfhoogten 1 meter.

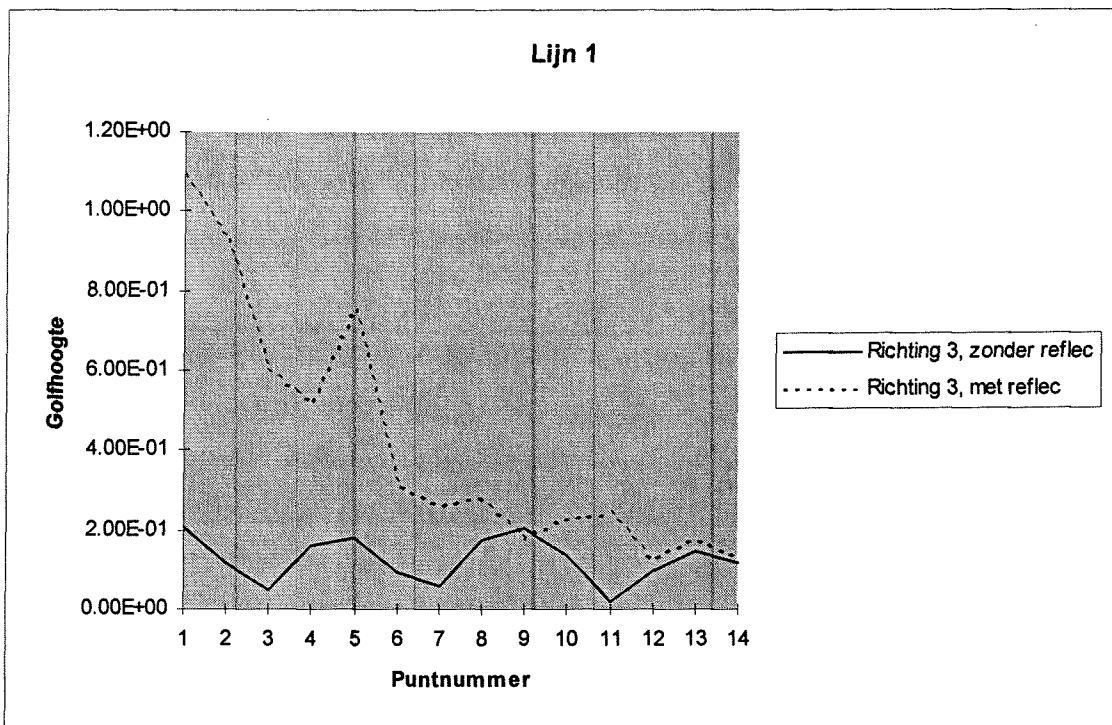
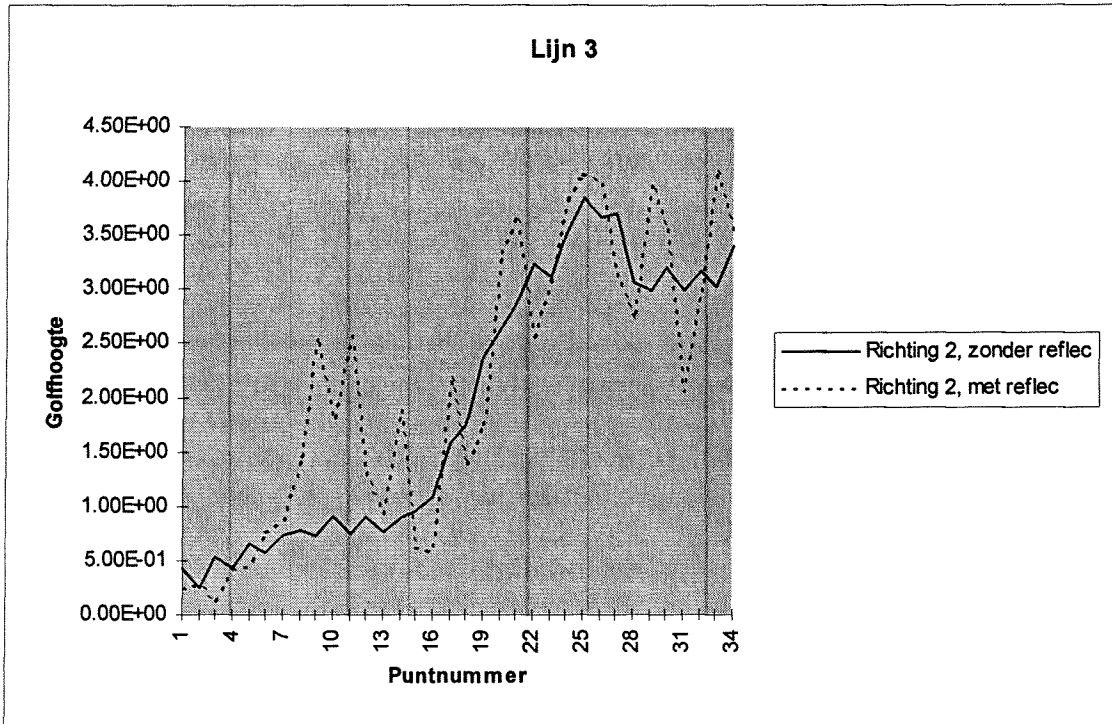
Zoals in de volgende 9 grafieken te zien is voldoen de golfhoogten in geen enkel geval aan de eisen. Het is nu zo dat de haven niet in de hoek van de baai hoeft te liggen. Er wordt nu bekeken welke invloed de reflectie van de bocht in de kustlijn heeft. Hiertoe zijn voor de volgende simulaties de reflectiecoëfficiënten van de reflecterende lijnen 4, 5, en 6 gelijk gesteld aan nul. De resultaten zijn ook weergegeven in de volgende 9 grafieken.

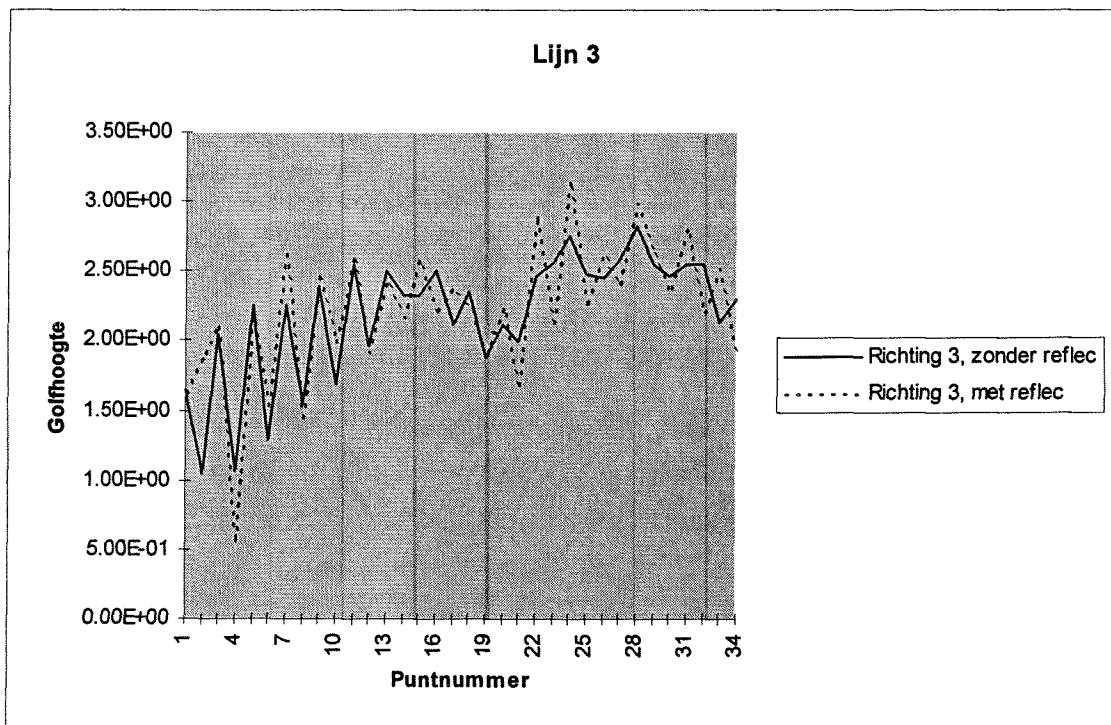
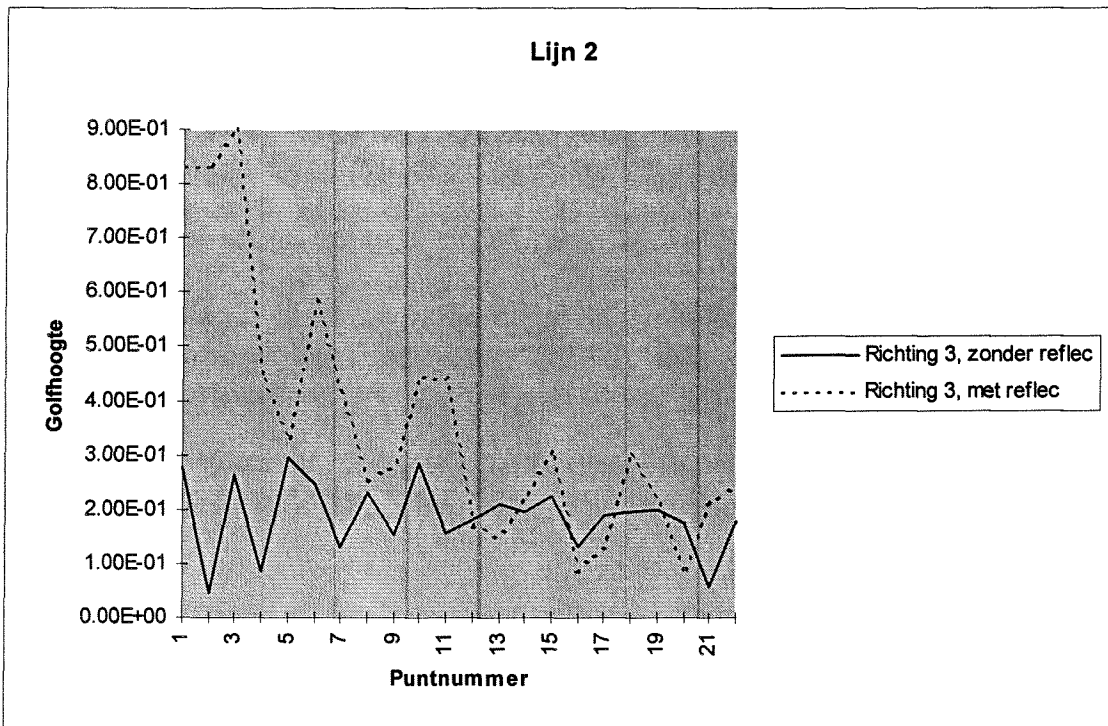










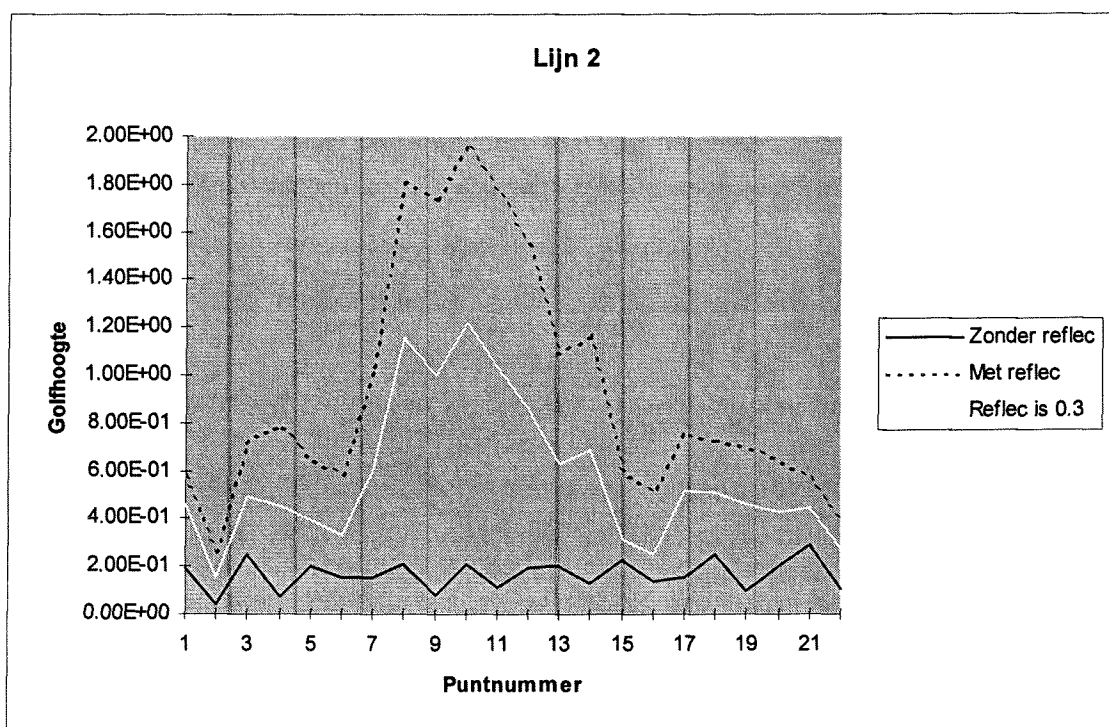
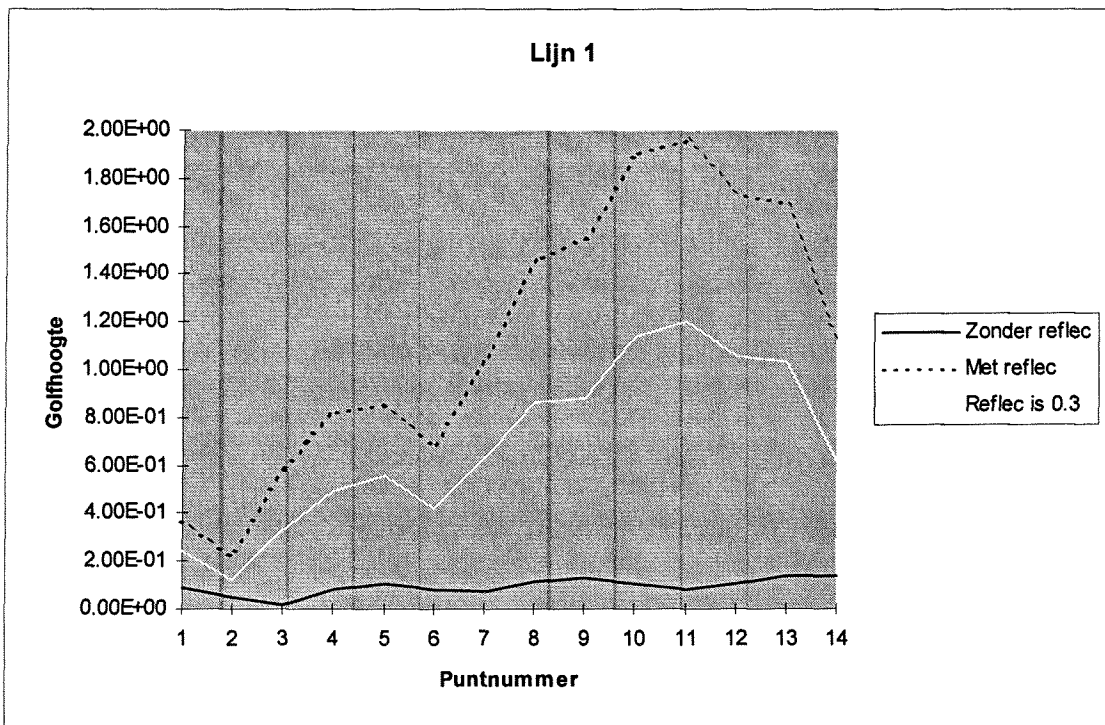


Te zien is dat de golfhoogten op de lijnen 1 en 2 nu wel aan de eisen voldoen. Voor lijn 3 is de diffractie blijkbaar veel belangrijker dan de reflectie. In het draaibassin voldoen de golfhoogten niet aan de eisen.

Er kan nu voor gekozen worden de haven in oostelijke richting langs de kustlijn te verplaatsen. De invloed van de reflectie tegen de bocht in de kustlijn zal dan klein worden. Ook kan ervoor gekozen worden de kustlijn af te vlakken, om zodoende de reflectiecoëfficiënt te verkleinen. In de volgende

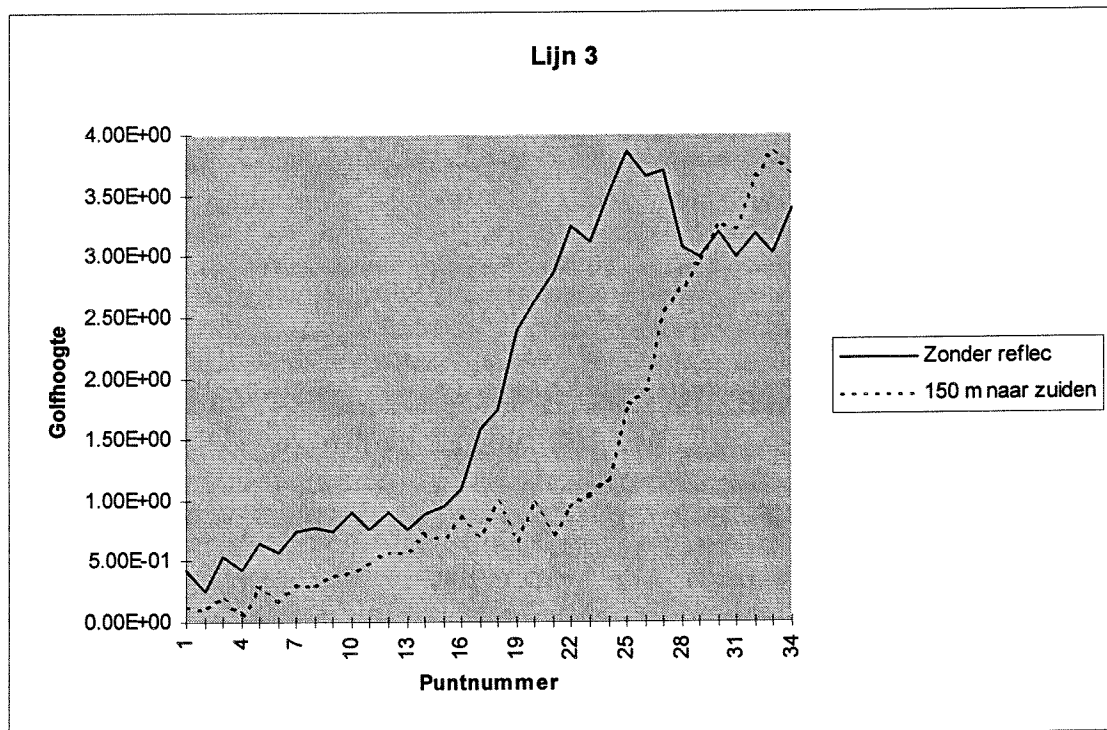
twee tabellen is de invloed van de reflectiecoëfficiënt op de golfhoogten in de lijnen 1 en 2 duidelijk gemaakt.

Omdat de golfhoogten voor de tweede golfhoogte-golfrichting combinatie 2 veel hoger zijn dan voor de andere twee combinaties, wordt de haven vanaf nu nog slechts voor deze combinatie doorgerekend.

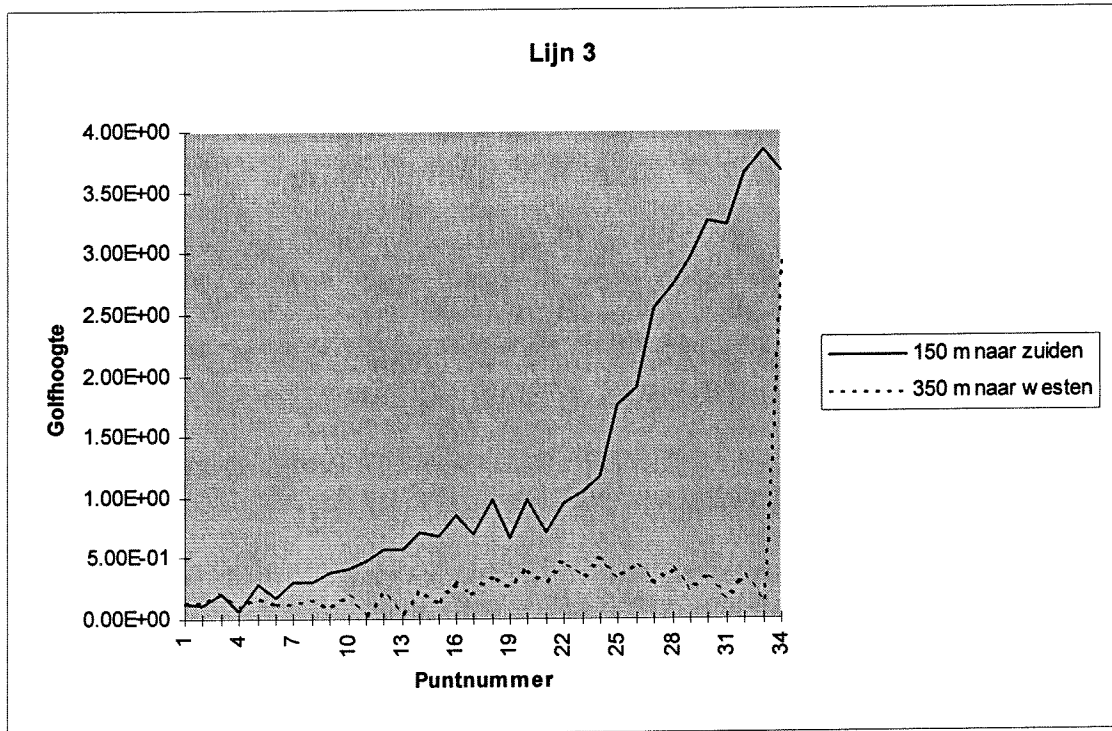


Te zien is dat de situatie met een kleinere reflectie van de bocht in de kust wel verbeterd, maar nog zeker niet aan de eisen voldoet. Het is praktisch niet mogelijk om de kustlijn nog vlakker te maken. De haven zal daarom ver genoeg weg van de bocht moeten liggen. In het volgende worden de reflecterende lijnen 4, 5 en 6 verwaarloosd.

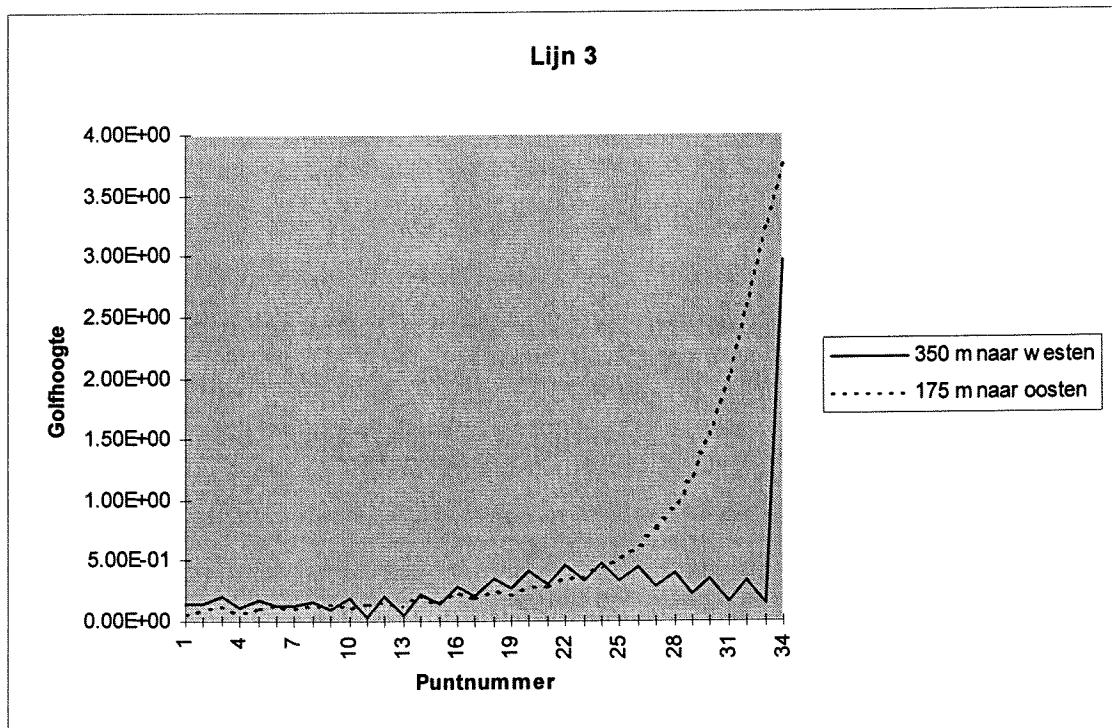
Voor de doellijnen 1 en 2 voldoet de golfbrekerconfiguratie. Voor het draaibassin is dit echter niet het geval. Er moet daarom geschoven worden met de golfbreker. Als eerste wordt de golfbreker 150 meter meer van de kust afgelegd, zodat het gehele draaibassin achter de golfbreker ligt. De resultaten zijn te zien in de volgende grafiek.



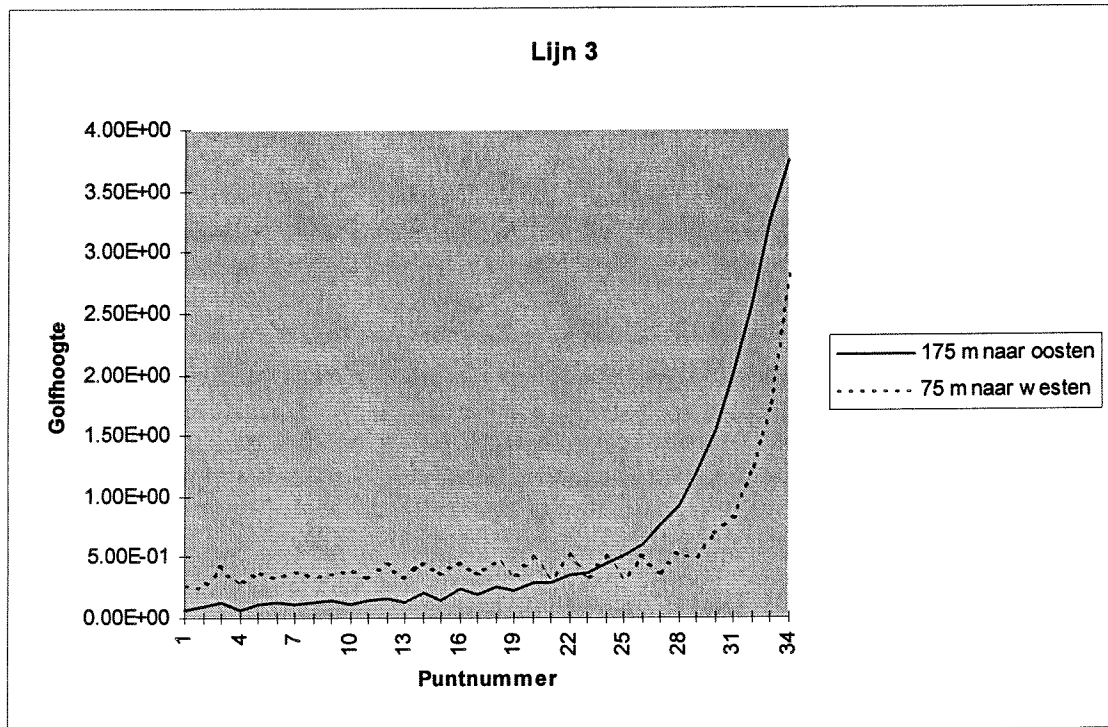
Te zien is dat de situatie wel verbeterd, maar zeker aan de buitenrand van het bassin nog niet voldoet. Daarom wordt nu het golfbrekerhoofd in westelijke richting geschoven, tot aan het midden van het draaibassin.



Te zien is dat de golfhoogten in het draaibassin nu wel voldoen. Echter er kan nog geprobeerd worden de golfbreker zo kort mogelijk te maken, zonder dat daarbij de golfhoogten in het draaibassin te hoog worden. De kosten van de haven zijn namelijk afhankelijk van de lengte van de golfbreker. Het golfbrekerhoofd wordt ten opzichte van de vorige situatie 175 meter naar het oosten geschoven.



Een te groot deel van het draaibassin heeft nu met te hoge golven te maken. Het golfbrekerhoofd wordt ten opzichte van de vorige situatie weer 75 meter naar het westen geschoven.



Slechts het verst van de kust gelegen deel van het draaibassin heeft nu te maken met te hoge golfhoogten. Omdat het aantal Post-Panamax- schepen, die het gehele draaibassin nodig hebben, beperkt zal zijn, worden de golfhoogten en daarmee de golfbrekerconfiguratie nu als voldoende beschouwd.