

**PROBABILISTISCHE RANDVOORWAARDEN**

**NOORDERSLUIS IJMUIDEN**

I.J.C.A. Van Beurden  
F.M.J.M. Robben

Delft 1987  
Technische Universiteit Delft  
Faculteit der Civiele Techniek



	SAMENVATTING .....	4
1	INLEIDING .....	5
2	DOELSTELLING & UITGANGSPUNTEN .....	6
	2.1 Doelstelling .....	6
	2.2 Uitgangspunten .....	6
3	RANDVOORWAARDEN .....	7
	3.1 Geometrie voorhaven .....	7
	3.2 Binnenwaterstand .....	8
	3.3 Stormvloedstand .....	9
	3.4 Relatieve zeespiegelrijzing .....	10
	3.5 Lange zeegolven .....	11
	3.6 Korte zeegolven .....	14
	3.7 Middellange golven .....	15
	3.8 Lokaal opgewekte korte golven .....	16
4	OVERDRACHTSFUNCTIES .....	18
	4.1 Belasting vervalkracht .....	18
	4.2 Lange golven (seiches) .....	19
	4.3 Belasting door korte golven .....	22
	4.3.1 Steilheid en periode .....	22
	4.3.2 Golf over de havendam .....	22
	4.3.3 Golf doordringing in de haven .....	24
	4.3.4 Belasting op de deur .....	24
	4.3.5 Individuele golfbelasting .....	28

	4.3.6 Spectrale benadering .....	29
	4.3.6.1 Spectrale benadering .....	29
	4.3.6.2 Benadering v/h spectrum ...	32
	4.3.6.3 Gebruik in het model .....	34
	4.4 Belastingendiagram .....	35
5	MODEL .....	36
	5.1 - Modelopzet .....	36
	5.2 - Beperkingen van het model .....	38
	5.3 - Initiële waarden .....	39
6	RESULTATEN .....	40
	6.1 - Berekeningsresultaten .....	40
	6.2 - Drukdiagrammen .....	43
	6.3 - Vergelijking met eerdere beschouwingen ..	45
7	CONSEQUENTIES MUTATIES BUITENHAVEN .....	46
8	CONCLUSIES .....	48
9	LITERATUUR .....	50

BIJLAGEN:

A	GOLFOVERSLAG OVER HAVENDAMMEN .....	52
B	DIFFRACTIE BEREKENING VOLGENS CORNU .....	56
C	SPECTRALE BEREKENING GOLFKRACHT .....	58
D	PROGRAMMA LISTING .....	63
E	CONTROLE WESTELIJKE WINDRICHTING .....	78
F	OVERSCHRIJDINGSKANS STILWATERNIVEAU .....	81
G	OVERZICHT GOLFMEETPOSITIES .....	82

## SAMENVATTING

Om in 1990 te voldoen aan de normen van delta-veilige waterkeringen is het nodig bij toekomstige renovaties van het sluiscomplex te IJmuiden de nieuwe constructies op het hiervoor benodigde veiligheidsniveau te ontwerpen.

De deuren van de Noorder- en Middensluis zijn op korte termijn aan vervanging toe; de belasting op de nieuwe deuren is in dit rapport aan de hand van de fysische randvoorwaarden bepaald. Dit is gebeurd volgens de probabilistische methode, waarbij de relevante parameters als stochast in de beschouwing zijn betrokken.

In hoofdstuk 3 worden de verschillende natuurrandvoorwaarden beschouwd, te weten

- De binnenwaterstand
- De buitenwaterstand
- Relatieve zeespiegelstijging
- Korte zeegolven
- Lange golven (buioscillaties)
- Middellange golven
- Lokaal opgewekte windgolven

Aan de hand van deze randvoorwaarden wordt in hoofdstuk 4 de belasting bepaald : Deze belasting kan worden gesplitst in een verval-belasting door de stormvloedstand en de (opgeslingerde) lange zeegolven, en een belasting door golven. De belasting door golven is quasistatisch verondersteld. Bij de berekening van de druk is het deels reflecteren van de golven bij passage van de havendam en inlopen op de deur betrokken. Bovendien is ook het verdeeld zijn van de golfenergie over de verschillende frequenties verdisconteerd. Na omwerking van de significante golfkracht naar de extreme golfkracht wordt de totale kracht verkregen door superpositie van beide bijdragen.

In hoofdstuk 5 wordt vervolgens het model nader toegelicht : de opzet, de beperkingen en de uiteindelijk gebruikte verdelingen.

De resultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 6 :

De meest waarschijnlijke combinatie van de verschillende variabelen resulteert bij een kans op overschrijding van  $1.0E-4$  in een belasting van  $672 \text{ kN/m}^2$  bij een deurhoogte van N.A.P. + 5.15 m. en een belasting van  $696 \text{ kN/m}^2$  bij een deurhoogte van N.A.P. + 5.70 m. Het stilwaterniveau voor de sluisdeur bedraagt dan resp. N.A.P. + 5.96 m. en N.A.P. + 5.90 m. Ook is voor beide deurhoogten de drukfiguur gegeven.

Daar ook eerder de belasting op de deur is beschouwd zijn de resultaten vergeleken met deze beschouwingen, temeer daar deze eerdere beschouwingen geen gebruik hebben gemaakt van de probabilistische rekentechniek.

Consequenties van eventuele mutaties in de buitenhaven zijn bekeken in hoofdstuk 7. Geconstateerd wordt gedeeltelijk wegbaggeren van het Forteiland geen nadelige invloed heeft op de belasting op de sluisdeur, geheel wegbaggeren daarentegen zal resulteren in een verhoging.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 8 geconcludeerd dat de berekening voldoende betrouwbaar is om een goede voorspelling te geven van de  $1.0E-4$  belasting. Verder onderzoek naar onzekere factoren is niet noodzakelijk in verband met de geringe invloed op de belasting. Tevens is de  $1.0E-4$  belasting gegeven als functie van de binnenwaterstand, om een optimalisatie van de verdeling van de krachten over de binnen- en buitendeur mogelijk te maken.

## 1 INLEIDING

Als gevolg van de Delta-wet dienen de zeewaterkeringen van Nederland in 1990 aan de normen van Delta-veiligheid te voldoen. Voor het sluiscomplex van IJmuiden is het onderhouden, vervangen van onderdelen en renoveren een voortdurende activiteit. Op korte termijn zijn de deuren van de Noordersluis, en vervolgens die van de Middensluis, aan vervanging toe. Doordat de datum waarop Delta-veiligheid gegarandeerd moet zijn nadert, deed zich de behoefte voelen een risico-analyse van het hoogwaterkeringssysteem van het sluiscomplex van IJmuiden uit te voeren. Om deze analyse uit te voeren is onder de projectorganisatie "Renovatie noordzeesluizen IJmuiden" de werkgroep "Deltaveiligheid" ingesteld.

Vooruitlopend op een integrale analyse van de veiligheid van het sluiscomplex is de maatgevende belasting op de buitendeuren beschouwd.

In tegenstelling tot deterministische berekeningen in 1973 en 1982 is nu gebruik gemaakt van probabilistische berekeningsmethodes. Hierbij worden de verschillende randvoorwaarden als stochastische variabele aangenomen, waarna de kans op overschrijding van een bepaalde belasting berekend kan worden bij een meest waarschijnlijke combinatie van waarden van deze variabelen. Deze berekening is uitgevoerd met het probabilistische computerprogramma AFDA. Voorliggende rapport presenteert de methode en de berekeningsresultaten.

## 2 DOELSTELLING & UITGANGSPUNTEN

### 2.1 DOELSTELLING

De veiligheid van het sluizencomplex IJmuiden dient, volgens eerdere beschouwingen, te voldoen aan een ontwerprequentie van  $1.0E-4$  keer per jaar. In het verleden is deze ontwerprequentie steeds direct gerelateerd aan de stormvloedstand.

Doel van dit onderzoek is de bepaling van een ontwerpbelasting op de sluisdeuren van de Noordersluis, waarvan de overschrijdingskans  $1.0E-4$  keer per jaar bedraagt. Hierbij zullen naast de stormvloedstand ook andere fysische omstandigheden betrokken worden.

### 2.2 UITGANGSPUNTEN

Voor de probabilistische berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd :

- Alle gebruikte stochastische variabelen zijn onafhankelijk verondersteld. Waar afhankelijkheid een rol speelt, is de variabele in andere onafhankelijke onafhankelijke variabele(n) uitgedrukt, bijvoorbeeld  $H_s - HW$ .
- Belasting door trilling is niet meegenomen in de berekening.
- De belasting op de buitenste deur van de sluis wordt maatgevend verondersteld. Onder bepaalde omstandigheden kan de kolk echter vollopen, zodat de binnenste deur van de sluis maatgevend wordt. Hier dient op gelet te worden bij de dimensionering van de spuigaten in de deuren.
- Bereken<sup>s</sup> wordt de totale kracht per strekkende meter, alsmede het hierbij behorende drukverloop.

### 3 RANDVOORWAARDEN

#### 3.1 GEOMETRIE VAN DE VOORHAVEN

Onderstaande figuur presenteert de geometrie van de voorhaven op schaal 1 : 40000.

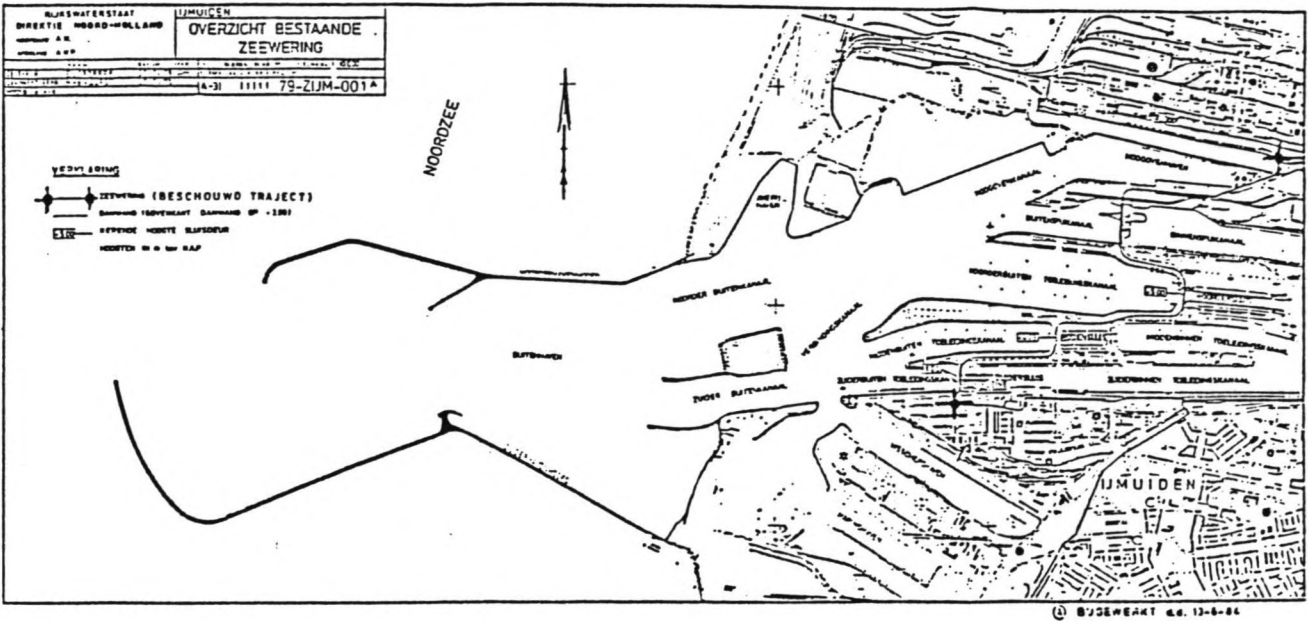


Fig. 3.1 Geometrie van de voorhaven

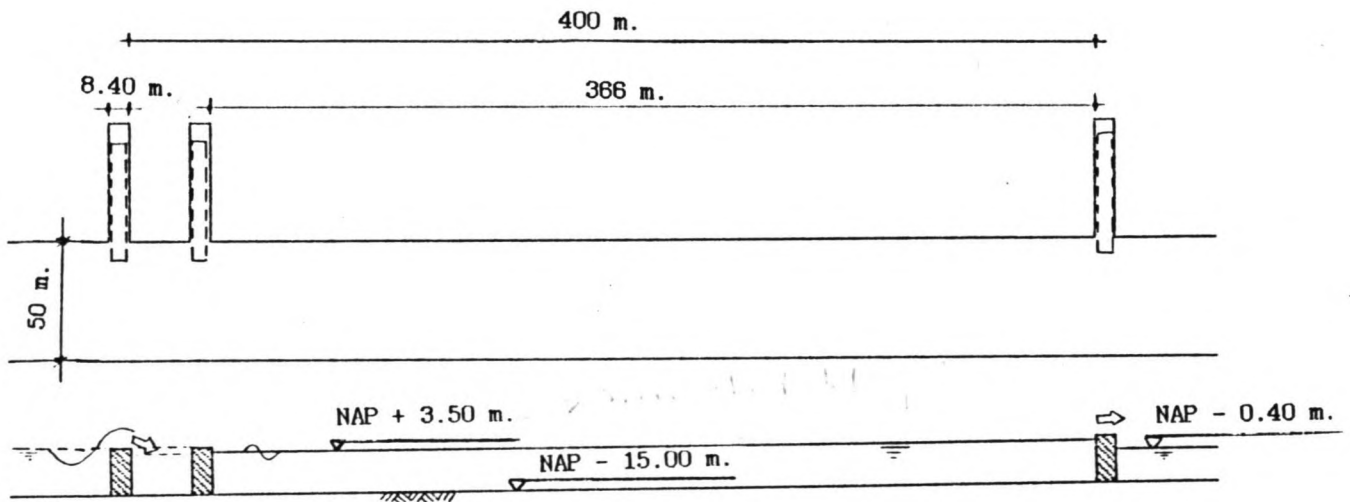


Fig. 3.2 Geometrie sluis

*ik mis; kerende hoogte deuren  
de zijkant*

### 3.2 BINNENWATERSTAND

Om de kracht ten gevolge van het verval te reduceren is men overgaan tot het getrapt keren van het waterstandsverschil. Het streefpeil van het Noordzeekanaal bedraagt N.A.P. - 0.40 m. De plaats en het oppervlakte van spuigaten in de binnendeur zullen zodanig gekozen worden dat in de sluis een waterstand van N.A.P. + 3.50 m. gehandhaafd kan worden.

Tijdens de maatgevende storm zal er golfoverslag plaatsvinden over zowel de buiten- als de binnendeur. Deze overslag heeft echter tot gevolg dat er in de kolk slingeringen van het waterpeil verwacht mogen worden. De onzekerheid hieromtrent wordt in het model verdisconteerd door voor de binnenwaterstand een spreiding aan te nemen van 0.25 meter.

→ Hoe zeker is het dat men die stand kan handhaven?



### 3.3 STORMVLOEDSTAND

De stormvloedstand bestaat uit het de getijamplitude plus windopzet door stormen boven de Noordzee. De overschrijdingslijn van de stormvloedstanden te IJmuiden ( zie figuur 3.3 ) kan benaderd worden met een Gumbel-verdeling. De coëfficiënten worden bepaald door curve-fitting. Hiervoor zijn de volgende punten genomen:

SVS	P <sub>ov</sub>
NAP + 5.15 m	1.0E-4
NAP + 4.40 m	1.0E-3

Voor de verdelingsfunctie volgt :

$$F(SVS) = e^{-e^{\frac{SVS - 2.15}{0.326}}}$$

waarin SVS = stormvloedstand met bepaalde kans op overschrijding

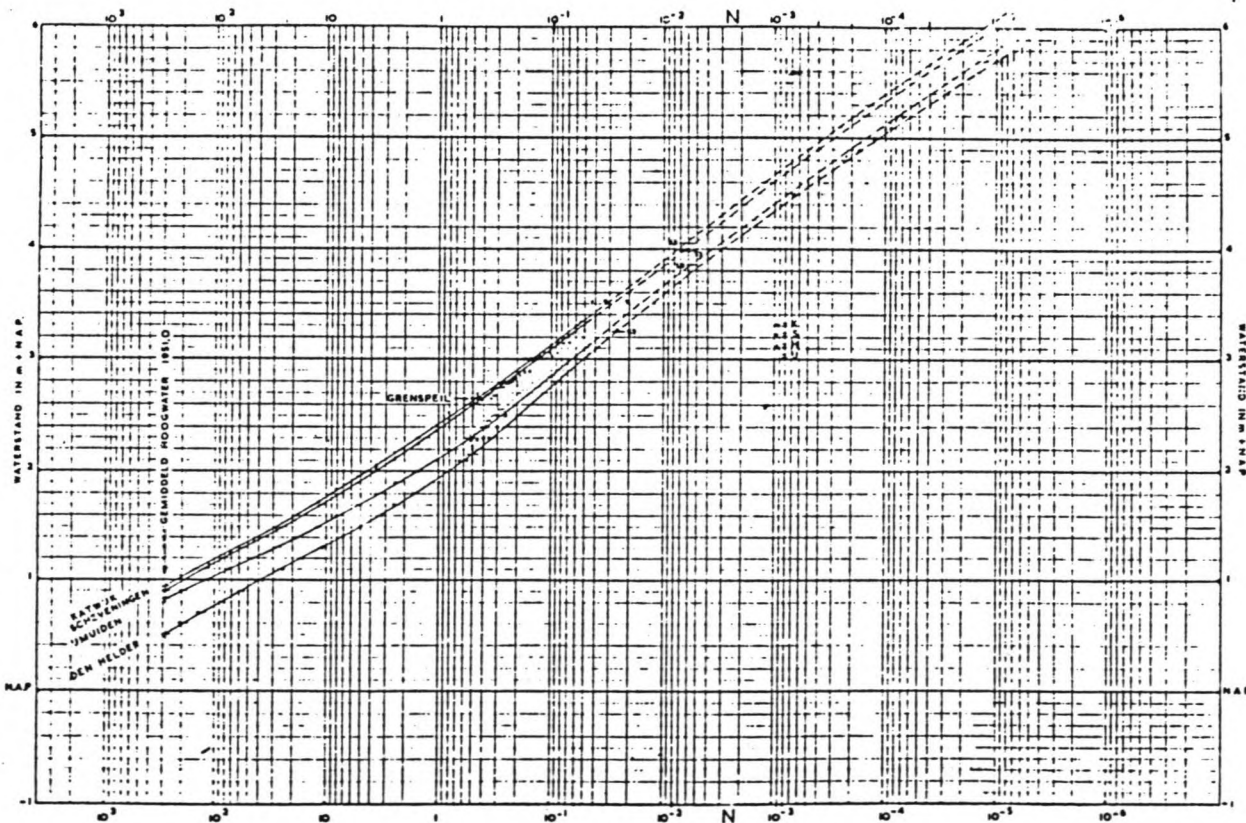


Fig. 3.3 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden langs de Noordzeekust.

#### 3.4 RELATIEVE ZEESPIEGELRIJZING

In het eindrapport van de Delta-commissie wordt een relatieve zeespiegelrijzing genoemd van 0.15 á 0.20 meter per eeuw. Uitgaande van een levensduur van betonconstructies van 100 jaar en een levensduur van staalconstructies van 50 jaar kan voor de sluisdeuren een gemiddelde levensduur van 50 jaar verwacht worden. In deze 50 jaar zal een zeespiegelrijzing van gemiddeld 10 centimeter optreden. Aangenomen wordt dat de zeespiegelrijzing normaal verdeeld is. De spreiding kan gering zijn. In het model wordt hiervoor 2.5 centimeter genomen. Voor de betonnen sluishoofden met een te verwachten levensduur van 100 jaar, zal de relatieve zeespiegelrijzing gemiddeld 20 centimeter zijn. Voor de uiteindelijke belasting zal dit resulteren in een toename van ongeveer 20 kN/m'.

### 3.5 LANGE ZEEGOLVEN

Lange zeegolven vinden hun oorzaak in meteorologische omstandigheden. Er is onderzoek gedaan naar de verdeling van de periode en amplitude van de optredende buioscillaties, zowel op zee (meetpaal Katwijk) als bij de Noordersluis in de haven van IJmuiden.

Onderstaande figuren geven histogrammen van de geregistreeerde waarnemingen (zeemeetpaal Katwijk juli '58 - okt '60, IJmuiden dec '60 - juli '62).

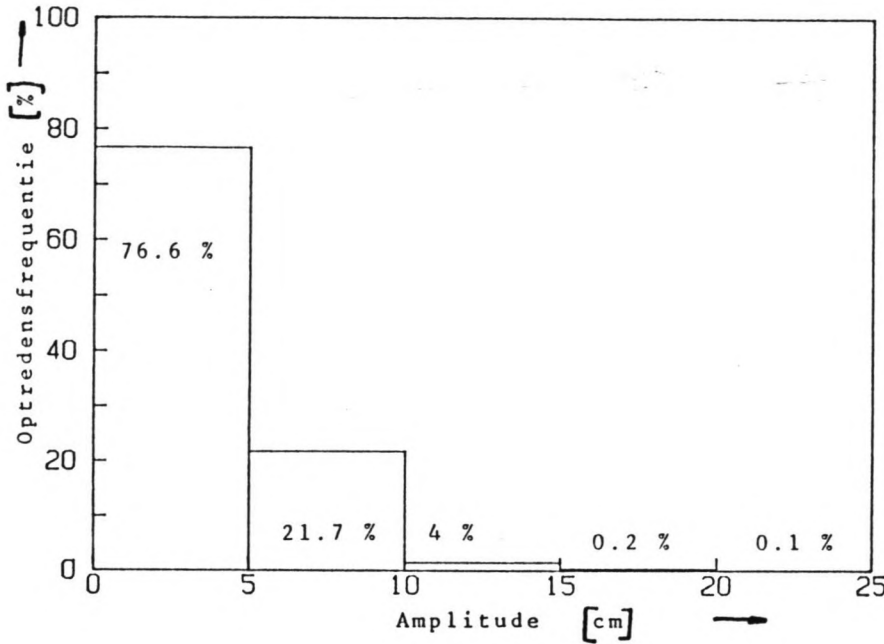


Fig. 3.4  
Histogram van de amplitude van lange golven op zee. (meetpaal Katwijk)

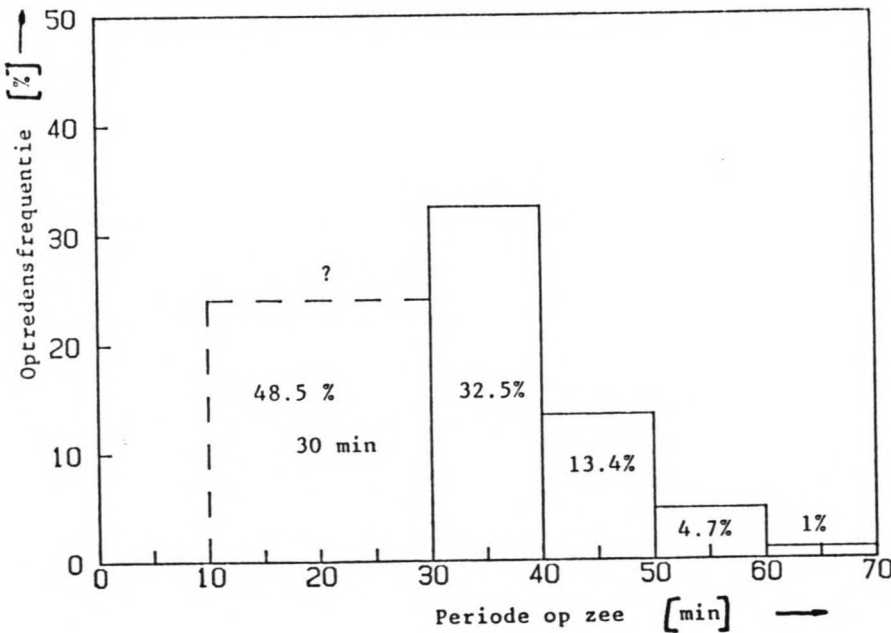


Fig. 3.5  
Histogram van de periode van lange golven op zee. (meetpaal Katwijk)

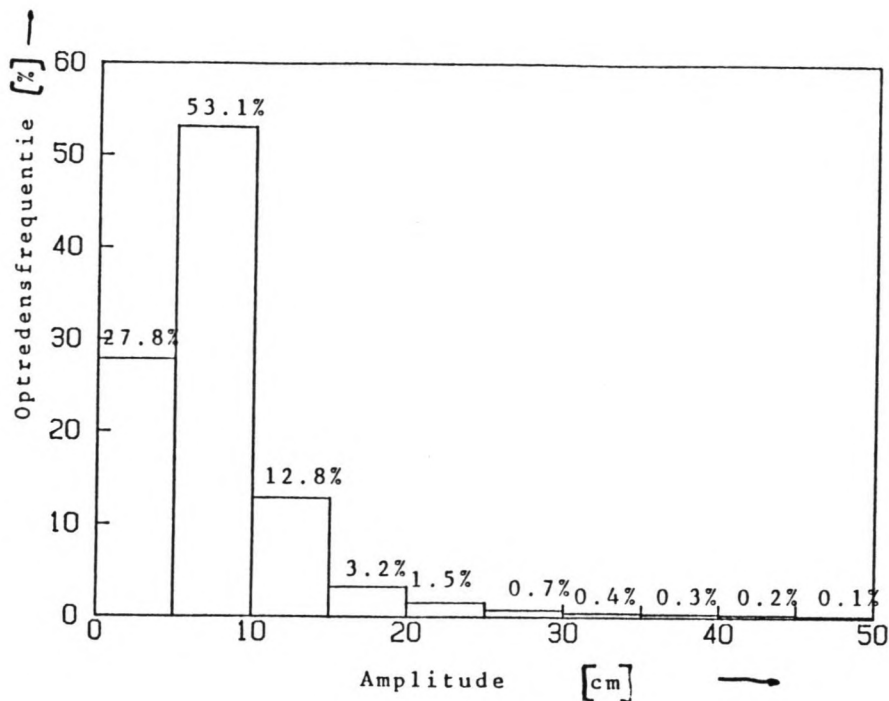


Fig. 3.6  
Histogram van de  
amplitude van lange  
golven bij de Noor-  
dersluis.

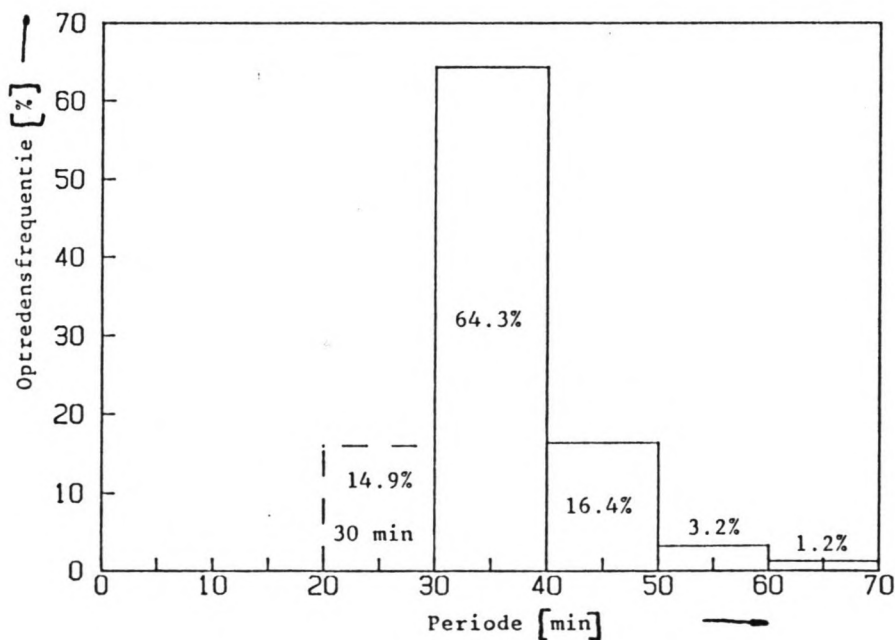


Fig. 3.7  
Histogram van de  
opgetreden perioden  
van lange golven bij  
de Noordersluis.

De ter plaatse van de Noordersluis gemeten frequenties zijn waarschijnlijk minder betrouwbaar dan die gemeten bij Katwijk, omdat golven met perioden in de buurt van de eigenfrequentie versterkt worden, waardoor golven met andere frequenties op de achtergrond raken en een zodanig geringe amplitude hebben dat zij niet gemeten worden.

Ten behoeve van latere verwerking zijn de histogrammen van de amplituden van de golven bij Katwijk omgewerkt tot overschrijdingsfrequentielijnen. Onderstaande figuur presenteert het resultaat.

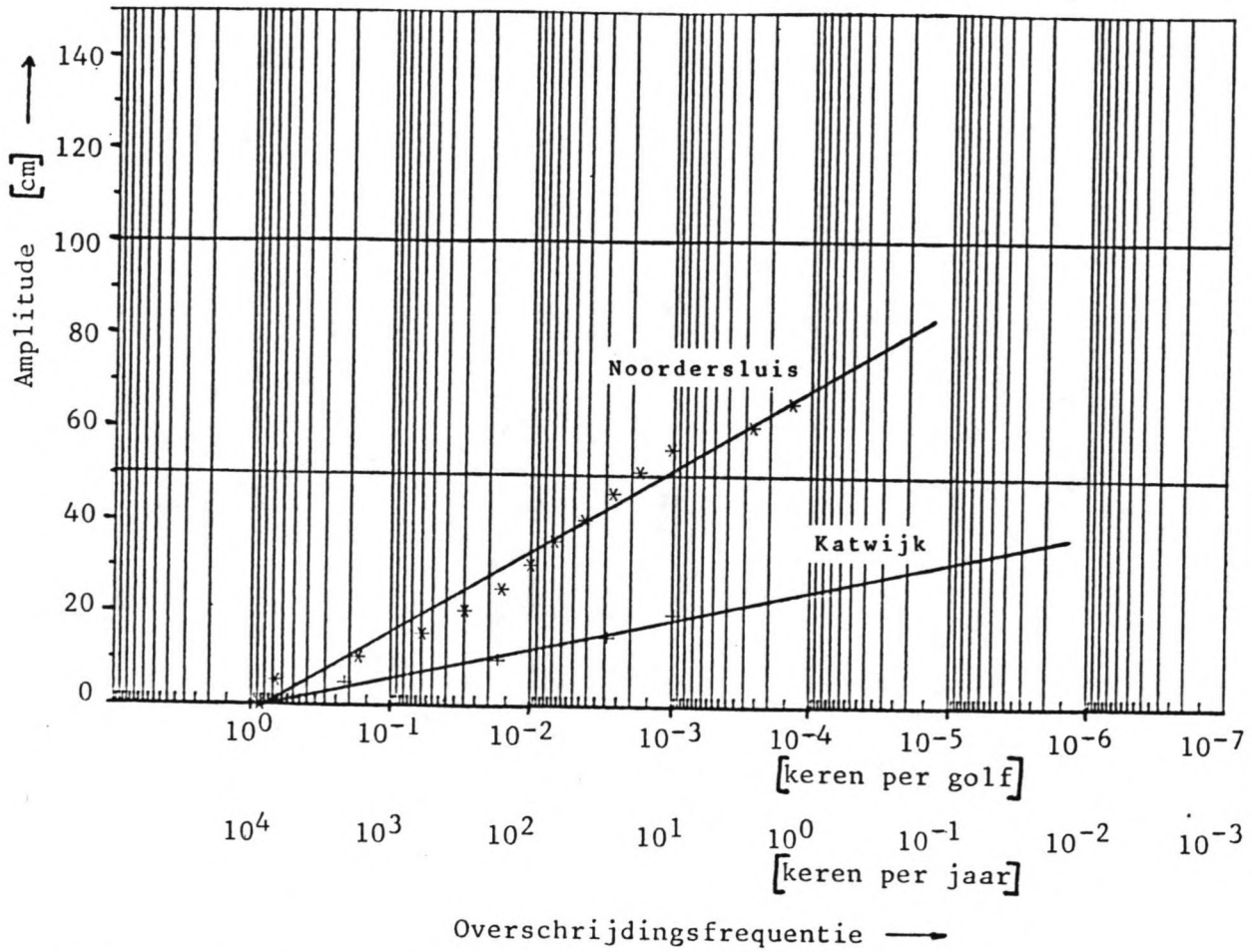


Fig. 3.8 : Overschrijdingsfrequentielijn van amplituden van lange golven.

De omrekening van de frequentie per golf naar de frequentie op jaarbasis gebeurt op een aantal van ca. 10.000 golven per jaar, hetgeen uit de waarnemingen is afgeleid. In [Lit.9] is geconcludeerd dat het voorkomen van dergelijke lange zeegolven onafhankelijk verondersteld mag worden van het seizoen. De lange zeegolven zijn derhalve ook onafhankelijk van de stormvloedstanden.

### 3.6 KORTE ZEEGOLVEN

Door het windveld op de Noordzee worden korte golven opgewekt. Bij de maatgevende windrichting (Noordwest) en hoge waterstand zullen deze golven over de dam lopen en, weliswaar gereduceerd in hoogte, de haven bereiken.

In Lit. 7 wordt een relatie afgeleid tussen de optredende stormvloedstand en de op zee opgewekte significante golfhoogte.

De gevonden relatie is :

$$H_s = \sqrt{3.45 * SVS - 7.67} + 5.00$$

met  $H_s$  = significante golfhoogte  
SVS = stormvloedstand

Door de doortij-/springtijvariatie op de stormvloedstand en een aantal andere factoren zoals tijdsduur storm en variatie in windrichting, is het verband niet volledig eenduidig; dit wordt in rekening gebracht door op de gepresenteerde relatie een modelparameter  $F_{H_s}$  te hanteren. Uit de gebruikte relaties in [Lit. 7] is af te leiden dat deze parameter normaal verdeeld verondersteld mag worden met gemiddelde  $\mu = 0$  m. en een spreiding  $\sigma = 0.7$  m.

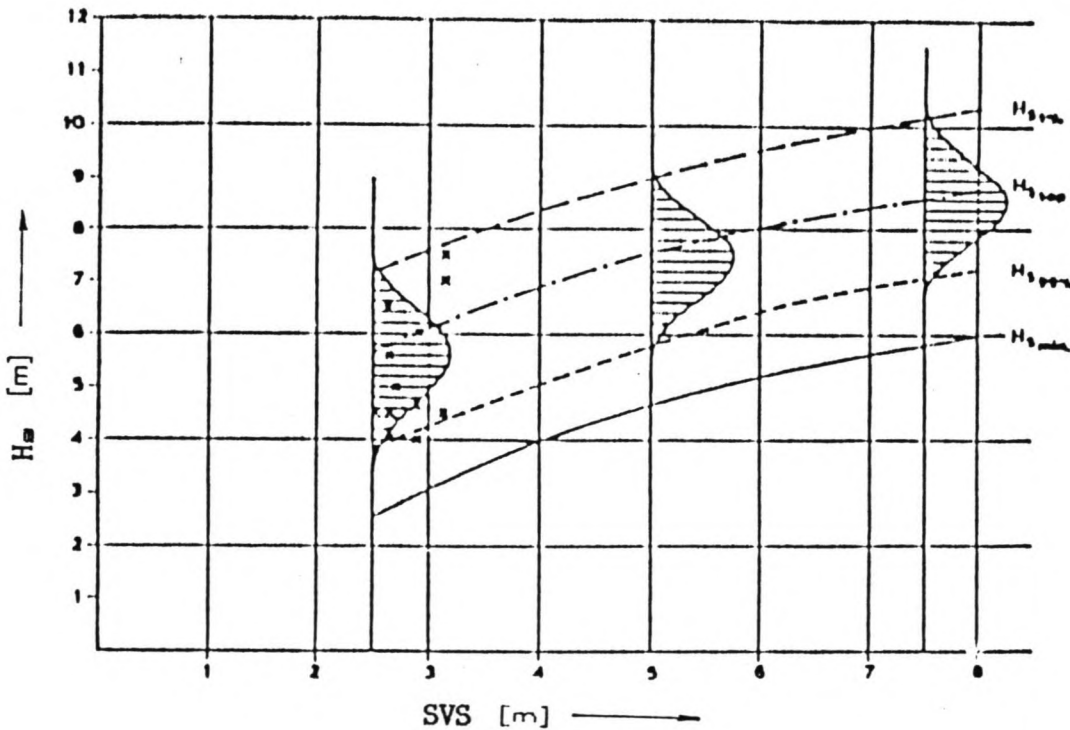


Fig 3.9 Relatie significante golfhoogte - stormvloedstand

### 3.7 MIDDELLANGE GOLVEN

Over deze interne slingeren is weinig bekend. In [lit. 19] wordt gesteld dat dergelijke golven met een periode van 4-7 minuten gedurende lange tijd een top-dal hoogte van 15 tot 30 cm kunnen bereiken. De waarnemingen waarop dit berust worden niet vermeld. In [lit. 10] wordt de invloed van deze golven op de belasting niet in rekening gebracht.

Gezien de onzekerheid omtrent het optreden van deze golven gedurende de kritieke periode, het feit dat deze golven niet opgeslingerd zullen worden in het havenbekken en zodoende een geringe amplitude hebben, en de verwachting dat ze overstemd zullen worden door de wel opgeslingerde langperiodige golven, wordt verondersteld dat de bijdrage aan de belasting ten gevolge van deze golven voldoende verdisconteerd is in de belasting ten gevolge van de korte en lange golven.

### 3.8 LOKAAL OPGEWEEKTE KORTE GOLVEN

Door aanwezigheid van strijklengte zullen door het windveld korte golven opgewekt worden in de voorhaven. De hoogte van deze golven is te berekenen met de relatie van Brettschneider :

$$\frac{gH_s}{u^2} = 0.263 \text{ TANH } 0.63 \left[ \frac{gd}{u^2} \right]^{0.76} \text{ TANH } \left[ \frac{0.0125 \left[ \frac{gF}{u^2} \right]^{0.48}}{\text{TANH } 0.63 \left[ \frac{gd}{u^2} \right]^{0.76}} \right]$$

- waarin u = optredende windsnelheid
- d = waterdiepte
- g = valversnelling
- H<sub>s</sub> = opgewekte significante golfhoogte
- F = strijklengte

Deze golf dient energetisch bij de korte zee golf opgeteld te worden. De resulterende golfhoogte wordt dan :

$$H_{tot} = \sqrt{H_{zee}^2 + H_{lok}^2}$$

Bij de maatgevende noordwesterstorm is de strijklengte echter gering door de noordelijke begrenzing van de haven (zie figuur 3.1). Indien voor de strijklengte 1000 m. genomen wordt, volgt voor de lokaal opgewekte golf: H<sub>s</sub> = 0.90 m. De amplitude is vooral na superponering te verwaarlozen bij de amplitude van de korte zee golf, die na overslag ongeveer 4.90 meter zal bedragen. Daarbij komt nog dat de opgewekte windgolven een relatief hoge frequentie bezitten ten opzichte van de overige golven. Deze windgolven leveren hierdoor slechts een geringe bijdrage in de belasting. In verschillende meetstations op de Noordzee zijn spectra gemeten van de potentiële golfenergiedichtheden. Voor IJmuiden zijn vooral de spectra van Uiterton en Forteiland van belang (zie figuur 3.10). Voor de posities van de verschillende meetstations zie bijlage G.

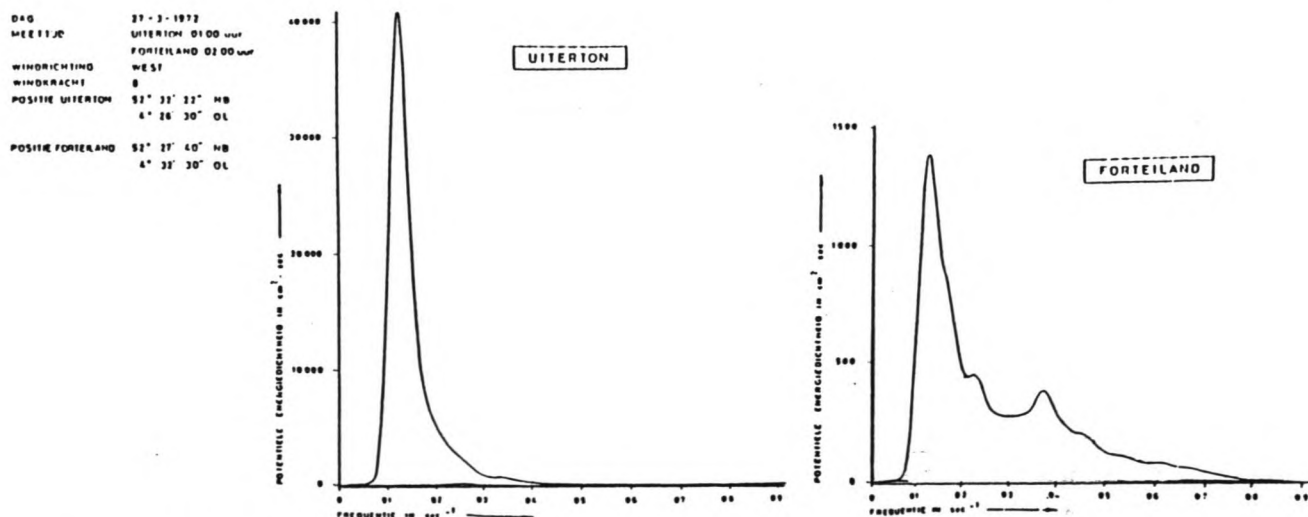


Fig 3.10 Spectra gemeten bij Uiterton en Forteiland



De beide spectra zijn gemeten bij westenwind, zodat voor Forteiland een strijklengte van  $\pm 2500$  meter aanwezig is. Het valt hierbij op dat het spectrum gemeten bij Forteiland een tweede piek vertoont bij ongeveer 0.4 Hz, die te verklaren is uit deze lokale windopzet. Uit de golfgroeigrafieken van Groen en Dorrestein (bijlage E) volgt inderdaad bij een strijklengte van 2500 meter en een windsnelheid van 16 tot 19 m/s (overeenkomend met windkracht 8) een golfperiode van  $\pm 2.5$  s. Dit komt overeen met een frequentie van 0.4 Hz.

In figuur 3.11 wordt de belasting van een golf van 1 meter op een verticale wand als functie van de frequentie grafisch weergegeven. Hieruit blijkt dat de geleverde belasting van de hogere frequenties gering is. Een verwaarlozing van deze ter plaatse opgewekte windgolven is dus verantwoord.

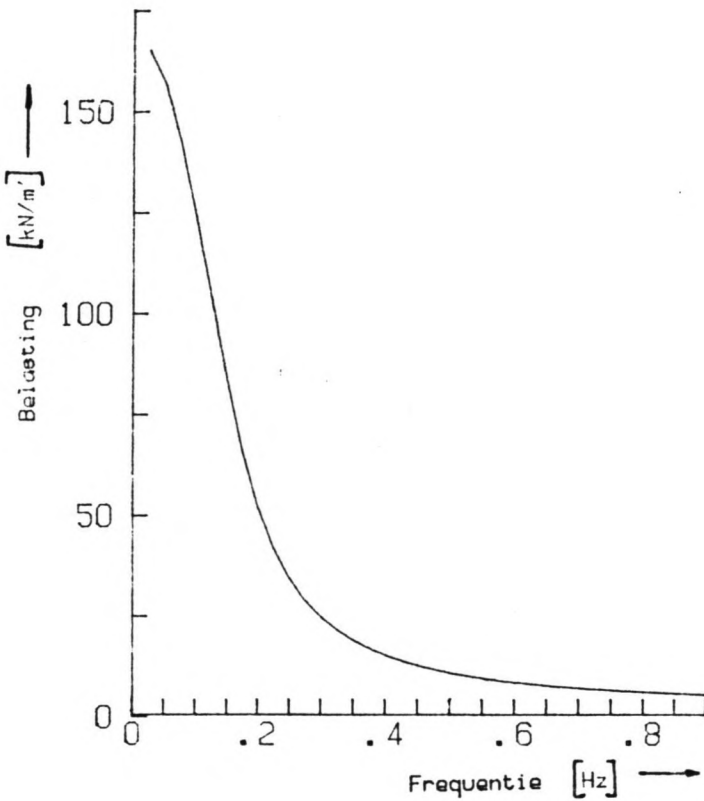


Fig 3.11 Belasting van de eenheidsgolf op verticale wand.

## 4. OVERDRACHTSFUNCTIES

### 4.1 BELASTING DOOR VERVAL

De gemiddelde waterstand voor de sluis wordt berekend uit :

$$HW = SVS + opsl_f * buiosc. + Zeesp_{st}.$$

Aangenomen wordt een hydrostatische drukverdeling. De dichtheid binnen zal als gevolg van overslag ongeveer gelijk zijn aan de dichtheid buiten, te weten  $1.025 \text{ kg/m}^3$ .

Voor de kracht van het water buiten geldt :

$$h_z \leq h_s : F = g * (h_z)^2$$

$$h_z > h_s : F = g * ((h_z)^2 - (h_z - h_s)^2)$$

Voor de kracht aan de binnenkant van de sluisdeur geldt :

$$F = g * (h_b)^2$$

zodat voor de resulterende vervalcracht geldt :

$$h_z \leq h_s : F = g * ((h_z)^2 - (h_b)^2)$$

$$h_z > h_s : F = g * ((h_z)^2 - (h)^2 - (h_b)^2)$$

met  $h_s$  = hoogte sluisdeur  
 $h_z$  = gemiddelde waterstand zeezijde  
 $h_b$  = gemiddelde waterstand in de sluiskolk  
 $h = h_z - h_s$

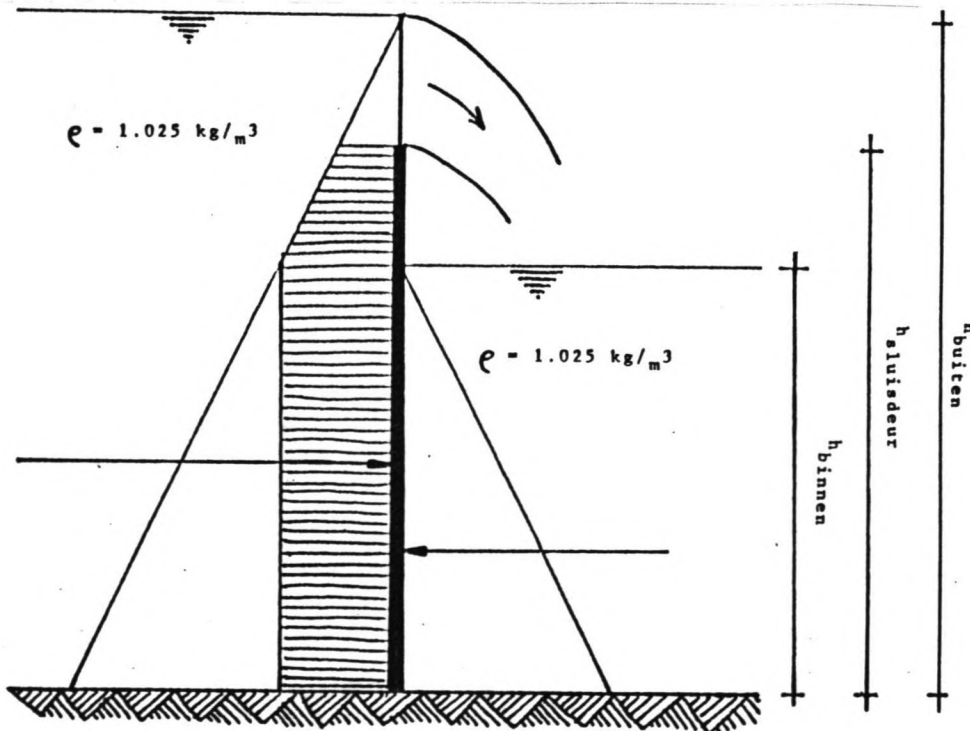


Fig. 4.1 Belasting door verval

## 4.2 LANGE GOLVEN (SEICHES)

Er kunnen golven optreden, veroorzaakt door meteorologische invloeden, met een frequentie van orde tientallen minuten. Doordat de eigen frequentie van de haven ca. 35 min. bedraagt treden seiches op. Dit zijn opslingeren van de inkomende golven als gevolg van resonantie in de haven.

In de eerste plaats is getracht een theoretische beschouwing op te zetten, gebaseerd op [lit. 16]. Er treedt resonantie van de golf op in het havenbekken, wanneer de lengte van het bekken gelijk is aan een oneven aantal maal een kwart van de golflengte, daaraan wordt bij een golfperiode van ca. 35 min. voldaan. Uit het histogram van de optredende perioden (fig. 3.5 en 3.7) blijkt dat deze periode zeer veel optreedt.

Het bovenstaande geldt voor de situatie onder dagelijkse omstandigheden, waarbij de havendammen niet onder water staan en de diepte  $\pm 15.5$  meter is. Onder superstormvloed omstandigheden echter zullen deze havendammen waarvan de kruinhoogte NAP + 4.00 meter bedraagt ongeveer 1 meter onder water staan. De bekkenlengte zal hierdoor afnemen van  $\pm 4900$  meter tot  $\pm 2400$  meter. De diepte zal toenemen tot 20.5 meter. Doordat een verval opgebouwd zal worden over deze dammen zal de randvoorwaarde minder hard worden. Hierdoor zal de eigenperiode van de haven afnemen. Zonder gedetailleerde berekeningen of modelproeven is deze afname niet op verantwoorde wijze te kwantificeren. Wel kan gesteld worden dat de situatie minder ernstig zal zijn dan bij dagelijkse omstandigheden, doordat de kleinere golfperioden minder vaak optreden.

Volgens de theorie kan, bij verwaarlozing van de weerstand, volledige resonantie optreden; dat wil zeggen dat de opslinging oneindig groot kan worden, wanneer de havenfrequentie gelijk is aan de golffrequentie.

Fig. 4.2 brengt dit in beeld.

In deze figuur is

$$s_1 = \frac{k}{\omega m} \quad (\text{Relatieve weerstand})$$

$$s_2 = \frac{2 \pi L}{\lambda} \quad (\text{Relatieve bekkenlengte})$$

$$\text{met } k = \frac{8}{3 \pi} * \frac{1}{R A_s^2 C^2} * \left| Q_{\max} \right| \quad (\text{Gelineariseerde weerstandsterm})$$

$$m = \left[ \frac{1}{g A_s} \right]_{\text{gem}}$$

L = Bekkenlengte

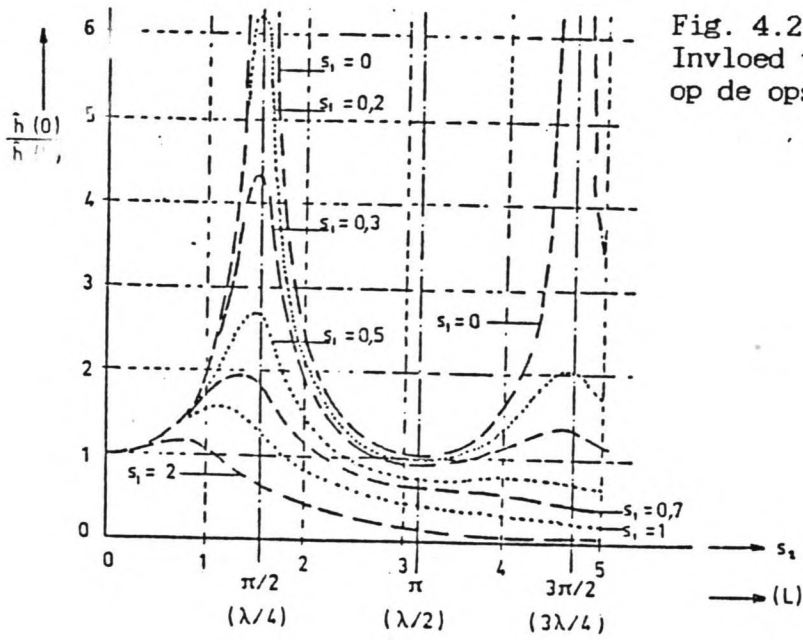


Fig. 4.2  
Invloed van de relatieve weerstand  
op de opslingerfactor

In [lit. 16] wordt echter ook een methode aangegeven om de weerstand in rekening te brengen. Hiertoe dient iteratief het maximum debiet t.g.v. het seiche bepaald te worden : uitgaande van een geschat maximum debiet wordt de weerstand en vervolgens de opslingerfactor berekend; deze leidt weer tot een verbeterde schatting van het debiet. Bij deze methode is de opslingerfactor niet onafhankelijk van de initiële (zee-) golfhoogte. De aldus berekende resulterende golfhoogte, bij maximale resonantie, is in figuur 4.3 in beeld gebracht.

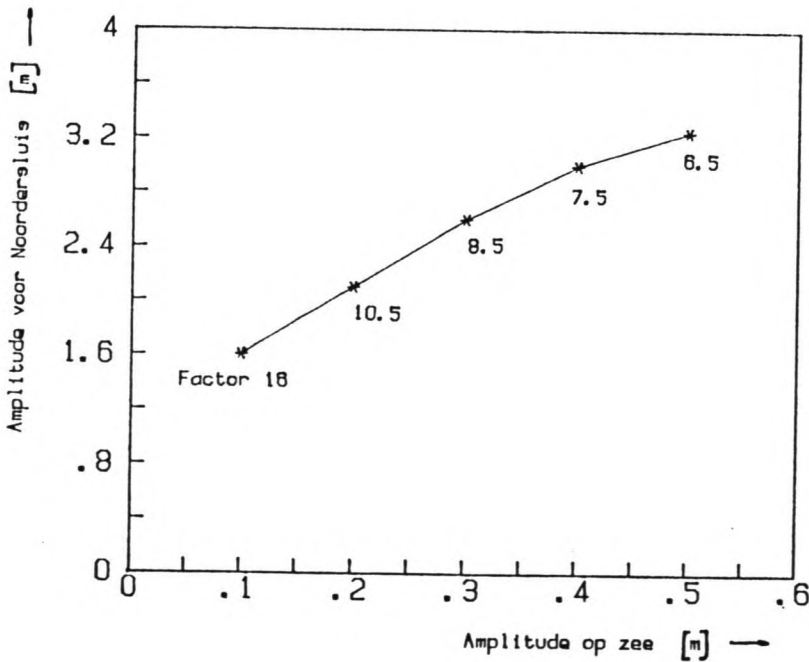


Fig. 4.3  
Amplitude bij de Noor-  
dersluis bij maximale re-  
sonantie als functie van  
de golfamplitude

Het blijkt dat de opslingerfactor in het geval van maximale resonantie zeer fors kan zijn. Door waarnemingen worden dergelijke hoge factoren niet gestaafd; kennelijk treedt de maximale resonantie niet op. Bij de maatgevende omstandigheden, met ondergelopen havendammen, zal dit nog meer het geval zijn, doordat de eigenperiode van de haven naar verwachting af zal nemen. Het blijkt dat bij een reductie van de eigenfrequentie tot een waarde gelijk aan  $2/3$  van de golffrequentie de maximale opslingerfactor (zonder weerstand!) reeds afneemt tot 2.

Naast bovenstaande theoretische beschouwing zijn er enkele extreme waarnemingen, waaraan conclusies verbonden kunnen worden :

- In KIVI vergaderingen in 1885/1886 werd een schommeling van de waterspiegel bij de sluis van IJmuiden gemeld met een hoogte van 1.5 à 2.5 meter en een periode van 20 à 25 minuten (waarschijnlijk de eigenperiode van de toenmalige havengeometrie). Voor de hoogte van de zee golf kan de frequentielijn van fig 3.8 worden beschouwd.
- Op 2-1-'59 werd een solitaire zee golf met een hoogte van 0.5 meter in de haven op geslingerd tot een hoogte van 1.5 meter bij de Noordersluis.
- [Lit. 9] maakt melding van een opslingering van een golf met hoogte 0.2 meter op zee tot 1.5 meter in de haven van IJmuiden (factor 7.5) opgetreden op 3 en 4 december 1964. De periode van de golf op zee bedroeg 35 à 40 minuten.

Uit deze gevallen kan geconcludeerd worden dat een opslingerfactor tot orde 8 als extreem, maar niet irreëel, moet worden gezien.

Een derde mogelijkheid om tot enig inzicht in de opslingerfactor te komen is de vergelijking van de gedurende 1.5 jaar gemeten lange golven ten plaatse van de Noordersluis van IJmuiden en bij Katwijk. Wanneer gesteld wordt dat een hoge zee golf leidt tot een hoge golf in het bekken (met dezelfde frequentie) zou hieruit een opslingerfactor van ca. 3 volgen. Alhoewel dit volgens fig 4.3 niet de maximale opslingering is, geeft het wel enig inzicht.

De uitkomsten van de drie bovenstaande beschouwingen in ogenschouw nemende en lettend op het te verwachten effect van de veranderende havengeometrie bij extreme omstandigheden, wordt goeddeels arbitrair, voor de opslingerfactor een normale verdeling gehanteerd met een verwachtingswaarde 2 en een standaardafwijking van 2.

Voor de amplitude van de buioscillatie wordt door de Deltacommissie voor kusten en zonder golfoploop 50 cm voorgeschreven. Omdat het model rekent met een amplitude optredend op zee - dus zonder reflectie! - wordt voor de gemiddelde amplitude van de buioscillatie 25 cm genomen. Deze amplitude treedt ongeveer op met een frequentie van 1 keer per 10.000 golven. (zie fig. 3.8). Deze amplitude wordt normaal verdeeld aangenomen met een standaardafwijking van 5 cm.

Een extra controle op het uiteindelijke resultaat kan nog plaatsvinden door een vergelijking van de resulterende golfhoogte van het seiche bij de sluis, met de frequentie verdeling van fig 3.8.

Een waarde van 1 à 1.5 meter lijkt dan reëel.

### 4.3 ELASTING DOOR KORTE GOLVEN

#### 4.3.1 - Steilheid en periode van korte golven.

Er wordt uitgegaan van de steilheid van de golven op diep water. Met behulp van :

$$L_0 = g * T^2 / 2 \pi \quad \text{en} \quad L_0 = H / s$$

kan de piekperiode berekend worden met :

$$T = \sqrt{2 \pi H / (s * g)}$$

met :  $L_0$  = golflengte op diep water  
 $T$  = periode van de golven [s]  
 $g$  = valversnelling =  $9.81 \text{ m/s}^2$   
 $H$  = golfhoogte  
 $s$  = golfsteilheid

De steilheid van de golven op diep water kan worden afgeleid uit waarnemingen van golven door meetpalen op zee.

Hiervoor kan een waarnemingsreeks gebruikt worden van golfsteilheden gemeten bij de munitiestortplaats IJmuiden tussen 1971 en 1978. De gemeten verdeling kan benaderd worden door een normale verdeling met gemiddelde van 3.7 % en een standaardafwijking van 1.3 %. In figuur 4.4 wordt de gemeten en benaderende verdeling weergegeven.

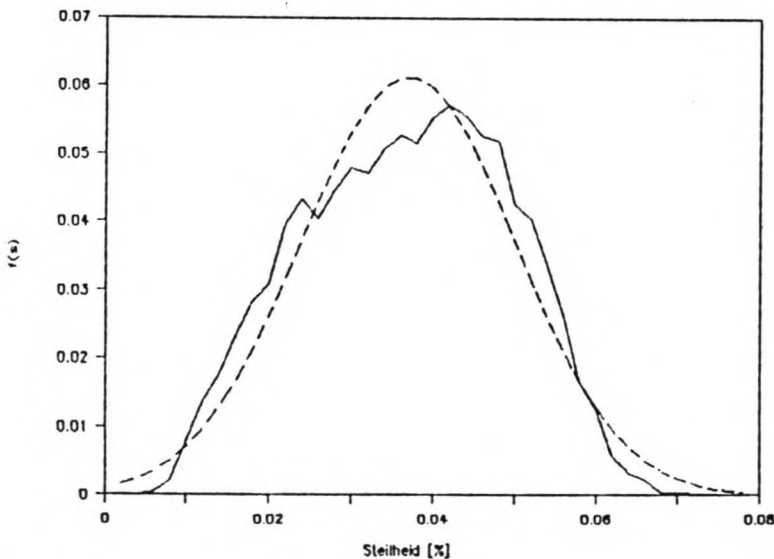


Fig. 4.4 Gemeten golfsteilheden bij munitiestortplaats IJmuiden en benaderende verdeling.

#### 4.3.2 - Golf over havendam

Indien aangenomen wordt dat de maatgevende storm uit het noordwesten komt zullen tijdens deze storm de havendammen geheel onder water komen te staan en lopen de golven over de havendam de haven binnen. Er zal een reductie in golfhoogte ontstaan als gevolg van deze golfoverslag.

Er is momenteel weinig bekend over golfoverslag over dammen waarvan de kruin zich onder water bevindt. Door Hall & Hall is in 1940 modelonderzoek [Lit. 3]

verricht, doch de data zijn niet verder uitgewerkt. Door Bijker worden enige vuistregels gegeven [Lit. 1]. Een bruikbare relatie tussen de kruinhoogte en de golfhoogtereductie is hieruit echter niet af te leiden.

Om toch een beeld te krijgen van de golfoverslag is in eerste instantie gekeken naar overslag over dammen waarbij de kruinhoogte meer bedraagt dan het gemiddeld waterniveau. Hiernaar is door Hamer & Hamer [Lit. 6] onderzoek verricht ten behoeve van het ontwerp van de buitenhaven van Noordland. Dit onderzoek heeft geresulteerd in een relatie-grafiek tussen  $H_u/H_1$  enerzijds en de ratio kruinhoogte-golfoploop anderzijds. Met behulp van deze relatie en de data van Hall & Hall is een relatie afgeleid voor de hoogte van de overslaande golf indien de kruin van de dam zich onderwater bevindt. In bijlage A wordt deze relatie afgeleid en nader toegelicht. Gevonden wordt :

$$H_u = - 0.55 * h * \sqrt{H_1} / (T * \tan \alpha) + 0.58 * H_1$$

- met  $H_u$  = gegeneerde golfhoogte na overslag  
 $H_1$  = inkomende golfhoogte  
 $h$  = kruinhoogte boven gemiddelde waterstand  
 $T$  = periode van de inkomende golf  
 $\alpha$  = talud helling

Figuur 4.5 geeft de relatie grafisch weer voor  $\tan \alpha = 0.5$  voor verschillende waarden van  $h/T$ .

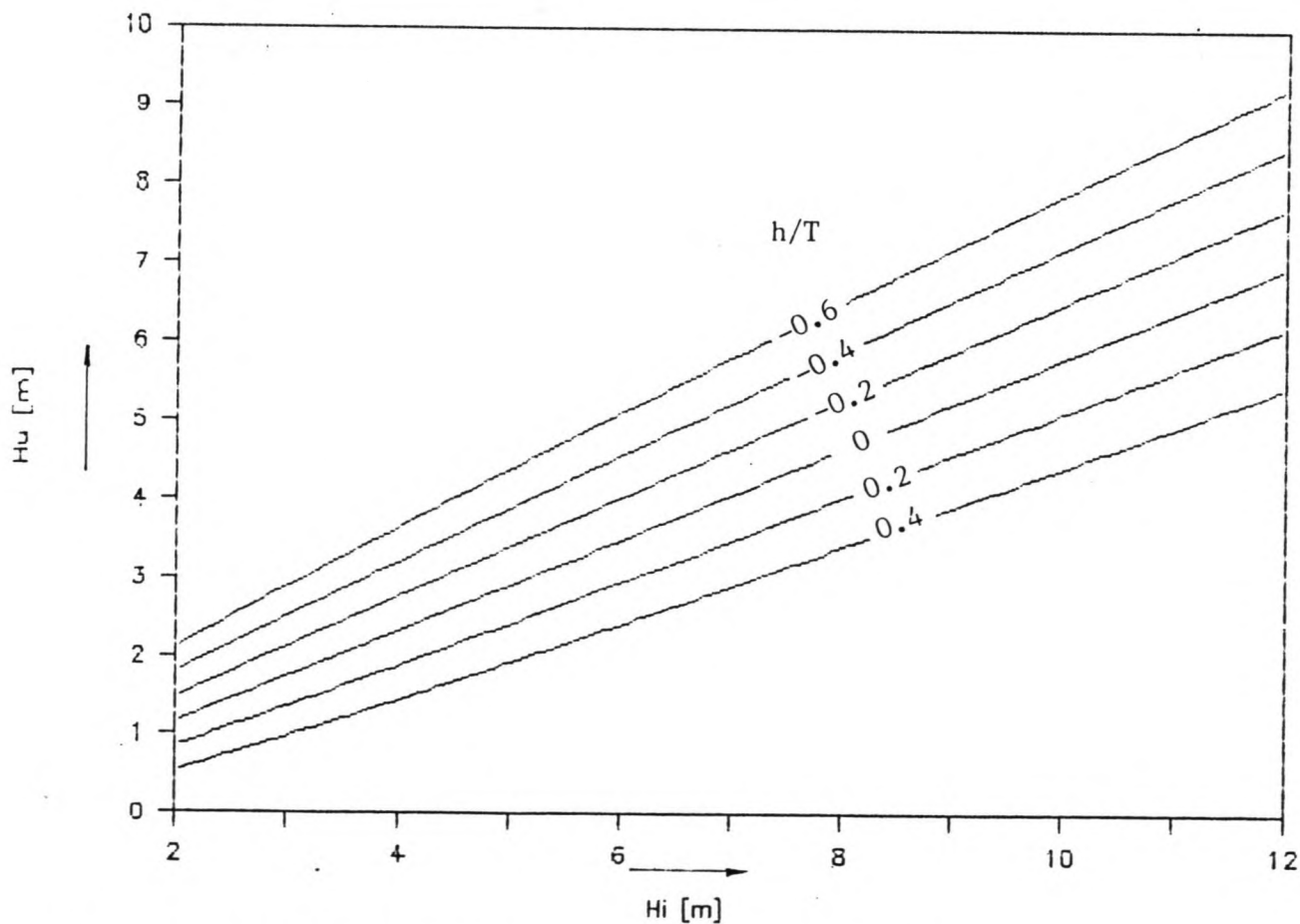


Fig. 4.5 Golfoverslag na passage havendam als functie van  $H_i$  en  $h/T$ .

Onderstaande figuur presenteert de geometrie van de havendammen van IJmuiden.

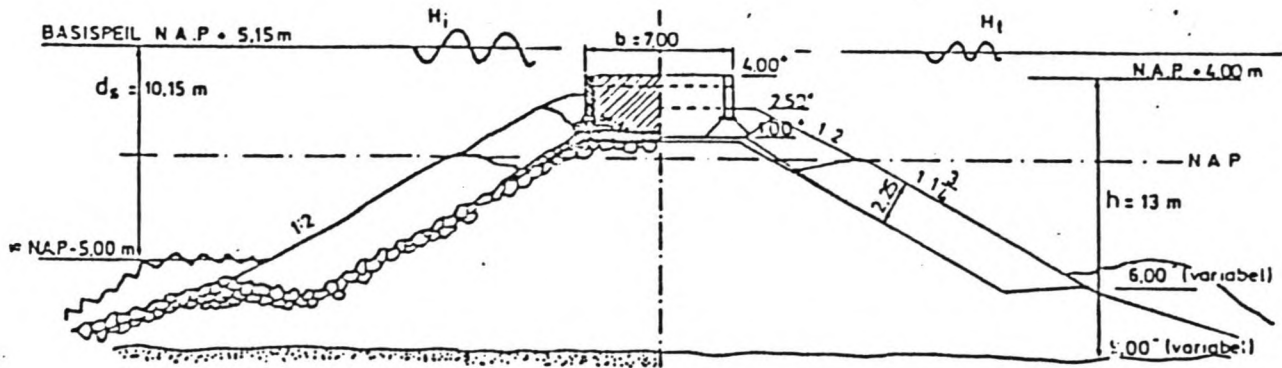


Fig. 4.6 Dwarsprofiel van havendam IJmuiden

#### 4.3.3 - Golfdoordringing in de haven

De golf die over de havendam loopt komt vervolgens in de binnenhaven alwaar diffractie optreedt. De diffractiecoëfficiënt kan theoretisch bepaald worden met de kortegolf-theorie volgens Cornu. Voor de richting van de golven is noordwest aangenomen overeenkomend met de richting van de maatgevende storm. [Lit 6] In bijlage B wordt voor deze diffractie coëfficiënt 0.12 gevonden waardoor de golfhoogte bij de sluis  $0.12 * H_a$  wordt. Daar de aangenomen richting niet de richting is waarbij de diffractiecoëfficiënt het hoogst is, is in bijlage E gecontroleerd of de noordwestelijke windrichting inderdaad maatgevend is.

#### 4.3.4 - Belasting op de deur ten gevolge van de golf

De energiebijdrage van golven met hogere frequenties is te verwaarlozen zodat de belasting op de deur quasistatisch beschouwd kan worden. Ter berekening van de amplitude van de kracht op de deur als gevolg van golven wordt gebruik gemaakt van het algoritme van het programma QS-golf. Dit programma berekent m.b.v. de lineaire golftheorie de kracht van een golf op een verticale wand. In het geval IJmuiden echter hebben we te maken met de situatie dat de golf gedeeltelijk over de deur heen slaat. Dit vereist een aanpassing van de reflectiecoëfficiënt die nu natuurlijk niet 1.0 gesteld hoeft te worden. Volgens de 1e orde theorie kan de drukamplitude onder de gemiddelde waterstand beschreven worden als : [Lit. 19]

$$\hat{p}(z) = \rho g * \frac{H_1}{2} * \frac{\cosh(kz)}{\cosh(kd)} \sqrt{(1 + K_r^2 + 2 K_r \cos(2kx))}$$

met  $K_r$  = reflectie coëfficiënt :  $K_r = H_r/H_1$   
 $x$  = horizontale afstand tot reflectiepunt  
 $k = 2 \pi/L$   
 $L$  = golflengte



Voor de druk tegen de deur ( $x=0$ ) geldt :

$$\hat{p}(z) = \rho g * \frac{H_1}{2} * \frac{\cosh(kz)}{\cosh(kd)} \quad (1 + K_r)$$

Boven de gemiddelde waterstand wordt een rechtlijnig drukver loop aangenomen volgens :

$$\hat{p}(z) = \rho g * \left( d + \frac{H_1}{2} * (1 + K_r) - z \right)$$

De drukamplitude is weergegeven in fig. 4.7

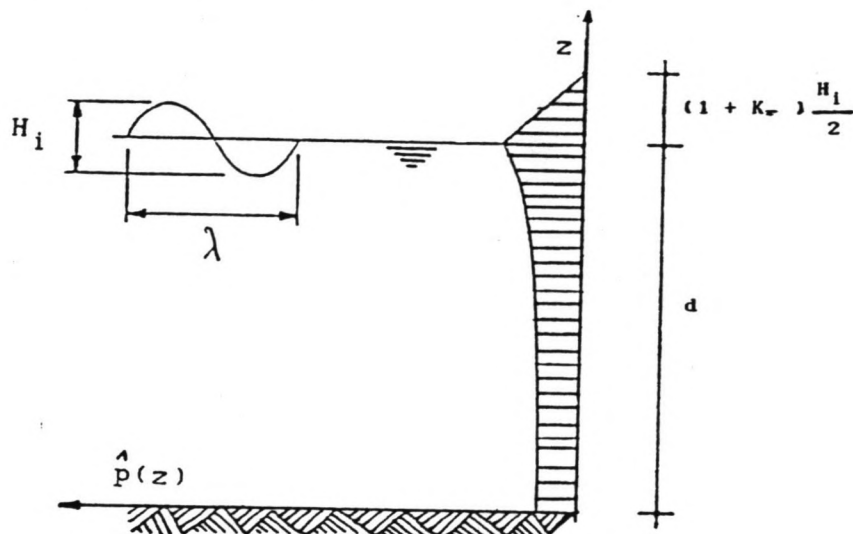


Fig. 4.7 Drukamplitude inkomende golven

De maximale kracht is nu te berekenen door integratie van de drukamplitude.

Indien de waterstand groter is als de deurhoogte, dan wordt geïntegreerd tussen de bodem en de sluisdeurhoogte.

Dit levert :

$$\hat{F} = \int_0^{h'} \hat{p}(z) dz$$

met  $h' = \min(\text{deurh.}, H_1 * (1 + K_r) / 2)$

Deze integraal bestaat uit een deel onder de gemiddelde waterstand (SWL) :

$$\hat{F} = \int_0^{z'} \hat{p}(z) dz$$

met  $z' = \min(\text{SWL}, \text{deurh.})$

$$\text{zodat } \hat{F} = \rho g * \frac{H_1}{2k} * \frac{\cosh(kz)}{\cosh(kd)}$$

en als het SWL hoger is dan de sluisdeur eveneens een deel boven het SWL :

$$\hat{F} = \int_{\text{SWL}}^{z''} \hat{p}(z) dz$$

$$\text{met } z'' = \min(\text{deurh.}, H_1 * (1 + K_r) / 2)$$

$$\text{zodat } \hat{F} = \rho * g * \frac{(z-d)}{2} * H_1 * (1 + K_r) + d - z$$

De reflectiecoëfficiënt is afhankelijk van de hoogte van de sluisdeur ten opzichte van de buitenwaterstand.

Experimenteel zijn hiervoor in [lit. 14] waarden gevonden als functie van  $2\pi d/L$ . (zie fig. 4.8).

Blijkens deze grafiek is de reflectiecoëfficiënt maximaal voor  $2\pi d/L = 1$ . Voor de haven van IJmuiden onder SVS-omstandigheden bedraagt deze factor ongeveer :

$$2 * \pi * 20.5 / 130 = 0.95$$

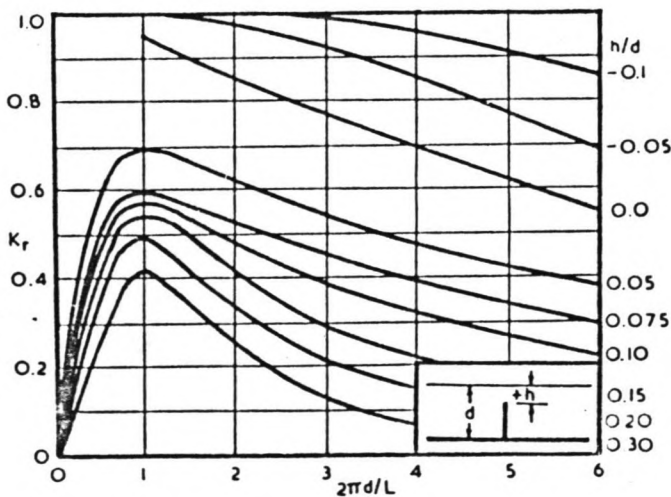


Fig. 4.8 Reflectiecoëfficiënt als functie van  $2\pi d/L$

Derhalve is de grafiek omgewerkt naar  $K_r$  als functie van  $h/d$  voor  $2\pi d/L = 1$ . (zie fig. 4.9).

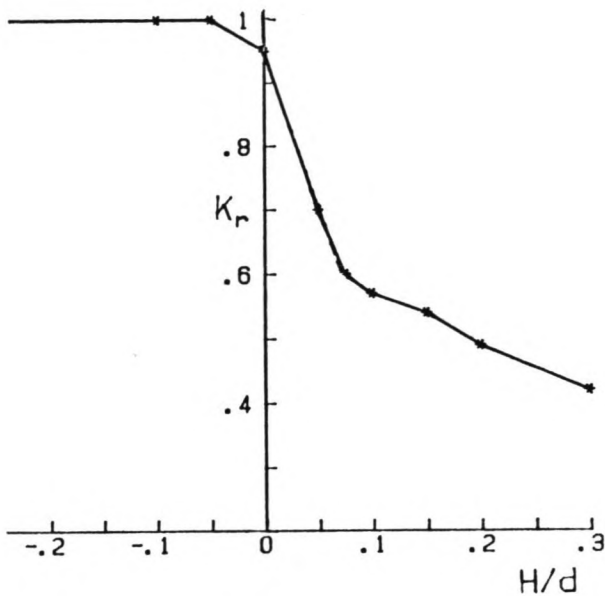


Fig. 4.9 Reflectiecoëfficiënt als functie van h/d

De reflectiecoëfficiënt kan nu met drie lineaire functies beschreven worden, te weten :

$$\begin{aligned}
 h/d < -0.0079 & : K_r = 1 \\
 -0.0079 < h/d < 0.0524 & : K_r = -5.0 * h/d + 0.95 \\
 0.0524 < h/d & : K_r = -0.8 * h/d + 0.66
 \end{aligned}$$

Voor het AFDA-programma dient de functie echter differentieerbaar te zijn. Dit kan ondervangen worden door de functies te vermenigvuldigen met een functie van de vorm :

$$\epsilon(x) = \frac{1}{\pi} \arctan(Fx) + 0.5$$

waarin F een steilheidsparameter. Gebruik van deze functie geeft :

$$\begin{aligned}
 K_r = & \epsilon(h/d+7.9 E-3) & + \\
 & \epsilon(h/d-5.24E-2) \epsilon(-7.9E-3-h/d)*(-5.0*h/d + 0.95) + \\
 & \epsilon(5.24E-2-h/d)*(-0.8*h/d + 0.66)
 \end{aligned}$$

De fout door modellering wordt verdisconteerd door bij deze relatie een term  $F_{K_r}$  op te tellen. Deze  $F_{K_r}$  wordt normaal verdeeld aangenomen met gemiddelde van 0 en een standaard afwijking van 0.10.

Fig. 4.10 geeft de gebruikte relatie weer. Voor F is hier 75 genomen. Voor te grote waarden van h/d zal de relatie niet gebruikt kunnen worden. Een factor h/d groter dan 0.3 treedt echter pas op bij waterstand voor de sluis van hoger dan 6.20 m. + N.A.P. zodat hiermee geen rekening behoeft te worden gehouden.

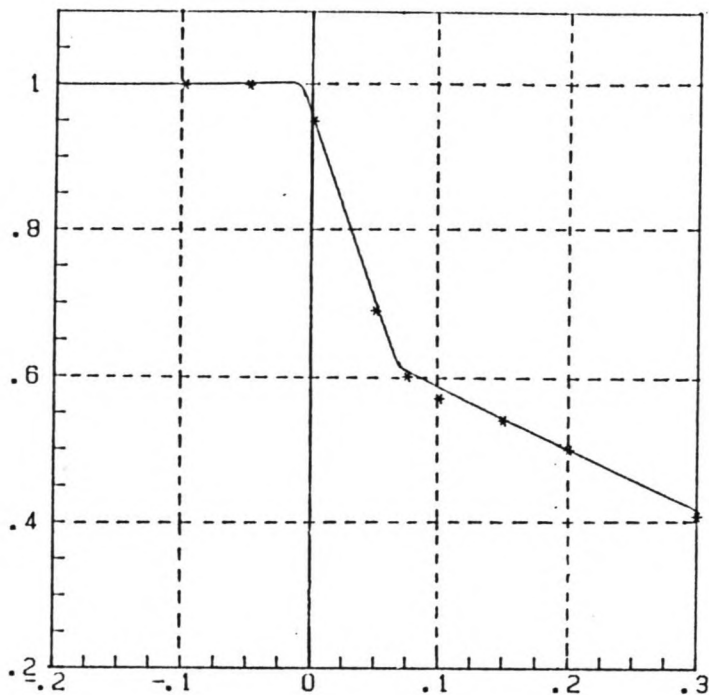


Fig. 4.10 Relatie reflectiecoëfficiënt - h/d

#### 4.3.5 - Individuele golfbelasting.

Uitgaande van een significante golfbelasting  $WL_s$  t.g.v een significante golfhoogte  $H_s$ , kan de kans op overschrijding hiervan beschreven worden met een zogenaamde Rayleigh-verdeling [lit 12 ] volgens :

$$F(WL > WL^*) = e^{-2 (WL^*/WL_s)^2}$$

met  $WL^*$  = golfkracht met bepaalde kans van overschrijding.  
 $WL_s$  = significante golfkracht.

Deze kans op overschrijding geldt per golf. Indien in een kritieke periode nu  $N$  golven voorkomen dan geldt voor de kans op overschrijding van het maximum :

$$F(WL_e > WL^*) = 1 - (1 - e^{-2 (WL^*/WL_s)^2})^N$$

met  $WL_e$  = extreme golfkracht met bepaalde kans van overschrijding.

Voor grote  $N$  kan dit omgewerkt worden tot :

$$F(WL_e > WL^*) = 1 - e^{-2 (WL^*/WL_s)^2 + \ln(N)}$$

We kunnen nu aannemen dat in een kritieke periode ongeveer 1000 golven voorkomen, overeenkomend met een gemiddelde golfperiode van 10 seconden en een tijdsduur van  $\pm 3$  uur .

De verdelingsfunctie wordt nu :

$$F(WL_e > WL^*) = 1 - e^{-e^{-2 (WL^*/WL_s)^2 + 6.91}}$$

Bij variërende  $WL_s$  kan dit ook onafhankelijk van  $WL$  geschreven worden als :

$$F(R_e > R^*) = 1 - e^{-e^{-2 (R^*)^2 + 6.91}}$$

met  $R^* = WL^*/WL_s$   
 $R_e = WL_e/WL_s$

Voor de extreme golfbelasting volgt hieruit:

$$WL_e = R_e * WL_s$$

met  $WL_e$  = extreme golfkracht met bepaalde kans van overschrijding.  
 $R_e$  = extreme ratio  $WL_e/WL_s$  met bepaalde kans op overschrijding.  
 $WL_s$  = significante golfkracht.

#### 4.3.6 - Spectrale benadering van de golfkracht

##### 4.3.6.1 - Spectrale benadering.

In eerste instantie is de golfbelasting bepaald aan de hand van de significante golfhoogte  $H_s$  met bijbehorende steilheid.

Echter de potentiële golfenergie is niet geconcentreerd in die significante golfhoogte en piekperiode, doch is verdeeld over een spectrum. Golven met een kleinere lengte - dus hogere frequentie - zullen een geringere bijdrage leveren aan de belasting dan golven met de piekperiode.

Van dergelijke spectra zijn metingen bekend bij Uiter-ton en Forteiland. Zie fig. 4.11a en 4.11b

Uit deze figuren is af te leiden dat bij het binnenkomen van de haven de piekfrequentie gelijk blijft. De hoogte van de piek is echter afgenomen. Ook is een tweede piek te zien. Deze is te verklaren uit windopzet in de buitenhaven. (zie ook par. 3.8) De metingen zijn verricht bij westelijke wind ; windkracht 8. De havendammen staan dan nog niet onder water.

Men kan uit het spectrum de significante golfhoogte berekenen met :

$$H_s = 4 \sqrt{m_0}$$

waarin :  $m_n = \int_0^{\infty} f^n E_{\eta\eta}(f) df$  ,  $n = 0,1,2,\dots$

$$\Rightarrow m_0 = \int_0^{\infty} E_{\eta\eta}(f) df = \text{oppervlakte van het spectrum}$$

Via een overdrachtsfunctie is uit dit potentiële golfenergie-dichtheidsspectrum het belastingsspectrum te bepalen. Omdat de overdracht van golfenergie naar golfbelasting een lineair proces dient te zijn, moet deze overdrachtsfunctie berekend worden met de lineaire golftheorie (zie hiervoor par 4.3.4). Hierbij wordt de belasting uitgerekend van een eenheidsgolf van 1 meter hoogte als functie van de frequentie.

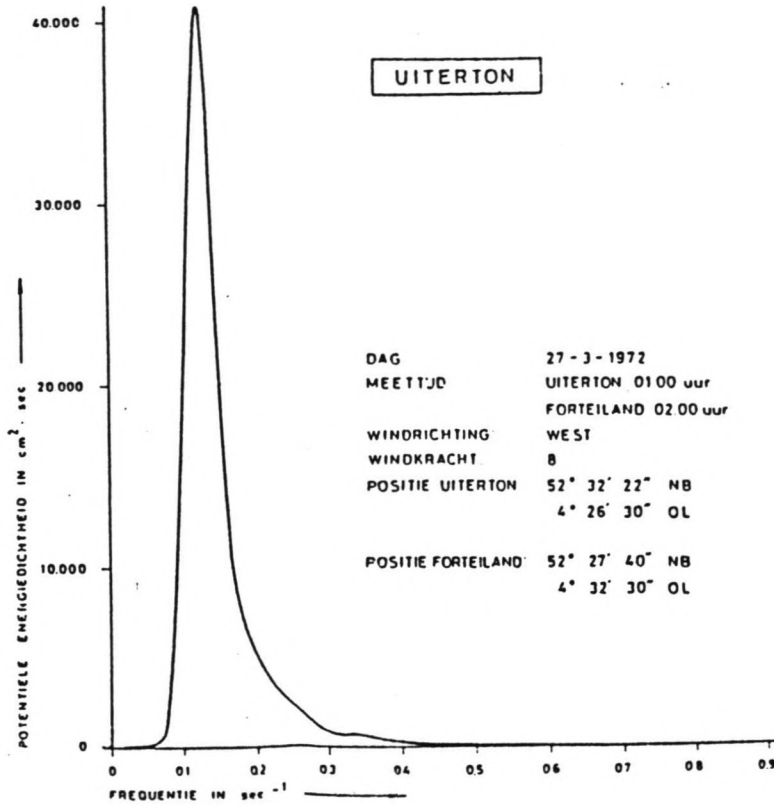


Fig. 4.11a  
Spectrum gemeten  
bij Uiterton

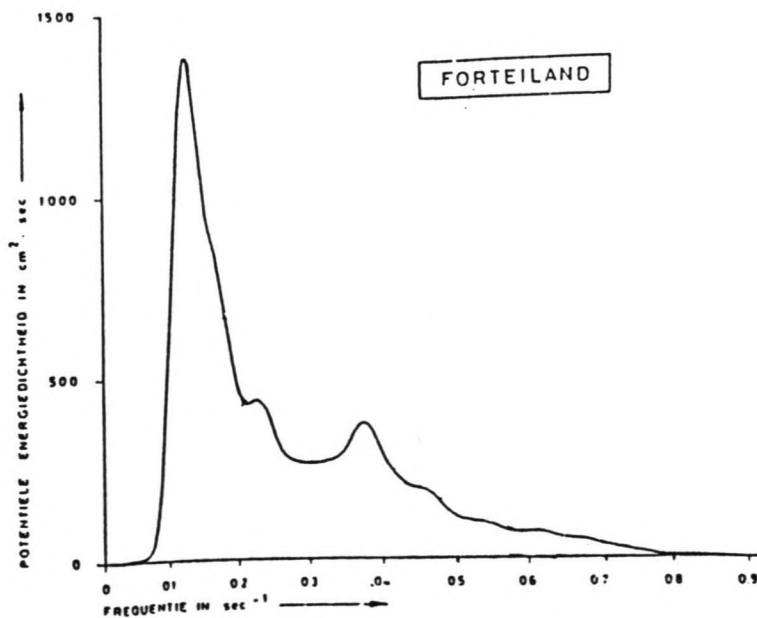


Fig. 4.11b  
Spectrum gemeten  
bij Forteiland

Voor het golfbelastingsspectrum geldt :

$$S_{FF}(f) = O_{FH}(f)^2 * S_{HH}(f)$$

Onderstaande figuren 4.12a t/m c geven hiervan een grafische voorstelling.

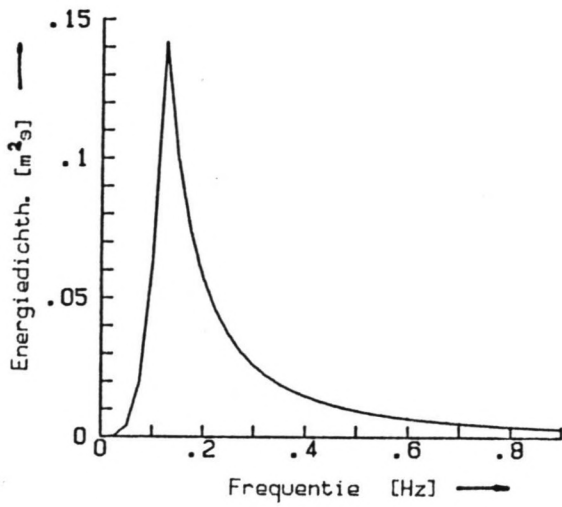


Fig. 4.12a  
 $S_{FF}(f)$

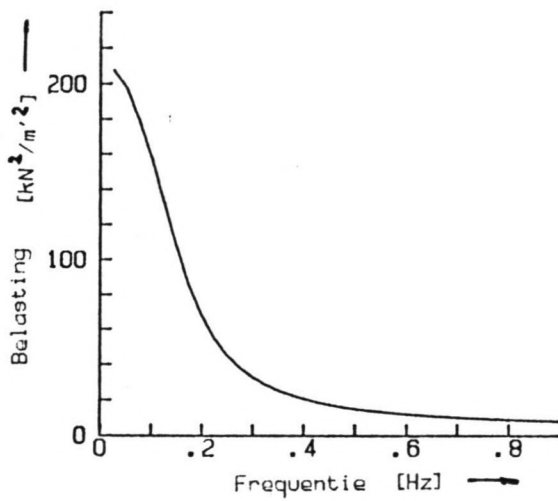


Fig. 4.12b  
 $O_{FH}(f)^2$

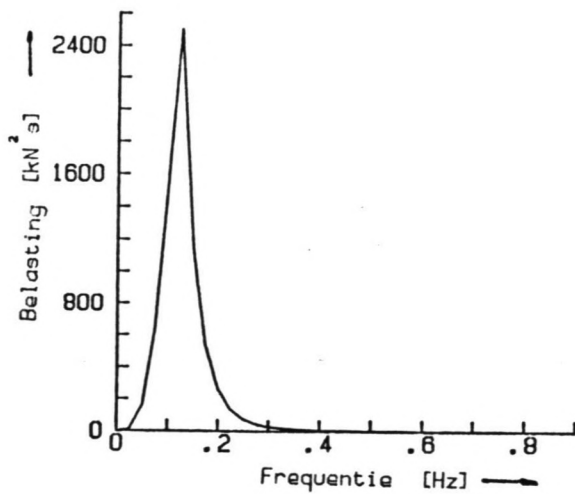


Fig. 4.12c  
 $S_{HH}(f)$

Hieruit kan de significante golfbelasting  $F_s$  berekend worden volgens :

$$F_s = \sqrt{m_0}$$

Middels vermenigvuldiging met de Rayleigh-extreme waarde coëfficiënt kan uit de significante golfkracht de extreme golfkracht berekend worden :

$$F_e = R_e * F_s$$

(zie voor deze coëfficiënt ook paragraaf 4.3.5).

#### 4.3.6.2 - Benadering van het spectrum.

Voorhanden zijn twee spectra te weten een bij Forteiland en een bij Uiterton. Omdat de havendammen onder water staan en de windrichting westelijk is in plaats van de maatgevend noordwesten wind, kan voor het spectrum bij de Noordersluis niet zonder meer gebruik worden gemaakt van het spectrum gevonden bij Forteiland.

Bij Uiterton zijn de golven nog ongestoord. De golfenergie is hier dus vrij geconcentreerd in de piekfrequentie. Bij de Noordersluis zullen de golven wel verstoord zijn, doordat ze over de havendam gekomen zijn en door reflectie en diffractie in de binnenhaven. Hierdoor zullen hogere harmonischen gegenereerd worden, zodat het golfenergiespectrum bij de Noordersluis minder naaldvormig zal zijn dan het spectrum bij Uiterton. Hamer & Hamer [lit 6] geven een indicatie voor deze hogere harmonischen bij het passeren van de havendam. Een globale bewerking van het spectrum bij Uiterton volgens deze indicatie geeft een spectrum met een vorm die sterk lijkt op het spectrum gevonden bij Forteiland. De tweede piek is nu echter het gevolg van de overslag over de dam ! (zie bijlage C).

Verwacht kan worden dat het spectrum bij de Noordersluis ongeveer de vorm heeft van het spectrum bij Forteiland, temeer daar de afstand van Forteiland tot de Noordersluis ongeveer gelijk is aan de afstand van de Zuiderpier tot Forteiland. Daar de strijklengte bij noordwestelijke wind gering is (zie par 3.8), zal geen extra piekvorming optreden. Ter vereenvoudiging wordt de tweede piek niet verwerkt in het benaderende spectrum.

Het weglaten van deze tweede piek zal een hogere significante belasting geven, omdat de energie nu meer geconcentreerd wordt in de piekfrequentie en de hogere frequenties een lagere belasting op de deur veroorzaken. Bovendien is de bijdrage van de tweede piek aan de belasting gering. Zoals uit de overdrachtsfunctie geconcludeerd kan worden (zie hierboven) is de bijdrage van frequenties boven  $\pm 0.2$  Hz te verwaarlozen.

Zie hiervoor ook figuur 4.12b.

1) Voor  $f > f_p$  :

Gezocht is naar een vergelijking in de vorm :

$$y = a x^b$$

Door fitting is gevonden :

$$S_{HH}(f) = \tau * f^{-2.5}$$



2) Voor  $0 < f < f_p$  :

Gezocht wordt weer naar een vergelijking in de vorm van :

$$y = \alpha x^{\beta}$$

Door middel van fitting wordt gevonden :

$$S_{HH}(f) = \tau' * f^{3.85}$$

Daar de functiewaarde in  $f_p$  links en rechts gelijk dienen te zijn, en de functie met 1 parameter te kunnen beschrijven wordt voor  $\tau'$  gesubstitueerd :

$$\tau' = \tau * f_p$$

Om de gevoeligheid van de significante belasting voor de vorm van het spectrum na te gaan is ook de belasting bepaald voor spectrumvormen als bij Uiterton en Forteiland. De linkerflank van het spectrum kan steeds door dezelfde vergelijking beschreven worden. Voor de rechterflank gelden de volgende vergelijkingen (gevonden door fitting) :

Uiterton :  $S_{HH}(f) = \tau * f^{-4.5}$

Forteiland :  $S_{HH}(f) = \tau * f^{-1.85}$

Met behulp van het programma wordt bij dezelfde piekfrequentie ( $f_p = 0.124$  Hz ) en significante golfhoogte ( $H_s = 0.57$  m. ) de significante belasting ten gevolge van het spectrum berekend :

Spectrum volgens :	$F_s$ [kN/m']
Uiterton	74.3
Forteiland	54.3
Noordersluis	60.6

Indien een naaldvormig spectrum wordt genomen (alle energie geconcentreerd in  $f_p$ ) is de golfbelasting voor dezelfde  $H_s$  volgens de lineaire golftheorie :

$$F_s = 77.4 \text{ kN/m'}$$

Geconcludeerd kan worden dat de belasting vrij gevoelig is voor de vorm van het spectrum. Door de gehanteerde spectrumvorm aan beide gegeven spectra te relateren wordt een reeele tot veilige benadering van de significante belasting verkregen.

In figuur 4.13 wordt zowel te verwachten spectrum bij de Noordersluis als het benaderende spectrum gepresenteerd.

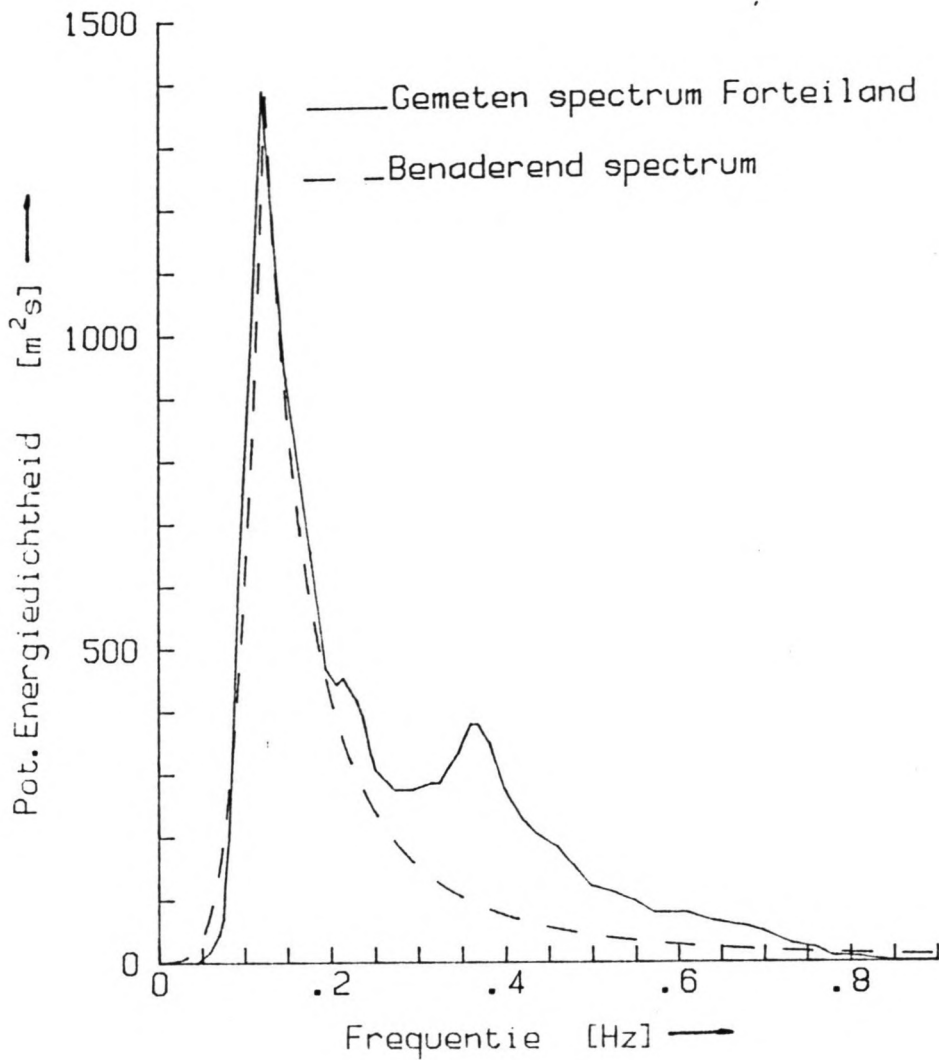


Fig. 4.13 Gemeten spectrum en benaderend spectrum.

#### 4.3.6.3 - Gebruik in het model.

Gegeven is de significante golfhogte. Deze is berekend via

$$H_s = \sqrt{3.45 * HW - 7.67} + 5.00 \quad (\text{zie 3.6})$$

De piekfrequentie wordt berekend uit de golfsteilheid op diep water (zie 4.3.1).

Metingen hebben aangetoond dat de vorm van het spectrum vrijwel onafhankelijk is van het stadium van het groeiproces van het spectrum [Lit.18]. Door deze betrekkelijke invariantie kan voor verschillende significante golfhogte en piekperiode dezelfde vorm van het spectrum gebruikt worden als hierboven is afgeleid.

De parameter  $\gamma$  van het spectrum wordt nu berekend via de relatie tussen  $m_0$  en  $H_s$ . (zie bijlage C).

#### 4.4 BELASTINGSDIAGRAM

De totale belasting op de deur wordt gevormd door de statische belasting als gevolg van het verval en de dynamische belasting ten gevolge van de golven. Blijkens fig 4.12c is de belasting door hogere frequenties dan 0.4 Hz ( $t=2.5$  s) ongeveer gelijk aan 0, zodat de dynamische belasting quasistatisch beschouwd kan worden. Door bovenstaande bijdragen bij elkaar op te tellen volgt het volgende belastingsdiagram :

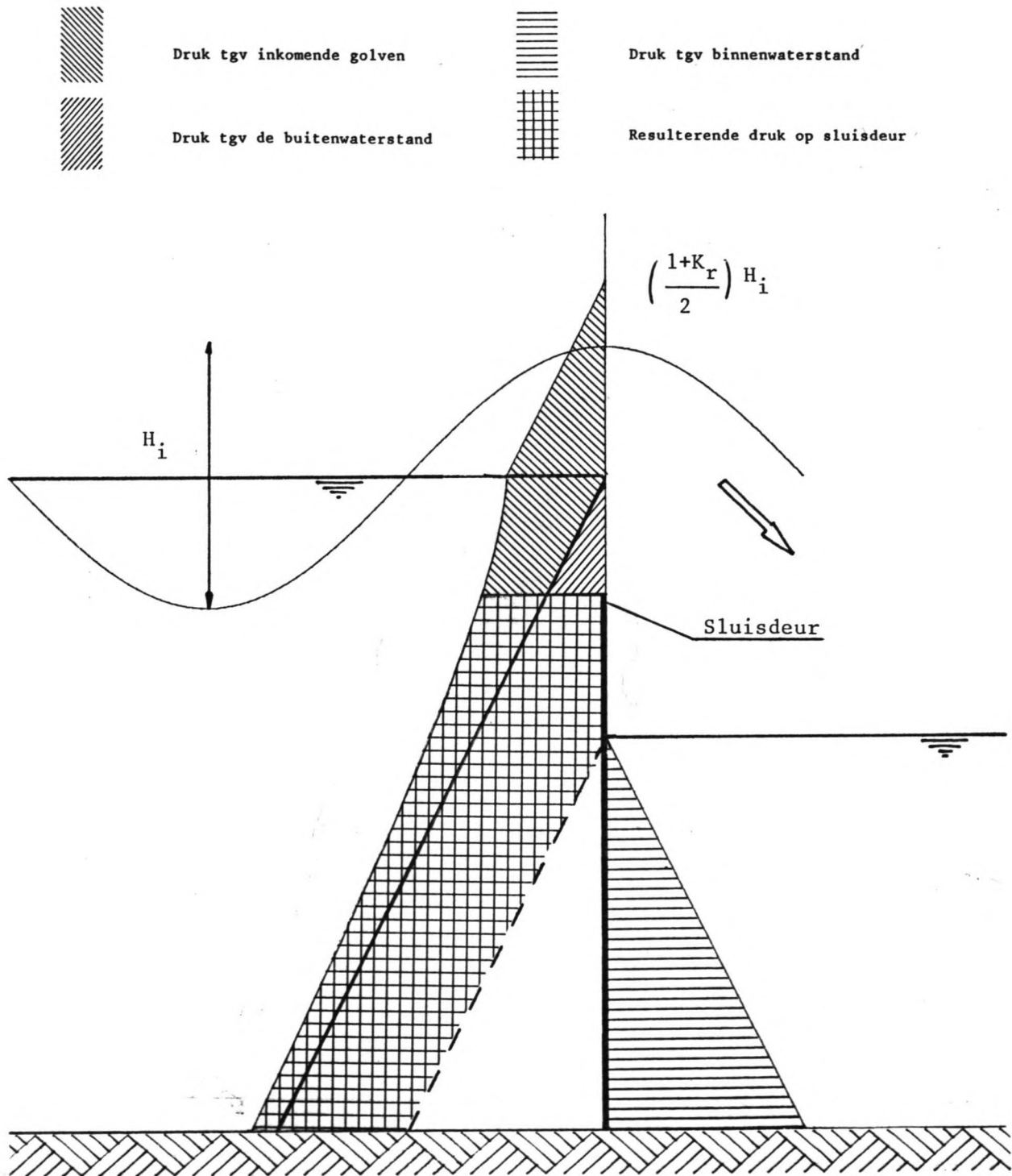


Fig. 4.14 Belastingsdiagram



## 5 MODEL

### 5.1 MODELOPZET

Op onderstaande wijze wordt aan de hand van het bovenstaande de belasting op de sluisdeur berekend :

BEREKEN HOOGWATERSTAND BUITEN : HW := SVS + ZeesSt + Buiosc
BEREKEN SIGNIFICANTE ZEEGOLFHOOGTE : Hs := Sqrt (3.45*SVS - 7.67) + 5.0 + F_Hs
BEREKEN PIEKPERIODE : Periode ( Hs, steilheid, Tp )
BEREKEN SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE BINNEN DE DAM : H_uit := -0.69*(H_kruin-HW)*sqrt(Hs*2*pi) /(Tp*sqrt(g)*1/talhel)+0.58*Hs ;
BEREKEN HALING : Haling := Buiosc * Opsling_f
BEREKEN STILWATERNIVO VOOR SLUISDEUR BINNEN : HW := SVS + ZeesSt + Haling
BEREKEN GOLFHOOGTE VOOR SLUISDEUR : H_sluis := Diffrac * (H_uit * F_Hamer)
BEREKEN VERVALKRACHT : F_Verval ( HW, Biws, Fverval )
BEREKEN REFLECTIECOEFFICIENT : Alfa ( HW, Refl ) Refl := Refl + F_Alfa
BEREKEN HET SPECTRUM : Spectrum ( H_sluis, Tp, HW, Refl, Fgolf )
BEREKEN EXTREME GOLFKRACHT : Fextr := RaylExtr * Fgolf
BEREKEN TOTALE KRACHT : Ftotaal := ( Fverval + Fextr )

De betrouwbaarheidsfunctie Z kan gedefinieerd worden als :

$$Z = R - S$$

met R = Sterkte van de deur  
S = Belasting op de deur

De grenstoestand falen/niet-falen treedt op voor  $Z=0$ .  
Met behulp van het AFDA-programma kan de faalkans berekend worden als  $P(Z<0)$ .  
Naast de faalkans wordt eveneens het ontwerppunt berekend. Dit is de combinatie van variabelen die leiden tot falen van de constructie met de grootste kans van voorkomen.

Een listing van zowel het AFDA-programma als de gebruikte betrouwbaarheidsfunctie is opgenomen in bijlage E van dit rapport.  
Voor achtergronden van het AFDA-programma wordt verwezen naar Lit.[2].

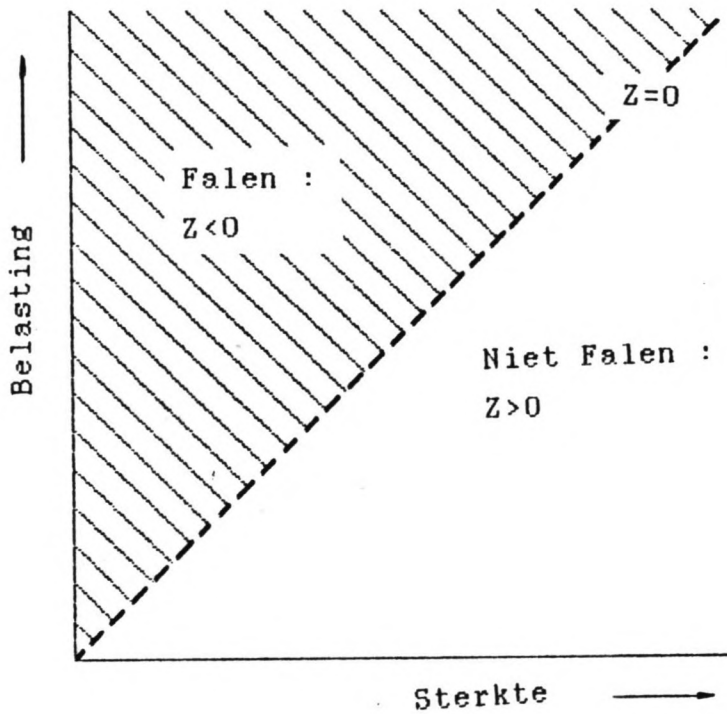


Fig. 5.0 Gebieden van de betrouwbaarheidsfunctie Z

## 5.2 BEPERKINGEN VAN HET MODEL

De in het AFDA-programma geïncorporeerde betrouwbaarheidsfunctie is in huidige vorm slechts betrouwbaar te gebruiken voor overschrijdingskansen op het interval  $1.0E-2/\text{jaar} - 1.0E-6/\text{jaar}$ .

Dit in verband met de gebruikte relaties (SVS-Hs, spectrum) en de gekozen modellering (opslingerfactor, reflectiecoëfficiënt). Bovendien zullen bij geringere overschrijdingskansen extra factoren een rol gaan spelen zoals het debiet over de deur en golven in de sluiscolk.

Bovendien zal het programma bij kleinere faalkansen gevoeliger worden voor instabiliteit. Dit kan veroorzaakt worden door te grote afgeleiden van de Z-functie naar een variabele of door discontinuïteiten in de Z\_functie. Het rekenproces zal hierdoor gaan oscilleren. Eventueel kan demping worden toegepast, voor het nieuwe ontwerppunt :  $X_n = \alpha X_n + (1-\alpha) X_{n-1}$ . Hierdoor kunnen de stappen echter zo klein worden dat schijnconvergentie optreedt. De resultaten lijken dan betrouwbaarder dan ze in werkelijkheid zijn !. Figuur 5.1 geeft een voorbeeld van schijnconvergentie voor de gebruikte Z\_functie voor kleine waarden van de faalkans. In verband hiermee verdient het aanbeveling het programma niet te gebruiken voor faalkansen kleiner dan ongeveer  $1.0E-5$ .

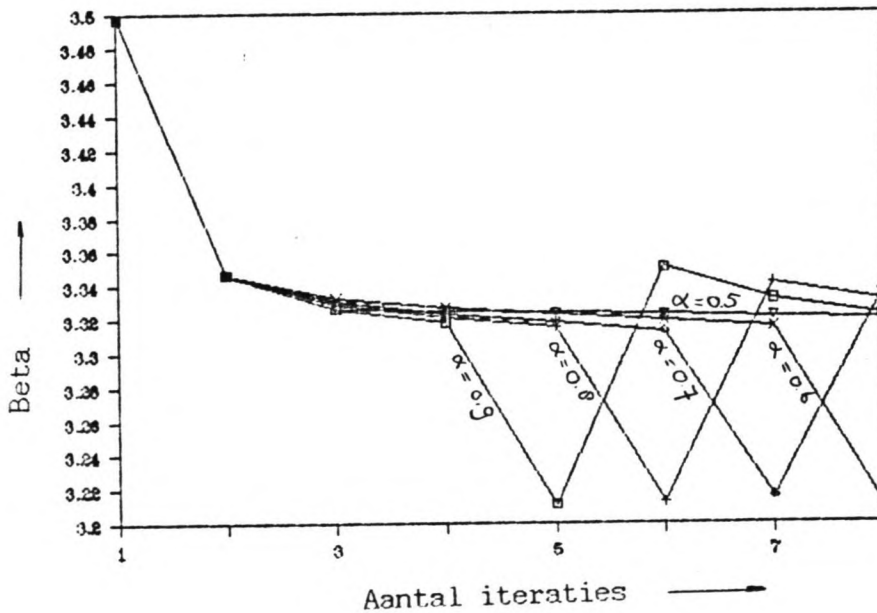


Fig. 5.1 Instabiliteit van het rekenproces voor verschillende waarden van dempingscoëfficiënt  $\alpha$

### 5.3 INITIELE WAARDEN

Resumerend zijn voor de verschillende verdelingen de volgende initiële waarden genomen:

Tabel 5.1 Initiële waarden

Variabele	Type	A	B	C	Mu	Sigma
SVS	G	2.15	0.326	0	4.00	0.33
FHs	N	0	0	0	0.00	0.69
Steilheid	N	0	0	0	0.037	0.013
buiosc	N	0	0	0	0.25	0.05
F_hamer	N	0	0	0	1.00	0.15
diffrac	N	0	0	0	0.10	0.05
Biws	N	0	0	0	3.50	0.25
opsling_f	N	0	0	0	2.00	2.00
RaylExtr	R	3.45	0.5	0	1.50	0.75
Zeesp.St	N	0	0	0	0.10	0.025
F_alfa	N	0	0	0	0.00	0.10

Type : Het type verdeling : N = Normale verdeling  
 E = Extreme waarde verdeling  
 G = Gumbel verdeling  
 W = Weibull verdeling  
 R = Rayleigh verdeling  
 U = Uniforme verdeling  
 L = Lognormale verdeling.

A,B,C : Parameters van de betreffende verdeling

Mu,S : Van de normale verdeling de verwachtingswaarde en standaardafwijking.  
 Van de overige verdelingen de verwachtingswaarde en standaardafwijking van de benaderende normale verdeling.

## 6 RESULTATEN

### 6.1 BEREKENINGSRESULTATEN

De berekening is uitgevoerd voor twee deurhoogtes namelijk NAP + 5.15 m. en NAP + 5.70 m. Onderstaand de belastingoverschrijdingslijnen en de computeruitdraaien voor de twee  $1.0E-4$  belastingen, voor beide deurhoogten.

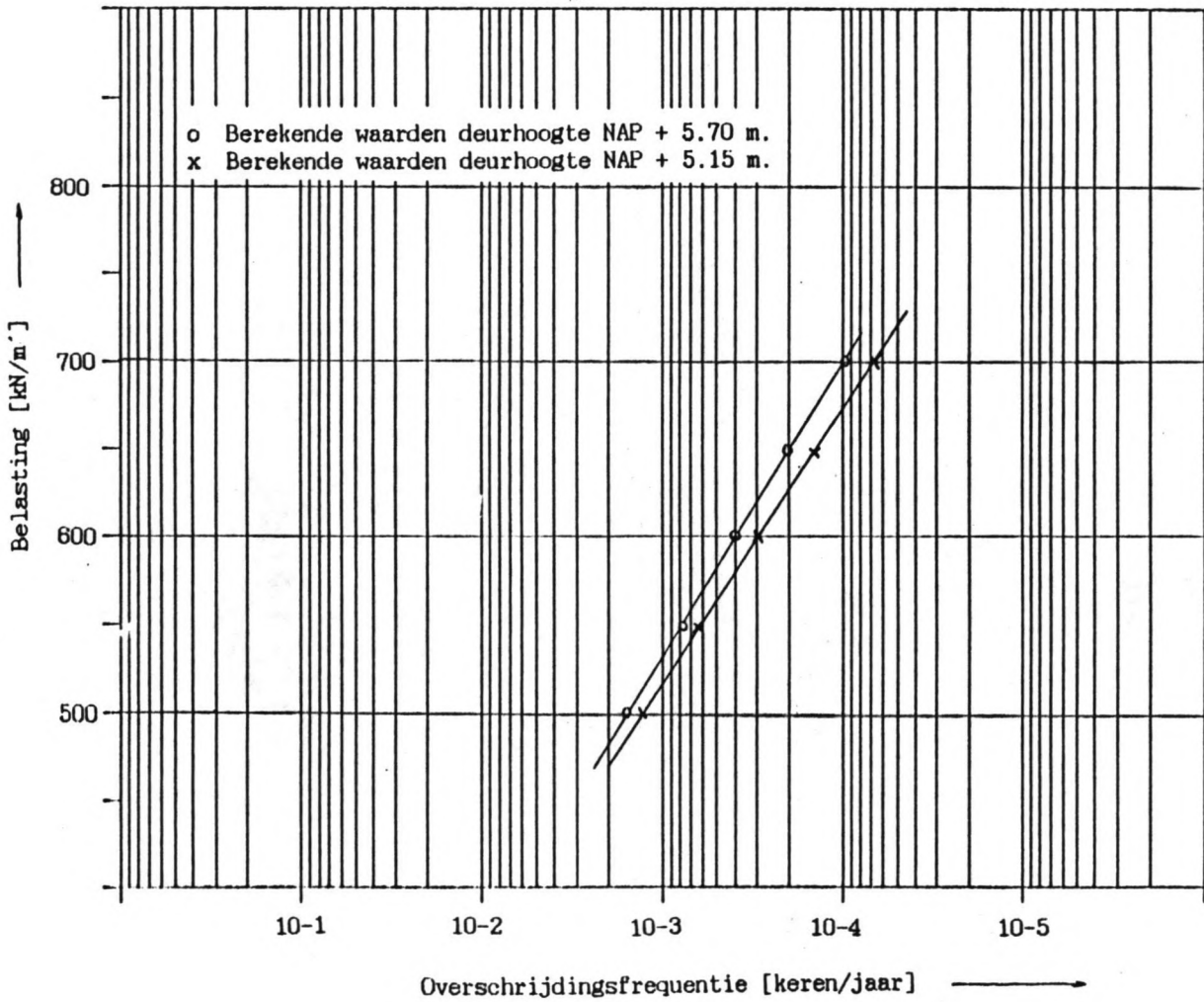


Fig. 6.1 Belastingoverschrijdingslijn voor de buitenste sluisdeur



FAALKANS SLUISDEUR YMUIDEN

Datum : 13/ 1/ 1988

R = 672.00  
 Beta = 3.719  
 Faalkans = 1.001E-04

NAAM	TYPE	A	B	C	MU	S	X	Alfa <sup>2</sup>	Eps
SVS	G	2.150	0.326	0.000	0.901	1.132	4.527	0.742	-0.355
FHs	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.690	0.186	0.005	-0.002
Steilheid	N	0.000	0.000	0.000	0.036	0.005	0.035	0.002	0.027
buiosc	N	0.000	0.000	0.000	0.250	0.050	0.280	0.026	-0.092
F_hamer	N	0.000	0.000	0.000	1.000	0.150	1.047	0.007	-0.061
diffrac	N	0.000	0.000	0.000	0.100	0.050	0.140	0.045	-0.061
Biws	N	0.000	0.000	0.000	3.500	0.250	3.337	0.031	0.241
opsling_f	N	0.000	0.000	0.000	2.000	2.000	4.771	0.139	-0.092
RaylExtr	R	3.450	0.500	0.000	1.905	0.159	1.934	0.002	-0.061
Zeesp.St	N	0.000	0.000	0.000	0.100	0.025	0.102	0.000	-0.007
F_alfa	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.013	0.001	-0.000

Aantal iteraties = 5

Rekenduur = 222.28 s.

Relevante waarden :

Hoogte kerende wand	:	5.15
Golfhoogte (Hs)	:	8.06
periode	:	12.12
Golfhoogte na dam	:	4.91
Golfhoogte bij sluis	:	0.72
Waterstand bij sluis	:	5.96
Haling	:	1.33
Reflectiecoefficient	:	0.74
Kracht door verval	:	515.63
door sign. golf	:	80.85
door extr. golf	:	156.37

FAALKANS SLUISDEUR YMUIDEN

Datum : 13/ 1/ 1988

R = 696.00  
 Beta = 3.717  
 Faalkans = 1.008E-04

NAAM	TYPE	A	B	C	MU	S	X	Alfa <sup>2</sup>	Eps
SVS	G	2.150	0.326	0.000	0.925	1.125	4.501	0.732	-0.343
FHs	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.690	0.223	0.008	-0.003
Steilheid	N	0.000	0.000	0.000	0.036	0.005	0.035	0.003	0.032
buiosc	N	0.000	0.000	0.000	0.250	0.050	0.278	0.023	-0.085
F_hamer	N	0.000	0.000	0.000	1.000	0.150	1.056	0.010	-0.071
diffrac	N	0.000	0.000	0.000	0.100	0.050	0.146	0.060	-0.071
Biws	N	0.000	0.000	0.000	3.500	0.250	3.339	0.030	0.232
opsling_f	N	0.000	0.000	0.000	2.000	2.000	4.673	0.129	-0.084
RaylExtr	R	3.450	0.500	0.000	1.905	0.160	1.940	0.003	-0.071
Zeesp.St	N	0.000	0.000	0.000	0.100	0.025	0.102	0.000	-0.007
F_alfa	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.014	0.001	-0.001

Aantal iteraties = 6

Rekenduur = 265.02 s.

Relevante waarden :

Hoogte kerende wand	:	5.70
Golfhoogte (Hs)	:	8.08
periode	:	12.17
Golfhoogte na dam	:	4.91
Golfhoogte bij sluis	:	0.76
Waterstand bij sluis	:	5.90
Haling	:	1.30
Reflectiecoefficient	:	0.92
Kracht door verval	:	505.81
door sign. golf	:	98.03
door extr. golf	:	190.19

Toelichting op computeruitdraai.

R : Belasting met bepaalde overschrijdingskans.

Beta : Betrouwbaarheidsindex voor normale verdeling :

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}$$

Type : Het type verdeling : N = Normale verdeling  
E = Extreme waarde verdeling  
G = Gumbel verdeling  
W = Weibull verdeling  
R = Rayleigh verdeling  
U = Uniforme verdeling  
L = Lognormale verdeling.

A,B,C : Parameters van de betreffende verdeling

Mu,S : Van de normale verdeling de verwachtingswaarde en standaardafwijking.  
Van de overige verdelingen de verwachtingswaarde en standaardafwijking  
van de benaderende normale verdeling.

X : Ontwerppunt.

Alfa2 : Bijdrage van de standaard afwijking van de variabele  
in de standaardafwijking van de betrouwbaarheidsfunc-  
tie. Gedefinieerd als :

$$\alpha_1^2 = \frac{\left( \frac{\partial Z}{\partial X_1} \cdot \sigma_{X_1} \right)^2}{\left\{ \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial Z}{\partial X_j} \right)^2 \cdot \sigma_{X_j}^2 \right\}}$$

Eps : Genormaliseerde bijdrage van de variabele aan het ontwerppunt :

$$\epsilon = \frac{\partial Z}{\partial X_1} X_1$$

## 6.2 DRUKDIAGRAMMEN

In de eerste plaats is de totale kracht met een overschrijdingsfrequentie van  $1.0E-4$  berekend. In onderstaande figuren is het drukverloop weergegeven voor de beide deurhoogten onder de ontwerpomstandigheden.

Op bepaalde hoogte op de deur kan de druk echter groter zijn dan onder deze omstandigheden. Met een iets gewijzigd programma is ook de druk per hoogte met overschrijdingskans van  $1.0E-4$  bepaald. De resultaten van deze berekeningen voor een deurhoogte van N.A.P + 5.15 m. en N.A.P + 5.70 m. zijn grafisch weergegeven in de figuren 6.2a en 6.2b. Het blijkt dat de  $1.0E-4$  drukken goed overeenkomen met de drukken onder de ontwerpomstandigheden.

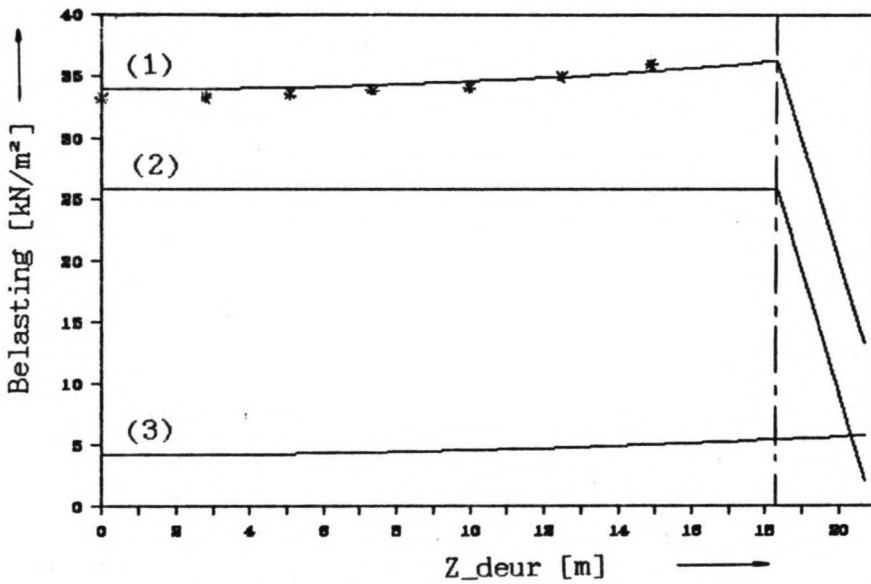


Fig. 6.2a  
Drukverloop deurhoogte  
NAP + 5.70 m.

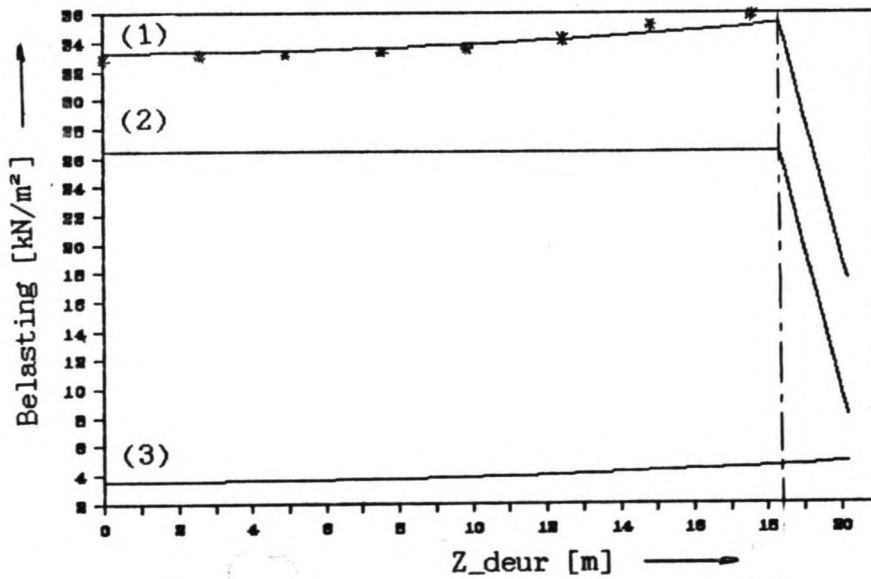


Fig. 6.2b  
Drukverloop deurhoogte  
NAP + 5.15 m.

- (1) = P\_totaal
- (2) = P\_veral
- (3) = P\_golf
- \*  $1.0E-4$  Druk
- Binnenwaterstand

$$P_{\text{totaal}} = \text{Rayleigh\_factor} * P_{\text{golf}} + P_{\text{veral}}$$

Tabel 6.1 Drukken op de sluisdeur onder ontwerpomstandigheden.

Z_deur [m]	Deurhoogte NAP + 5.15 m. [kN/m <sup>2</sup> ]			Deurhoogte NAP + 5.70 m. [kN/m <sup>2</sup> ]		
	P_stat	P_golf	P_extr	P_stat	P_golf	P_extr
0	26.4096	3.5656	33.3057	25.7889	4.1892	33.9169
0.5	26.4096	3.5663	33.3072	25.7889	4.1901	33.9186
1	26.4096	3.5685	33.3115	25.7889	4.1927	33.9237
1.5	26.4096	3.5723	33.3187	25.7889	4.197	33.9321
2	26.4096	3.5775	33.3287	25.7889	4.2031	33.9438
2.5	26.4096	3.5842	33.3417	25.7889	4.2109	33.959
3	26.4096	3.5924	33.3575	25.7889	4.2205	33.9775
3.5	26.4096	3.6021	33.3763	25.7889	4.2318	33.9994
4	26.4096	3.6133	33.3979	25.7889	4.2448	34.0247
4.5	26.4096	3.626	33.4225	25.7889	4.2596	34.0535
5	26.4096	3.6402	33.45	25.7889	4.2762	34.0856
5.5	26.4096	3.6559	33.4804	25.7889	4.2945	34.1212
6	26.4096	3.6732	33.5138	25.7889	4.3146	34.1602
6.5	26.4096	3.6919	33.5501	25.7889	4.3365	34.2027
7	26.4096	3.7123	33.5895	25.7889	4.3602	34.2486
7.5	26.4096	3.7341	33.6318	25.7889	4.3857	34.2981
8	26.4096	3.7576	33.6771	25.7889	4.413	34.351
8.5	26.4096	3.7826	33.7254	25.7889	4.4421	34.4076
9	26.4096	3.8092	33.7768	25.7889	4.4731	34.4676
9.5	26.4096	3.8373	33.8313	25.7889	4.5059	34.5313
10	26.4096	3.8671	33.8889	25.7889	4.5406	34.5986
10.5	26.4096	3.8985	33.9496	25.7889	4.5771	34.6695
11	26.4096	3.9315	34.0134	25.7889	4.6156	34.7441
11.5	26.4096	3.9661	34.0804	25.7889	4.6559	34.8224
12	26.4096	4.0024	34.1506	25.7889	4.6982	34.9045
12.5	26.4096	4.0404	34.224	25.7889	4.7425	34.9903
13	26.4096	4.08	34.3007	25.7889	4.7886	35.0799
13.5	26.4096	4.1214	34.3807	25.7889	4.8368	35.1734
14	26.4096	4.1645	34.464	25.7889	4.887	35.2707
14.5	26.4096	4.2093	34.5507	25.7889	4.9392	35.372
15	26.4096	4.2558	34.6407	25.7889	4.9934	35.4772
15.5	26.4096	4.3042	34.7342	25.7889	5.0497	35.5864
16	26.4096	4.3543	34.8312	25.7889	5.1081	35.6997
16.5	26.4096	4.4063	34.9317	25.7889	5.1686	35.8171
17	26.4096	4.46	35.0357	25.7889	5.2312	35.9386
17.5	26.4096	4.5157	35.1433	25.7889	5.2961	36.0644
18	26.4096	4.5732	35.2546	25.7889	5.363	36.1944
18.34	26.4096	4.6131	35.3317	25.7889	5.4097	36.285
18.5	24.7724	4.6327	33.7323	24.171	5.4323	34.7108
19	19.7448	4.694	28.8233	19.1434	5.5037	29.8218
19.5	14.7171	4.7573	23.9182	14.1157	5.5774	24.9372
20	9.6895	4.8227	19.0169	9.0881	5.6535	20.0571
" 20.15	8.1812	4.8426	17.5472			
" 20.5				4.0605	5.7319	15.1816
" 20.7				2.0494	5.7639	13.2326

' : Binnenwaterstand  
 " : Deurhoogte

### 6.3 VERGELIJKING MET EERDERE BESCHOUWINGEN

In 1973 en 1982 reeds de maatgevende belasting op de sluisdeur bepaald, echter niet op probabilistische wijze. Hieronder zullen de resultaten van de verschillende beschouwingen vergeleken worden.

	1973	1982	1986		
Randvoorwaarde			Ontwerppunt I	Ontwerppunt II	*)
Stormvloedstand	+5.15	+5.15	+4.500	+4.463	
Rel.bodemdaling	0.20	0.20	0.102	0.102	
Lange golf :					
- amplitude	} 0.75	0.50	0.278	0.277	
- opslingerf.		2.8	4.659	4.554	
Middell. golf	0.15	--	--	--	
Korte zeegolf	0.65	} 1.95	0.75	0.78	**)
Korte pl. golf	1.40		--	--	
Rayleigh extr.	--	--	1.939	1.945	
Totaal	8.30	8.70	7.351	7.344	***)
Binnenwaterstand tov NAP	-0.70		+3.334	+3.341	
Waterst. verschil	9.00		4.017	4.003	

\*) Verschillen in de ontwerppunten t.a.v de deurhoogte:

	Ontwerppunt I	Ontwerppunt II
Deur hoogte :	NAP + 5.15 m	NAP + 5.70 m

Wat betreft de overige factoren zijn de initiële spreidingen en gemiddelden gelijk.

\*\*\*) De korte zeegolf wordt berekend uit de stormvloedstand, de significante golfhoogte, de diffractiecoëfficiënt en modelspreidingen.

\*\*\*\*) Om tot de totale hoogte te komen is de korte golf-hoogte vermenigvuldigd met de Rayleigh-extreme waarde coëfficiënt.

## 7 CONSEQUENTIES VAN EVENTUELE MUTATIES IN DE BUITENHAVEN

De bestaande situatie in de buitenhaven van IJmuiden voldoet weliswaar aan de vereiste capaciteit voor de scheepvaart maar is niet ideaal. Schepen kunnen elkaar niet passeren en de wind maakt het moeilijk te manoeuvreren.

Een van de voornaamste oorzaken hiervan is het in de havenmonding gelegen Forteiland. Het betreft een klein eilandje met bunkers uit de tweede wereldoorlog. Gezien het beperkte nut van dit eilandje overweegt men het gedeeltelijk te verwijderen gecombineerd met inkorting van de geleide dam aan de westzijde van de Middensluis. (zie fig.7.1)

Deze mutaties zouden echter wel consequenties kunnen hebben voor de Noordersluis. Onderzocht wordt in hoeverre strijk lengtes toenemen en diffractie patronen gewijzigd worden en welke invloed dit heeft op de belastingen op de sluisen.

### - Strijk lengte

Voor de strijk lengte maakt het geen verschil of het Forteiland er is of niet. De maatgevende storm komt immers uit het noordwesten zodat de strijk lengte gelijk blijft.

### - Diffractie

De diffractie-berekening ondervindt wel gevolgen van de nieuwe vorm van het Forteiland. De fictieve bron Q2 (zie fig. 7.1) verplaatst zich. Hernieuwde berekeningen wijzen echter uit dat de diffractiecoëfficiënt vrijwel gelijk blijft zodat de mogelijke mutaties een verwaarloosbare invloed hebben op het diffractiepatroon.

Uit het voorafgaande blijkt dat gedeeltelijk verwijderen van het Forteiland geen nadelige effecten heeft voor de belasting op de sluisdeur. Anders wordt het wanneer overgegaan wordt tot gehele verwijdering van het eiland. Het binnenkomende golffront zal nu hoofdzakelijk middels reflectie de sluisdeur bereiken. Gezien het grillige verloop van de haven is het niet mogelijk daarover een uitspraak te doen. Wel staat vast dat de strijk lengtes in de haven groter worden zodat een hogere belasting t.g.v. windgolven kan worden verwacht. Geconcludeerd kan worden dat gedeeltelijke verwijdering van het Forteiland geen enkele nadelige invloed heeft op de belasting op de sluisdeur maar dat gehele verwijdering een hogere belasting tot gevolg zal hebben.

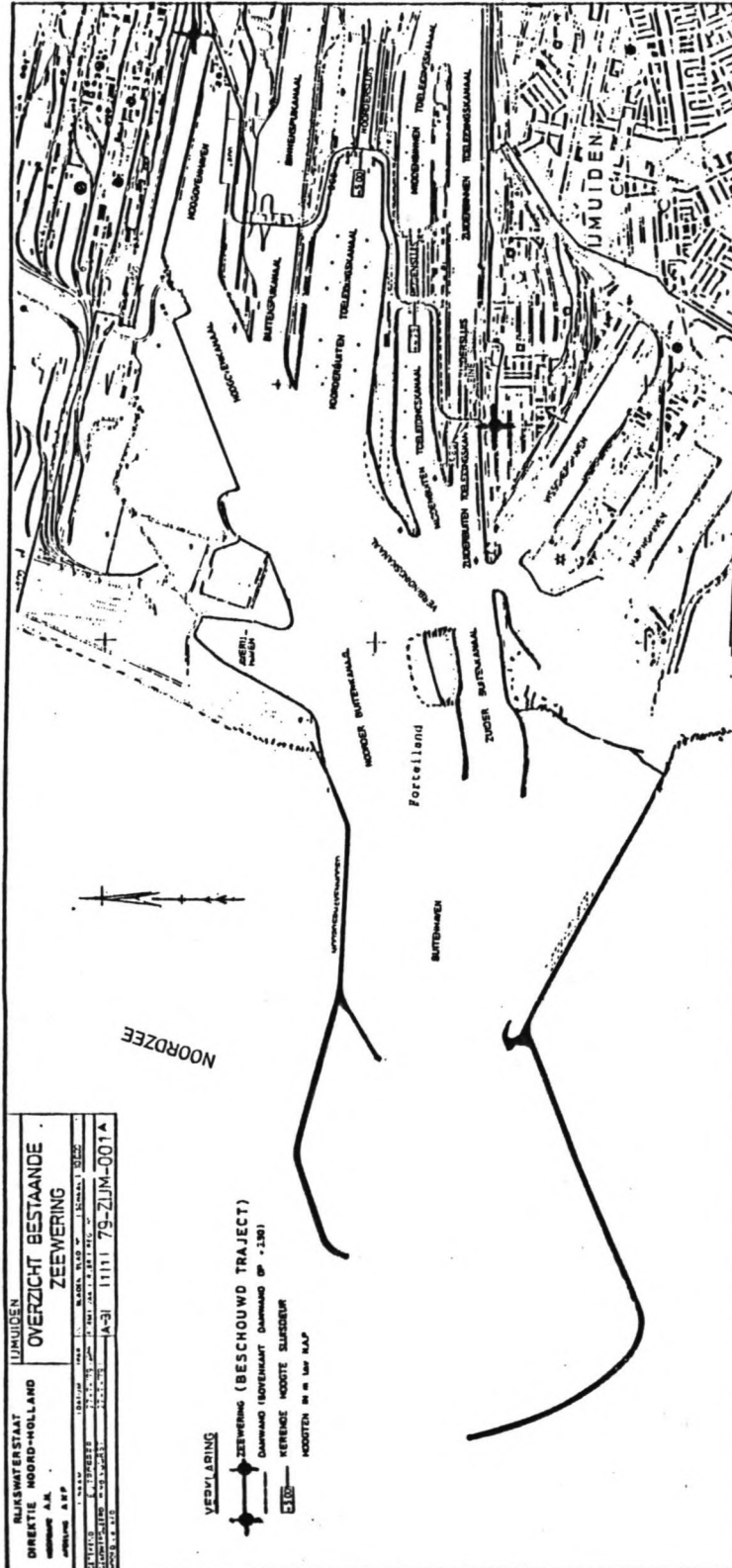


Fig. 7.1 Eventuele mutaties in de buitenhaven



## 8 CONCLUSIES

- Bij een buitendeurhoogte van NAP + 5.15 m en een binnendeurhoogte zodanig dat de waterstand in de kolk op NAP + 3.50 m ingesteld wordt, is de ontwerpbelasting op de buitendeur die met een frequentie van 1 keer per 10.000 jaar overschreden wordt : 672 kN/m'.

- Bij een buitendeurhoogte van NAP + 5.70 m bedraagt bij dezelfde binnenwaterstand ( dit is nog geen binnendeurhoogte ! ) en dezelfde frequentie de ontwerpbelasting 696 kN/m'.

- Ten behoeve van een optimalisatie van de verdeling van de belasting over de binnen- en buitendeur bij getrapt keren is ook de ontwerpbelasting bepaald bij andere binnenwaterstanden. Hierbij is alleen de verwachtingswaarde van de binnenwaterstand gewijzigd en niet de standaardafwijking in verband met de te verwachten slingeringen in de sluiskolk. Fig. 8.1 presenteert het resultaat.

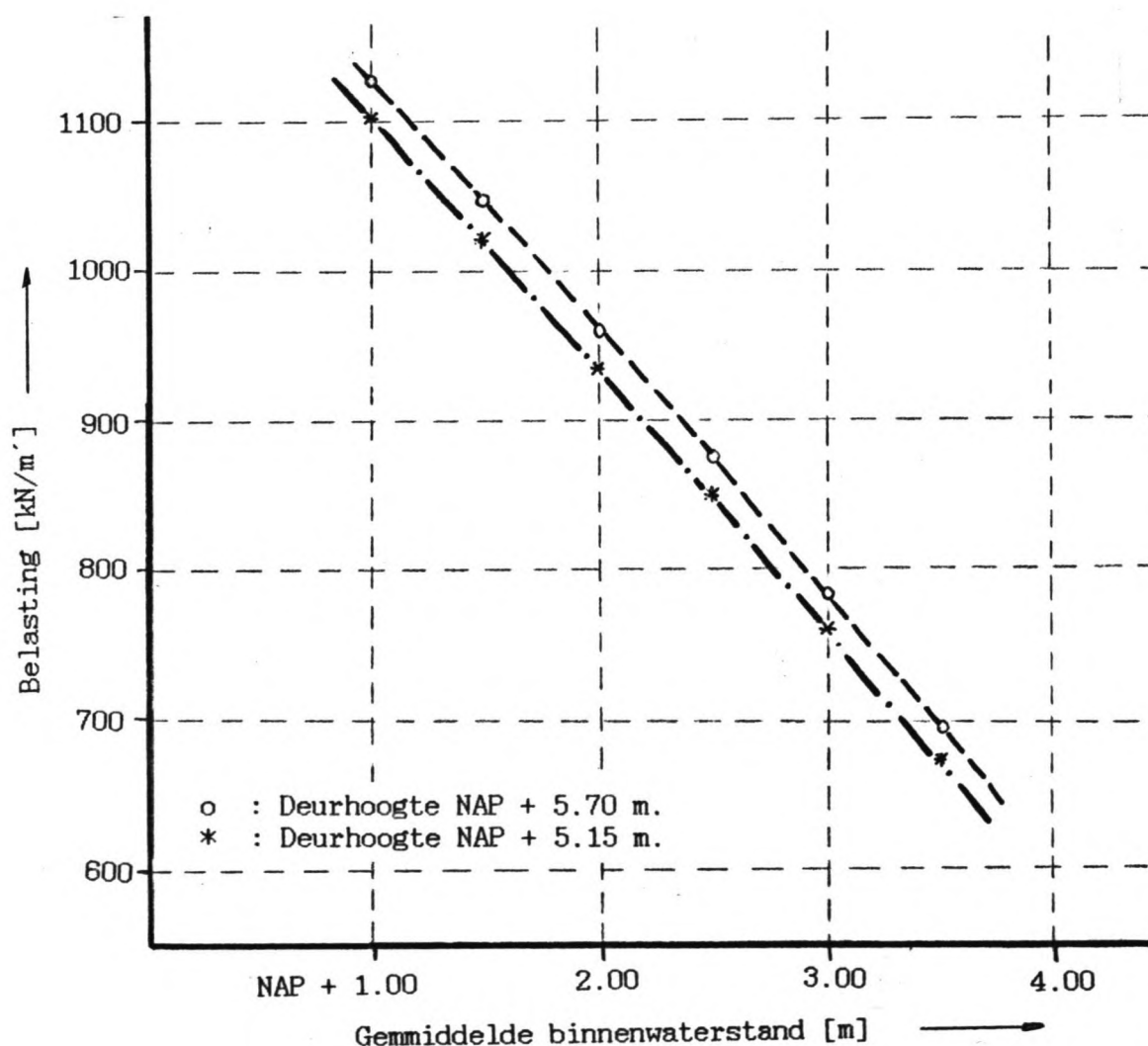


Fig. 8.1  $1.0E-4$  belasting als functie van de waterstand

✓

- Blijkens de computeruitdraaien wordt de grootte van de ontwerpbelasting in hoofdzaak bepaald door de stormvloedstand (zie de computeruitdraaien onder alfa2 en eps). Hierdoor is het resultaat niet erg gevoelig voor kleine wijzigingen in de verdelingsparameters voor de overige variabelen. Hoewel de onzekerheid met betrekking tot met name de opslingering van seiches en de hoogte van de korte golven erg groot is, wordt de grootte van de ontwerpbelasting er op zodanig geringe wijze door beïnvloed, dat aanvullend onderzoek niet noodzakelijk is. Er is echter wel een gebrek aan kennis hieromtrent, zodat aanvullend onderzoek wel zinvol zou zijn.

## 9 LITERATUUR

1. Massie WW ;e.a.  
Costal engineering; Breakwaterdesign  
Volume III Costal Engineering Group  
Delft University of Technology , Delft nov.1967
2. ir.Drs. J.K. Vrijling ; ir.A.C.W.M. Vrouwenvelder  
Probabilistisch ontwerpen  
Technische Hogeschool Delft
3. W.C. Hall ; J.V. Hall  
A model study of the effect of submerged breakwaters on wave action.  
U.S. Beach Erosion Board Office ; may 1940
4. J.A. Battjes  
Korte golven  
Technische Hogeschool Delft ; jan. 1983
5. R.W.S. Notitie WWKZ-81.H218 (ing. P.v.d.Molen)  
Onderzoek naar de superstormvloedomstandigheden in de haven van IJmuiden en  
berekening kruinhoogten zeewering en hoogte van de sluisdeuren.  
R.W.S. Directie Noord-Holland
6. R.W.S. Nota DDWT-80.013 (ir. D.G. Hamer ;ir. F.C. Hamer)  
Experimenteel onderzoek naar de opwekking van golven ten gevolge van overslag  
over een dichte damkonstruktie.  
Deltadienst Hoofdafdeling Waterloopkunde ; mei 1980
7. T.A.W. Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als  
waterkering ; mei 1984
8. K.N.M.I. P. Groen en R. Dorrestein  
Opstellen op oceanografisch en maritiem meteorologisch gebied,  
no. 11 : Zeegolven ; 1976
9. H. de Jong  
Het optreden van seiches te IJmuiden.  
R.W.S.,dir Wat.& Wat,Hydrometyrische afdeling 1975
10. Deltacommissie  
Rapport Detacommissie deel 4 , Beschouwingen over stormvloeden en getijbewe-  
ging  
Staatsdrukkerij en uitgeversbedrijf, Den Haag 1960
11. Waterloopkundig laboratorium verslag onderzoek M526 deel IV  
Haven IJmuiden  
Delft 1962
12. D.Kooman,J.K.Vrijling,T.Mulder,C.de Quelerij  
Probabilistic approach to determine loads and safety factors

13. J.K. Vrijling, J. Bruinsma  
Hydraulic Boundary conditions, Hydraulic aspects of Coastal Structures.  
Delft University Press, 1980
14. Richard Silvester  
Coastal Engineering I, Generation, propagation and influence of waves.  
Elsevier Scientific Publ. Comp., Amsterdam 1974
15. R.W.S. Notitie WWKZ-82G.259 ( J. Bruinsma )  
Golfhoogte - waterstand relatie t.p.v. de NAP - 20m lijn nabij Hoek van  
Holland t.b.v. de leidraad Duinafslag.  
R.W.S. Directie Wat.& Wat, district kust en zee
16. Ir C. Verspuy  
Lange Golven  
Technische Hogeschool Delft, juli 1985
17. R.W.S Rapport SDIJ 77.04  
Evaluatie Havenmond IJmuiden.  
R.W.S. Directie Noord-Holland, april 1977
18. Prof.dr.ir. J.A.Battjes  
Windgolven  
Technische Hogeschool Delft, okt 1982
19. R.W.S Notitie CTIJ - 35011  
Zeekering IJmuiden, 4e roldeur Noordersluis.  
R.W.S. Directie Noord-Holland, arr. Noordzeekanaal

## BIJLAGE A : GOLFOVERSLAG OVER HAVENDAMMEN.

In [Lit. 6] is een relatie gevonden voor golfoverslag over havendammen waarbij de kruin zich boven het gemiddelde waterniveau bevindt. Gevonden is :

$$H_g/H_1 = - 0.69 * h/z_g + 0.58$$

Hierin is :

- $H_g$  = significante golfhoogte na overslag.
- $H_1$  = significante hoogte inkomende golf.
- $h$  = kruinhoogte boven gemiddelde waterniveau.
- $z_g$  = significante golfoploop.

Voor de golfoploop werd de relatie gebruikt :

$$z_g = \sqrt{L_0 \cdot H_1} \tan \alpha$$

- met :
- $H_1$  = hoogte inkomende golf.
  - $\alpha$  = hellingshoek van het talud.
  - $L_0$  = golflengte op diep water.

Voor  $L_0$  kan geschreven worden :

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \pi}$$

zodat 
$$z_g = T \sqrt{\frac{g \cdot H_1}{2 \pi}} \tan \alpha$$

Gesubstitueerd in de relatie van Hamer & Hamer levert dit :

$$H_g/H_1 = - 0.55 * h / ( T \sqrt{H_1} \tan \alpha ) + 0.58$$

Deze relatie kan nu vergeleken worden met de meetgegevens van Hall & Hall. (zie tabel A.1 en tabel A.2).

In figuur A.1 worden de data van Hall & Hall en van Hamer & Hamer alsmede de gebruikte relatie weergegeven.

Voor  $H_g$  volgt :

$$H_g = - 0.55 * h * \sqrt{H_1} / ( T * \tan \alpha ) + 0.58 * H_1$$

Uit de fig. A-1 kan geconcludeerd worden dat de afgeleide relatie verantwoord toegepast kan worden voor kruinhoogten onder het gemiddelde waterniveau. Opgemerkt dient te worden dat de relatie nu geen maximale golfratio oplevert. In het model wordt dit verdisconteerd door op de uittredende golf een normaal verdeelde variabele factor  $F_{hamer}$  te hanteren, met gemiddelde 1. Na statistische bewerking van de data van Hall & Hall volgt voor de spreiding van de gebruikte modelfout 0.15.

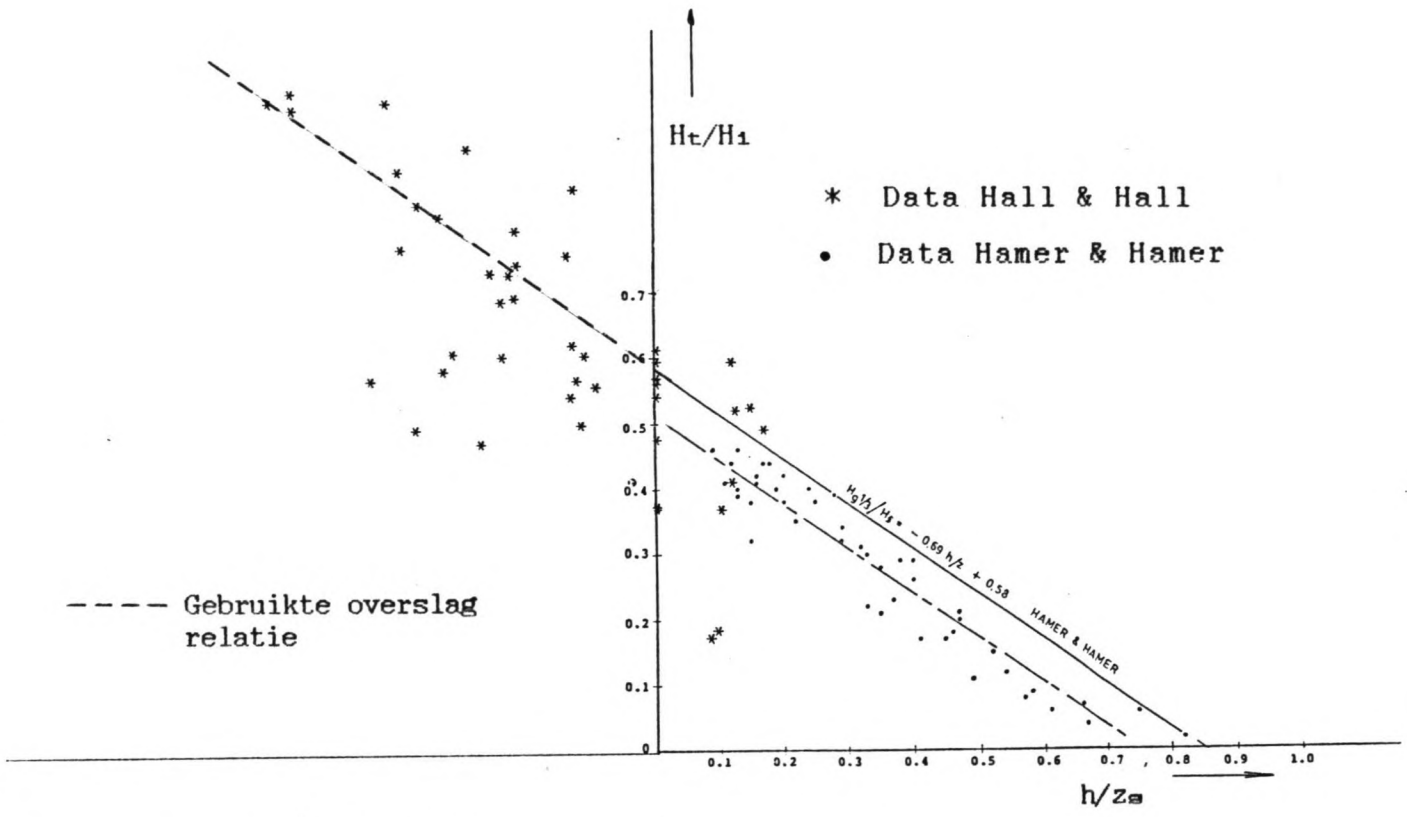


Fig. A.1 Golfoverslagrelatie

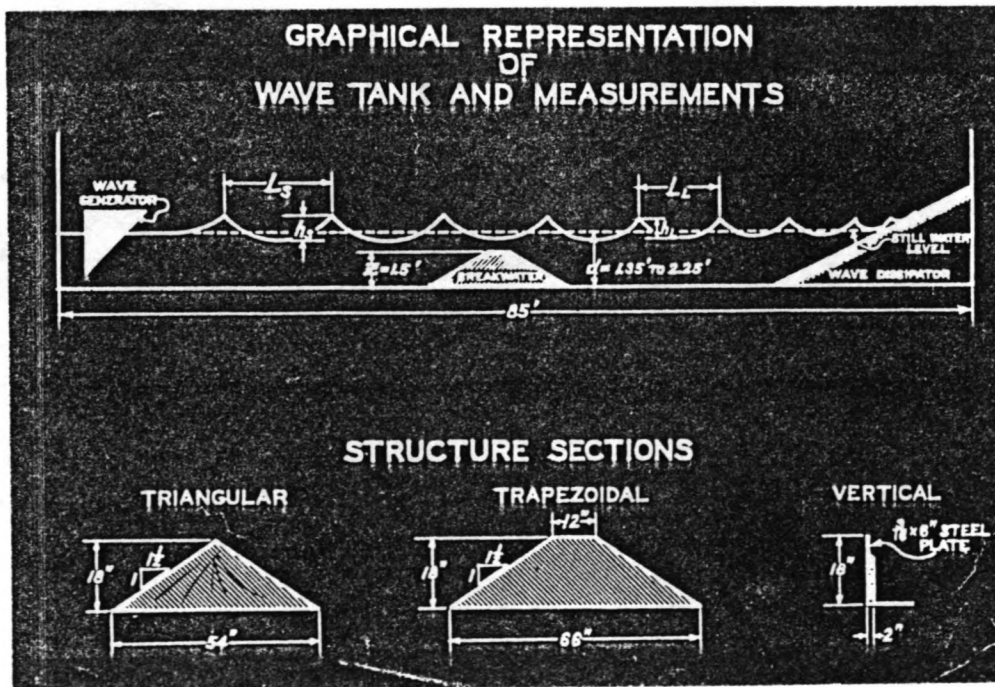


Fig. A.2 Meetopstelling van Hall & Hall

Tabel A.1 Gegevens van Hall & Hall (onbewerkt)

**TABEL 1 (Continued)**

Rows 1-14 and 25-28 include an error for horizontal dimensions; rows 15-16 include an error for horizontal dimensions; rows 17-18 include an error for vertical dimensions.

Run	Period (min)	Velocity (ft/sec)	Length (ft)	Area (sq ft)	Volume (cu ft)	Weight (lb)	Height (ft)	Area (sq ft)	Volume (cu ft)	Weight (lb)
1	1.04	6.00	9.84	192	184	105	9.4	192	184	105
2	1.26	5.71	7.19	128	128	167	7.3	128	128	167
3	1.64	6.31	18.49	131	131	168	19.9	131	131	168
4	1.74	6.00	10.99	210	210	146	10.4	210	210	146
5	1.24	5.71	7.06	183	183	185	15.0	183	183	185
6	1.68	6.31	19.64	133	133	195	10.9	133	133	195
7	1.24	6.00	10.40	115	115	139	7.8	115	115	139
8	1.40	6.00	7.94	122	122	211	7.8	122	122	211
9	1.56	6.31	19.04	197	197	162	16.3	197	197	162
10	1.28	6.00	19.94	247	247	162	19.4	247	247	162
11	1.74	6.31	19.94	192	192	229	19.3	192	192	229
12	2.30	7.06	12.28	182	182	122	12.1	182	182	122
13	1.74	6.06	18.89	182	182	122	19.0	182	182	122
14	1.68	6.00	8.30	187	187	128	8.3	187	187	128
15	1.26	5.71	6.04	260	260	275	5.3	260	260	275
16	1.68	6.31	18.79	260	260	275	14.2	260	260	275
17	1.74	6.00	8.79	448	448	275	14.5	448	448	275
18	1.74	6.00	9.39	369	369	286	13.5	369	369	286
19	1.26	5.71	4.80	502	502	304	4.8	502	502	304
20	1.26	6.00	10.20	493	493	272	10.2	493	493	272
21	1.70	6.00	7.06	490	490	272	15.7	490	490	272
22	1.72	6.31	6.32	325	325	164	6.3	325	325	164
23	1.26	5.71	7.18	325	325	164	7.1	325	325	164

**TABEL 1**

Rows 1-14 and 25-28 include an error for horizontal dimensions; rows 15-16 include an error for horizontal dimensions; rows 17-18 include an error for vertical dimensions.

Run	Period (min)	Velocity (ft/sec)	Length (ft)	Area (sq ft)	Volume (cu ft)	Weight (lb)	Height (ft)	Area (sq ft)	Volume (cu ft)	Weight (lb)
1	1.26	5.71	7.19	128	128	167	7.3	128	128	167
2	1.64	6.31	18.49	131	131	168	19.9	131	131	168
3	1.74	6.00	10.99	210	210	146	10.4	210	210	146
4	1.24	5.71	7.06	183	183	185	15.0	183	183	185
5	1.68	6.31	19.64	133	133	195	10.9	133	133	195
6	1.24	6.00	10.40	115	115	139	7.8	115	115	139
7	1.40	6.00	7.94	122	122	211	7.8	122	122	211
8	1.56	6.31	19.04	197	197	162	16.3	197	197	162
9	1.28	6.00	19.94	247	247	162	19.4	247	247	162
10	1.74	6.31	19.94	192	192	229	19.3	192	192	229
11	2.30	7.06	12.28	182	182	122	12.1	182	182	122
12	1.74	6.06	18.89	182	182	122	19.0	182	182	122
13	1.68	6.00	8.30	187	187	128	8.3	187	187	128
14	1.26	5.71	6.04	260	260	275	5.3	260	260	275
15	1.68	6.31	18.79	260	260	275	14.2	260	260	275
16	1.74	6.00	8.79	448	448	275	14.5	448	448	275
17	1.74	6.00	9.39	369	369	286	13.5	369	369	286
18	1.26	5.71	4.80	502	502	304	4.8	502	502	304
19	1.26	6.00	10.20	493	493	272	10.2	493	493	272
20	1.70	6.00	7.06	490	490	272	15.7	490	490	272
21	1.72	6.31	6.32	325	325	164	6.3	325	325	164
22	1.26	5.71	7.18	325	325	164	7.1	325	325	164

Tabel A.2 Bewerkte gegevens van Hall &amp; Hall

Gegevens Hall & Hall						
T [sec]	Hin [m]	Hu [m]	d/Z	Zs	h/Zs	Hu/Hi
2.46	0.056	0.010	0.9	0.485	0.094	0.179
1.68	0.078	0.032	0.9	0.391	0.117	0.410
1.22	0.095	0.050	0.9	0.313	0.146	0.526
2.46	0.072	0.012	0.9	0.550	0.083	0.167
1.74	0.036	0.018	0.9	0.275	0.166	0.500
1.26	0.127	0.066	0.9	0.374	0.122	0.520
1.66	0.109	0.040	0.9	0.457	0.100	0.367
1.26	0.141	0.084	0.9	0.394	0.116	0.596
2.42	0.490	0.018	1.0	1.411	0.000	0.037
1.72	0.071	0.041	1.0	0.382	0.000	0.577
1.26	0.124	0.074	1.0	0.370	0.000	0.597
2.40	0.045	0.017	1.0	0.424	0.000	0.378
1.72	0.066	0.031	1.0	0.368	0.000	0.470
1.22	0.119	0.067	1.0	0.351	0.000	0.563
1.68	0.079	0.043	1.0	0.393	0.000	0.544
1.30	0.137	0.084	1.0	0.401	0.000	0.613
2.48	0.030	0.026	1.1	0.358	-0.128	0.867
1.62	0.068	0.042	1.1	0.352	-0.130	0.618
1.22	0.132	0.075	1.1	0.369	-0.124	0.568
2.40	0.038	0.019	1.1	0.390	-0.117	0.500
1.68	0.055	0.042	1.1	0.328	-0.139	0.764
1.24	0.111	0.060	1.1	0.344	-0.133	0.541
1.74	0.112	0.063	1.1	0.485	-0.094	0.563
1.26	0.153	0.093	1.1	0.411	-0.111	0.608
2.28	0.048	0.033	1.2	0.416	-0.220	0.688
1.74	0.077	0.056	1.2	0.402	-0.227	0.727
1.24	0.092	0.084	1.2	0.313	-0.292	0.913
2.20	0.052	0.042	1.2	0.418	-0.219	0.808
1.72	0.070	0.048	1.2	0.379	-0.241	0.686
1.30	0.108	0.079	1.2	0.356	-0.257	0.731
1.70	0.089	0.066	1.2	0.422	-0.216	0.742
1.24	0.137	0.083	1.2	0.382	-0.239	0.606
2.48	0.059	0.028	1.3	0.502	-0.273	0.475
1.68	0.070	0.059	1.3	0.370	-0.370	0.843
1.24	0.101	0.100	1.3	0.328	-0.418	0.990
2.50	0.038	0.031	1.3	0.406	-0.338	0.816
1.70	0.086	0.050	1.3	0.415	-0.330	0.581
1.26	0.109	0.084	1.3	0.347	-0.396	0.771
1.72	0.092	0.056	1.3	0.435	-0.316	0.609
1.26	0.107	0.095	1.3	0.343	-0.400	0.888
2.68	0.075	0.037	1.5	0.611	-0.374	0.493
1.68	0.137	0.078	1.5	0.518	-0.441	0.569
1.30	0.140	0.141	1.5	0.405	-0.564	1.007
2.38	0.037	0.037	1.5	0.381	-0.599	1.000
1.72	0.081	0.079	1.5	0.408	-0.561	0.975
1.22	0.142	0.166	1.5	0.383	-0.597	1.169



## BIJLAGE B : DIFFRACTIE BEREKENING VOLGENS CORNU.

Nadat de zeegolven de havendam gepasseerd zijn nadert het golffront de havenopening. De beide havenhoofden van de buitenhaven alsook die van de binnenhaven veroorzaken een diffractiepatroon in de haven.

Inzicht in de vorm van dit patroon alsmede de optredende golfhoogten kan worden verkregen met theorie van Cornu.

Volgens Cornu ontstaan ten gevolge van alle obstakels die een bepaald golffront op zijn weg tegenkomt fictieve bronnen in dat punt. Deze bronnen wijzigen de vorm van het vlakke golffront wat de obstakels benaderde. Bij de aanwezigheid van meerdere obstakels ontstaan evenzoveel bronnen welke een interferentie patroon tot gevolg hebben. Hierdoor kan zowel versterking als uitdemping optreden. Zie figuur B.1.

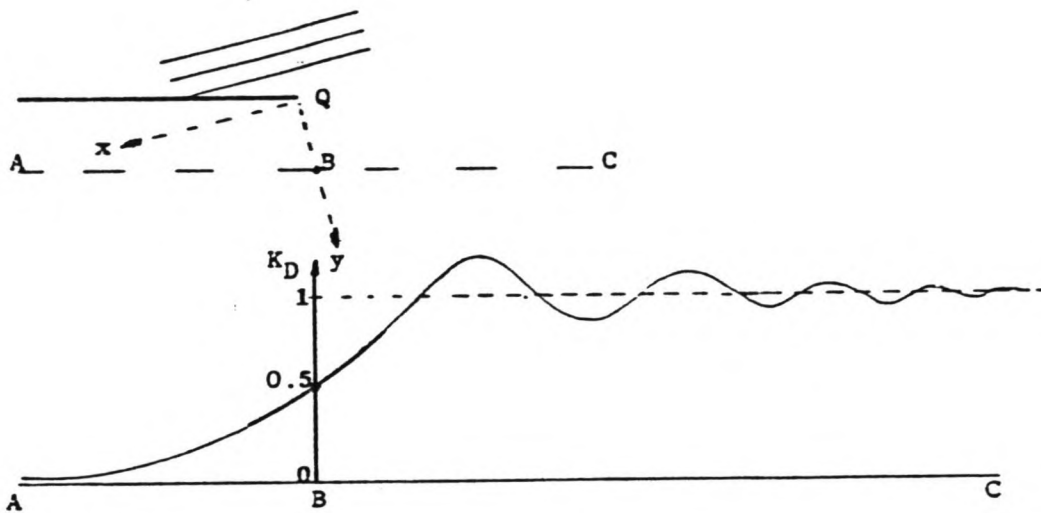


Fig. B.1 Diffractie patroon.

Deze golfhoogten kunnen grafisch worden bepaald met de spiraal van Cornu. Benodigde parameters zijn :

- $Y_1$  : Kortste afstand van fictieve bron tot het te beschouwen punt.
- $R_1$  : Afstand van het vlakke golffront tot het te beschouwen punt.
- $L$  : Golflengte van het vlakke golffront voor het passeren van de obstakels.
- $H_t$  : Golfhoogte van inkomende vlakke golffront.

Met deze parameters worden de spiraalfactoren  $W_1$  en  $W_2$  bepaald voor de beide bronnen. Waarbij :

$$W_1 = \frac{(R_1 - Y_1)}{L}$$

De verhouding van de afstand van beide spiraalfactoren op de spiraal en de afstand van beide spiraal-middelpunten levert de diffractiecoëfficiënt voor het gekozen punt ten gevolge van deze twee bronnen. Vermenigvuldiging van de oorspronkelijke golfhoogte van het vlakke golffront met deze diffractiecoëfficiënt levert de optredende golfhoogte.

In de haven van IJmuiden ervaart, bij noordwesterstorm, het inkomende vlakke golffront het noorder havenhoofd en het Forteiland als obstakels. Er ontstaan fictieve bronnen op beide posities. (Fig. B.2) De golfhogte ter plaatse van de sluisdeur van de Noordersluis ten gevolge van de nu ontstane situatie kan volgens bovenstaande aanpak worden bepaald.

Voor L kan de golflengte op diep water gebruikt worden :

$$L = g * T^2 / (2\pi) = 156 \text{ m.}$$

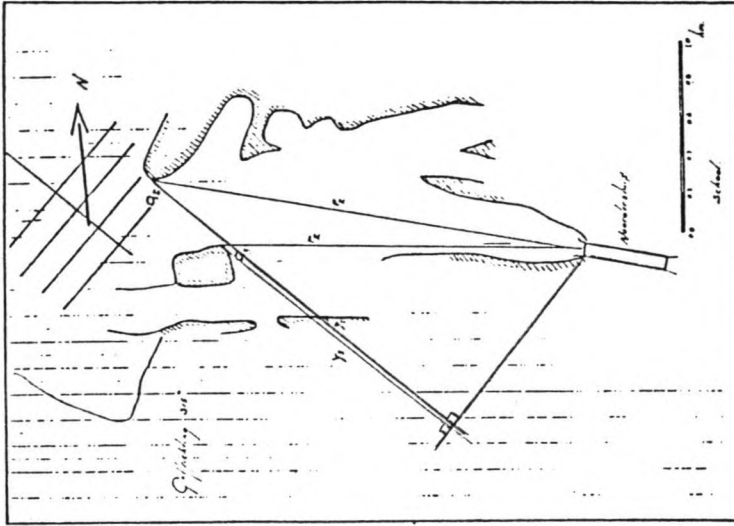


Fig. B.2 DiffRACTIE parameters voor IJmuiden.

Bron 1 : Noorder Havenhoofd

Bron 2 : Forteiland

$$R_1 = 2361 \text{ m.}$$

$$R_2 = 1958 \text{ m.}$$

$$Y_1 = 2083 \text{ m.}$$

$$Y_2 = 1583 \text{ m.}$$

$$W_1 = (R_1 - Y_1) / L = 1.78$$

$$W_2 = (R_2 - Y_2) / L = 2.4$$

Uit spiraal volgt (Fig. B.3) : DiffRACTIEcoëf. = 0.12

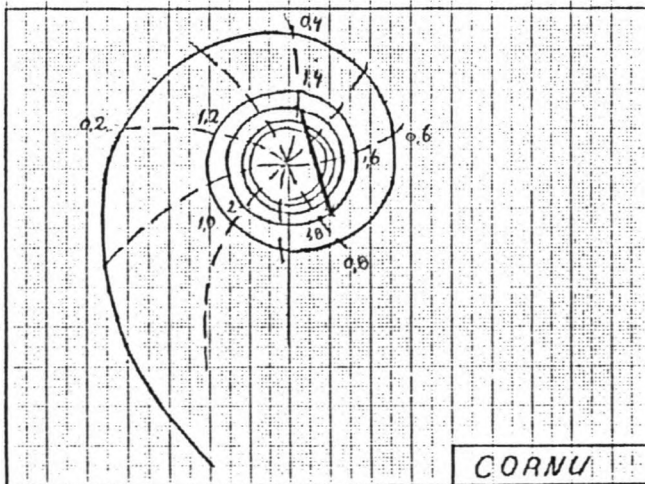


Fig. B.3 Spiraal van Cornu.

## BIJLAGE C : SPECTRALE BENADERING

a) Berekening spectrum uit  $H_s$

De relatie tussen  $H_s$  en het spectrum  $E_{\eta\eta}(f)$  is :

$$H_s = 4 \sqrt{m_0}$$

Door fitting is gevonden dat het golfenergie-dichtheidsspectrum benaderd kan worden door :

$$f > f_p : S_{\eta\eta}(f) = \tau * f^{-2.5}$$

$$f < f_p : S_{\eta\eta}(f) = \tau * f_p^{-6.45} * f^{3.95}$$

Zie hiervoor ook paragraaf 4.3.6.2

De integraal van deze vergelijking wordt berekend tussen 0 en 1 omdat het benaderende spectrum langzamer convergeert dan het gemeten spectrum.

1)  $f < f_p$  :

$$\begin{aligned} \int_0^{f_p} S_{\eta\eta}(f) df &= \left[ \tau \frac{f_p^{-6.45}}{4.95} f^{4.95} \right]_0^{f_p} = \tau \frac{f_p^{-6.45}}{4.95} f_p^{4.95} \\ &= \frac{\tau}{4.95} f_p^{-1.5} \end{aligned}$$

2)  $f > f_p$  :

$$\begin{aligned} \int_{f_p}^1 S_{\eta\eta}(f) df &= \left[ \frac{\tau}{-1.5} f^{-1.5} \right]_{f_p}^1 = -\frac{\tau}{1.5} + \frac{\tau}{1.5} f_p^{-1.5} \\ &= \tau \frac{f_p^{-1.5} - 1}{1.5} \end{aligned}$$

De totale integraal wordt nu :

$$\int_0^1 S_{\eta\eta}(f) df = \tau m_0'$$

$$\text{met } m_0' = \frac{6.45 f_p^{-1.5} - 4.95}{7.425}$$

Bij bekende  $f_D$  is nu  $\tau$  te berekenen via :

$$\tau = \frac{H_B^2}{16 m_0'}$$

waarna  $S_{\eta\eta}(f)$  vastligt.

b) Spectrum na passage havendam.

Door Hamer & Hamer [Lit 6] is onderzoek gedaan naar overslag van golven over dammen. Hierbij zijn ook een aantal proeven gedaan waarbij de kruin van de dam onder water stond.

Bij verschillende stijlheden en periodes van de inkomende golven zijn de golfhoogtes en de generatie van hogere harmonischen van de uitgaande golven gemeten.

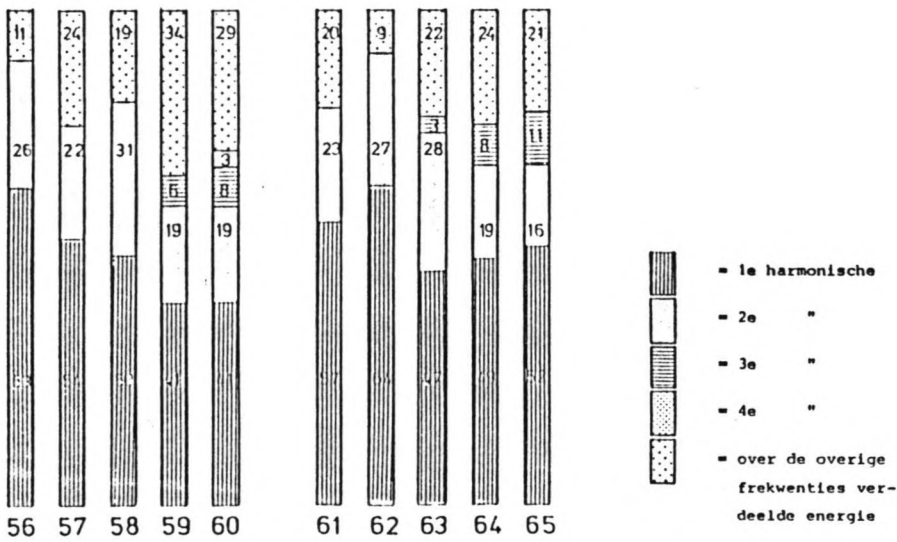


Fig. C.1 Verdeling van energie achter de dam over 1e en hogere harmonischen

Tabel C.1 Prototypewaarden bij figuur C.1

Proefnummer	Prototypewaarden				
	waterstand m	waterdiepte m	H/L	H <sub>p</sub> m	T <sub>p</sub> s
56	NAP + 3,50	8,50	0,06	3,00	5,68
57	"	"	0,05	"	6,22
58	"	"	0,04	"	6,93
59	"	"	0,03	"	8,01
60	"	"	0,02	"	9,79
61	NAP + 3,50	8,50	0,06	3,40	6,04
62	"	"	0,05	"	6,62
63	"	"	0,04	"	7,38
64	"	"	0,03	"	8,54
65	"	"	0,02	"	10,42

Hamer & Hamer merken hierbij wel op dat het slechts gaat om indicaties, daar de diagrammen gebaseerd zijn op een enkele proef. Uitgaande van het gegeven spectrum bij Uiter-ton kan op globale wijze het spectrum achter de dam voorspeld worden. Hiervoor is de meest ongunstige van de diagrammen genomen.

De energie wordt dan verdeeld als :

69 %	:	1e harmonische
26 %	:	2e "
9 %	:	rest.

Per bandbreedte kan nu het eerste harmonische spectrum en het tweede harmonische spectrum berekend worden. Het resulterende spectrum wordt gevonden door beide bijdragen bij elkaar op te tellen. Zie hiervoor de figuur C.2.

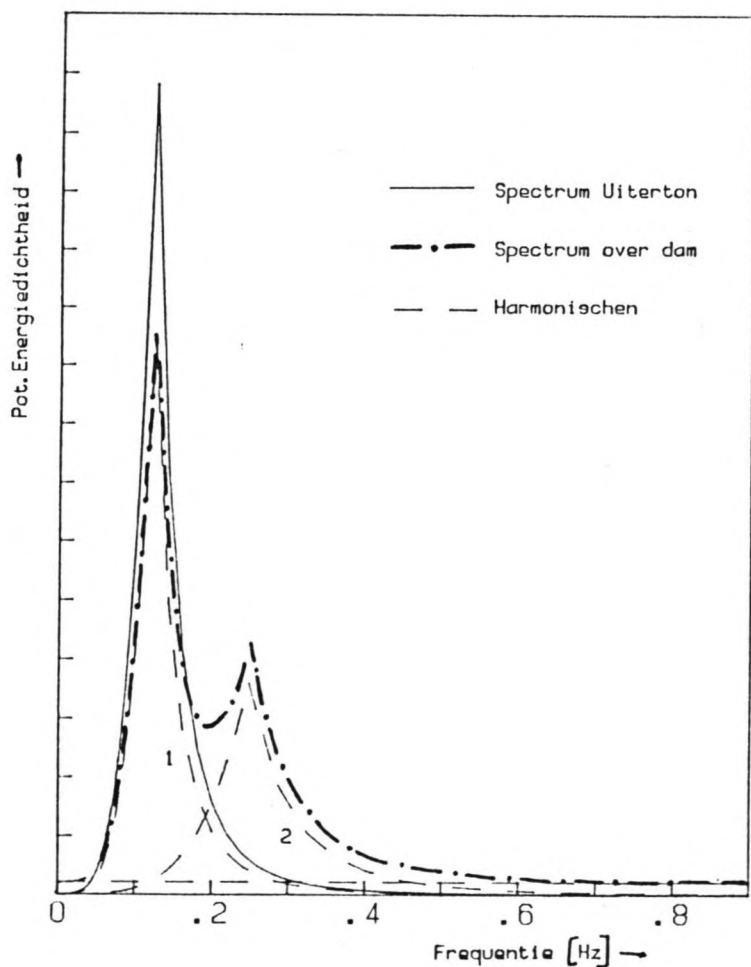


Fig.C.2  
Resultierend spectrum na passage havendam

Het resulterende spectrum lijkt sterk op het spectrum gevonden bij het Forteiland gevonden onder normale omstandigheden, zij het dat nu de tweede piek veroorzaakt wordt door lokale wind opzet, terwijl in het berekende spectrum de tweede piek veroorzaakt wordt door de hogere harmonischen. In figuur C.3 worden beide spectra weergegeven.

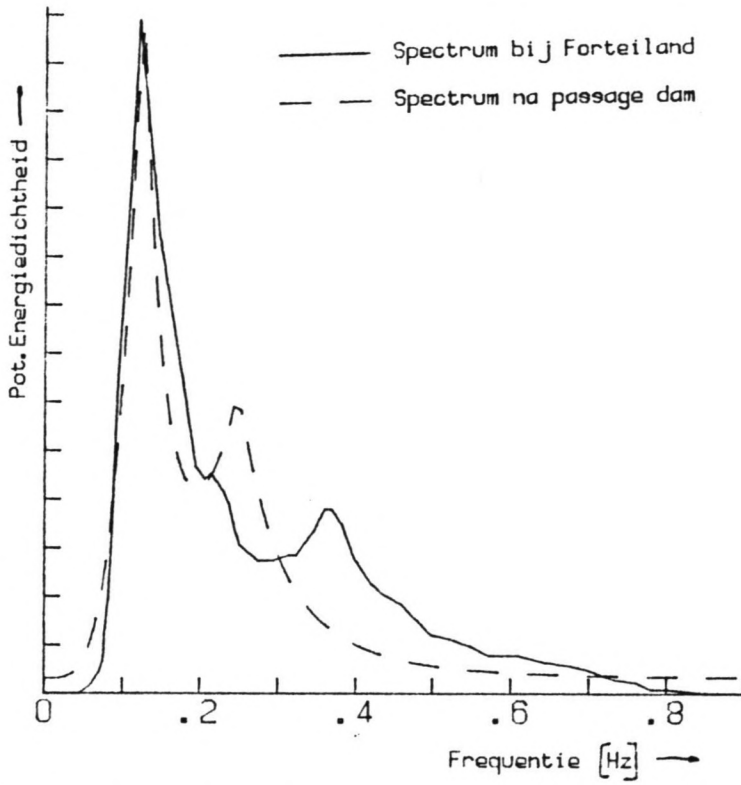


Fig. C.3 Spectra na passage van de dam en bij Forteiland

In het model zal de tweede piek niet verwerkt worden. De gebruikte vorm wordt weergegeven in figuur C.4

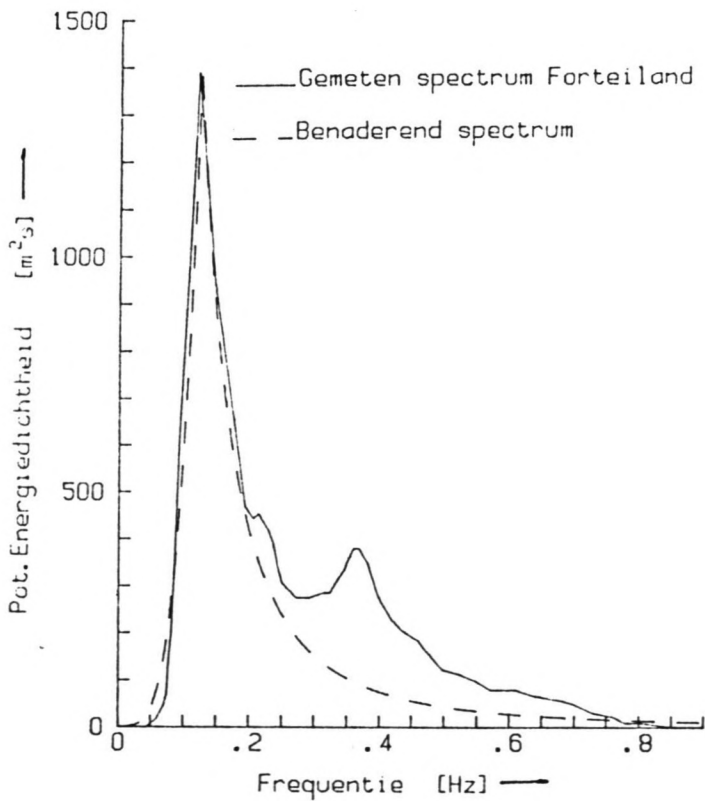


Fig. C.4 Gebruikt spectrum

Lege pagina

BIJLAGE D : PROGRAMMA LISTING.

D.1 - Listing van het AFDA programma.

```
{ ***** }
{ *** }
{ ***          PROGRAMMA AFDA          *** }
{ ***          Nivo II berekening met benaderende *** }
{ ***          normale verdelingen      *** }
{ *** }
{ ***** }
```

Program AFDA (Input,Output) ;

Const

```
Max      = 20      ;          { Max. aantal variabelen }
Tol      = 0.0001 ;          { Nauwkeurigheid       }
Telmax   = 15      ;          { Max. aantal iteraties }
Demping  = 1       ;          { Dempingsfactor       }
```

Type

```
Name      = String [10]      ;
ARS       = Array [1..Max] of Name ;
ARVT      = Array [1..Max] of Char ;
ARY       = Array [1..Max] of Real ;
ARJ       = Array [1..Max] of Integer ;
Padnaam   = String [30]     ;
```

Var

```
VariableName : ARS      ;
X,DX,DZ,Alfa : ARY      ;
Mu,Si,A,B,C  : ARY      ;
VerdType     : ARVT     ;
JobName,Naam : Padnaam  ;
Som1,SigmaZ,Dummy,Rinit,
Beta,BetaOud,Beta1,Beta2,
Faalkans,Mu_Z,Rekenduurt,Nortot : Real      ;
N,Tel       : Integer   ;
PR          : Boolean    ;
Dvc        : Text       ;
Uit        : Name       ;
```

```
{ $i POWER.FUN }
{ $i DATER.FUN }
```

Procedure Get\_Names ;

Begin

```
Naam := 'YMUIDEN.DTA' ;
End ;
```

```
{ ***** }
{          Include Betrouwbaarheidsfunctie          }
{          $i YMUIDEN.FUN          }
{ ***** }
```



```

Function Tijdstip :Real ;

Const
    Tal = 60 ;
    Tal2 = 3600 ;

Var
    Hour,Min,Sec,Frac: Integer;

{$i TIMER.FUN }

Begin
Timer (Hour,Min,Sec,Frac) ;
Tijdstip := Tal2 * Hour + Tal * Min + Sec + Frac/100 ;
End ;

Function GaussDensity (X:Real) : Real ;

Const
    QW = 0.39894228;

Begin
GaussDensity := QW * Exp(-Sqr(X)/2) ;
End ; { GaussDensity }

Function Gauss (X:Real) : Real ;

Const
    B0 = 0.2316419 ; B3 = 1.781477937 ;
    B1 = 0.31938153 ; B4 = -1.821255978 ;
    B2 = -0.35656378 ; B5 = 1.330274429 ;

Var
    T,T2,T3,T4,T5 : Real ;

Begin
T := 1/(1 + B0*X) ;
T2 := Sqr(T) ;
T3 := T*T2 ;
T4 := Sqr(T2) ;
T5 := T*T4 ;
Gauss := GaussDensity(X)
        * (B1*T + B2*T2 + B3*T3 + B4*T4 + B5*T5) ;
End ; { Gauss }

Function InvErr( PF:Real) : Real ;

Const
    C0 = 2.515517; D1 = 1.432788;
    C1 = 0.802853; D2 = 0.189269;
    C2 = 0.010328; D3 = 0.001308;

```

```

Var
  T,T2,T3,BI : Real ;
  FLAG       : Boolean ;

Begin
  Flag := True ;
  If PF > 0.5 Then
    Begin
      PF := 1-PF ;
      Flag := False ;
    End

  T := Sqrt(Ln(1/Sqr(PF))) ;
  T2 := Sqr(T) ;
  T3 := T*T2 ;
  BI := T - (C0 + C1*T
            + C2*T2)/(1 + D1*T + D2*T2 + D3*T3) ;
  If Flag = False Then BI := -BI ;
  InvErr := BI ;
  End ; { InvErr }

Procedure Extreem ( X,A,B : Real ;
                   Var PD,PF : Real ) ;

Begin
  PF := EXP(-(X-A)/B) ;
  PD := PF/B ;
  End ; { Extreem }

Procedure Gumbel ( X,A,B : Real ;
                  Var PD,PF : Real ) ;

Var
  Hulp,Tuss : Real ;

Begin
  Hulp := EXP(-(X-A)/B) ;
  Tuss := EXP(-Hulp) ;
  PF := 1.0 - Tuss ;
  PD := Hulp * Tuss/B ;
  End ; { Gumbel }

Procedure Weibull ( X,A,B,C : Real ;
                   Var PD,PF : Real ) ;

Var
  Hulp,Tuss : Real ;

Begin
  Tuss := (X-A)/B ;
  Hulp := Power(Tuss,C) ;
  PF := EXP(-Hulp) ;
  PD := C/B * Hulp/Tuss * PF ;
  End ; { Weibull }

```

```

Procedure RaylExtr (      X,A,B : Real  ;
                    Var PD,PF : Real ) ;

Var
  Hulp,Tuss : Real ;

Begin
Hulp := EXP(-(Sqr(X)-A)/B)      ;
Tuss := EXP(-Hulp)            ;
PF   := 1.0 - Tuss            ;
PD   := 2 * Hulp * Tuss * X / B ;
End                               ;           { RaylExtr }

```

```

Procedure Uniform (      X,A,B : Real  ;
                    Var PD,PF : Real ) ;

Begin
If X < A Then
  Begin
  PD := 0.0      ;
  PF := 1.0      ;
  End            ;
If (X > A) AND (X < B) Then
  Begin
  PD := 1/( B-A) ;
  PF := 1.0 - (X-A) * PD ;
  End            ;
Else
  Begin
  PD := 0.0      ;
  PF := 0.0      ;
  End            ;
End                               ;           { Uniform }

```

```

Procedure LogNorm (      X,A,B : Real  ;
                    Var PD,PF : Real ) ;

Var
  Hulp,AA,BB : Real ;

Begin
BB := SqrT( Ln(1.0 + (A / B))) ;
AA := Ln( A ) - Sqr(BB)/2.0    ;
Hulp := (Ln(X) - AA)/BB       ;
PD := GaussDensity( Hulp )/( X*BB) ;
PF := Gauss( Hulp )           ;
End                               ;           { LogNorm }

```

```

Procedure GetData ( Naam : Padnaam ) ;

Var
  Bestand : Text  ;
  I       : Integer ;

```

```

Begin
Assign (Bestand,Naam)           ;
Reset (Bestand)                 ;
Readln (Bestand,JobName)       ;
Readln (Bestand,N)              ; { Aantal basisvariabelen }
For I := 1 TO N Do
  Readln (Bestand,VariableName[I],
          VerdType[I],A[I],B[I],C[I],
          Mu[I],Si[I])          ; { Gegevens per variabele }

Close (Bestand)                 ;

For I := 1 TO N Do
  Begin
  DX[I] := Tol *Si[I]           ;
  If DX[I] = 0 Then DX[I] := Tol ;
  End                             ;
End                               ; { GetData }

Procedure StartVector ( N : Integer ;
                       Var X,Mu : ARY ) ;

Var
  I : Integer ;

Begin
For I := 1 TO N Do
  X[I] := Mu[I] ;
End                               ; {StartVector}

Procedure Afda ( N : Integer ;
                Var X,Mu,Si : ARY) ;

Var
  Normaal: Boolean ;
  PD,PF : Real ;
  KSigma : Real ;
  I : Integer ;

Begin
For I:= 1 TO N Do
  Begin
  Normaal := False ;
  Case VerdType[I] Of
    'N': Normaal := True ;
    'E': Extreem (X[I],A[I],B[I],PD,PF) ;
    'G': Gumbel (X[I],A[I],B[I],PD,PF) ;
    'W': Weibull (X[I],A[I],B[I],C[I],PD,PF) ;
    'R': RaylExtr (X[I],A[I],B[I],PD,PF) ;
    'U': Uniform (X[I],A[I],B[I],PD,PF) ;
    'L': LogNorm (X[I],A[I],B[I],PD,PF) ;
  End

  If Normaal = False Then
    Begin

```

```

        KSigma := InvErr(PF) ;
        Si[I] := GaussDensity(KSigma)/PD ;
        Mu[I] := X[I] - KSigma * Si[I] ;
        End ;
    End ;
End ; { Afda }

```

```

Procedure Differentieer ( N : Integer ;
                        Var DX,X,DZ : ARY ) ;

```

```

Var
    I : Integer ;
    Hulp,Z1,Z2 : Real ;

```

```

Begin
    Z1 := Z(X,PR) ;
    For I := 1 TO N Do
        Begin
            Hulp := X[I] ;
            X[I] := X[I] + DX[I] ;
            Z2 := Z(X,PR) ;
            DZ[I] := (Z2 - Z1)/DX[I] ;
            X[I] := Hulp ;
        End ;
    End ;

```

```

Procedure Bereken_Alfa_en_SigmaZ ( N : Integer ;
                                   Var X,Mu,Si,DZ : ARY ;
                                   Var Som1,SigmaZ : Real ) ;

```

```

Var
    I : Integer ;
    Som2 : Real ;

```

```

Begin
    Som1 := 0.0 ;
    Som2 := 0.0 ;

```

```

For I := 1 TO N Do
    Begin
        Som1 := Som1 + DZ[I] * (Mu[I] - X[I]) ;
        Alfa[I] := DZ[I] * Si[I] ;
        Som2 := Som2 + Sqr( Alfa[I] ) ;
    End ;
SigmaZ := SqrT( Som2 ) ;
For I := 1 TO N Do
    Alfa[I] := Alfa[I] / SigmaZ ;
End ; { BerekenAlfa_en_SigmaZ }

```

```

Procedure BerekenOntwerp puntX ( N : Integer ;
                                 Beta : Real ;
                                 Var X,Mu,Si,Alfa : ARY ) ;

```

```

Var
    I : Integer ;

```

```

Begin
For I := 1 TO N Do
    X[I] := Demping*(Mu[I] - Beta * Alfa[I] * Si[I]) +
            (1-Demping) * X[I] ;
End ; { BerekenOntwerppuntX }

Procedure Uitvoer (      N,Tel      : Integer ;
                    Rekenduur,Beta,Faalkans : Real ;
                    Var VariableName      : ARS ;
                    Var Mu,Si,X,Alfa      : ARY ) ;

Var
    I,Year,Month,Day : Integer ;

Procedure Space ( Aantal_space : Integer ) ;

Var
    J : Integer ;

Begin
For J := 1 TO Aantal_space Do
    Writeln (Dvc) ;
End ;

Begin
Assign (Dvc,uit) ;
Rewrite (Dvc) ;
If Uit = 'CON:' Then Clrscr ;
Writeln (Dvc,JobName) ;
Writeln (Dvc) ;
Dater (Year,Month,Day) ;
Writeln (Dvc,'Datum : ',Day:2,'/',Month:2,'/',Year:5) ;
Writeln (Dvc) ;
Writeln (Dvc, 'R      = ',Rinit:6:0) ;
Writeln (Dvc, 'Beta   = ',Beta:5:3) ;
Writeln (Dvc, 'Faalkans = ',Faalkans:5) ;
If Tel > Telmax Then
    Begin
        Space (1) ;
        Writeln (Dvc, '*** Beta niet stabiel !') ;
        End ;
Writeln (Dvc) ;
If Uit = 'LST:' Then
    Begin
        Space(3) ;
        Write (Dvc,Chr(27),Chr(77),
            'NAAM TYPE A B C MU S X ') ;
        Writeln (Dvc,Chr(27),Chr(77),
            ' Alfa',Chr(27),Chr(83),Chr(0),' 2',Chr(27),Chr(84),' Eps') ;
        Space(1) ;
        Nortot := 0 ;
        For I := 1 TO N Do
            Nortot := Nortot + Abs (DZ[I]*X[I]) ;
    End ;

```

```

For I := 1 TO N Do
  Writeln (Dvc,Chr(27),Chr(80),Chr(15),VariableName[I],
           VerdType[I]:3,A[I]:10:3,B[I]:10:3,
           C[I]:10:3,Mu[I]:10:3,Si[I]:10:3,X[I]:10:3,
           Sqr( Alfa[I] ):10:3,DZ[I]*X[I]/Nortot:12:3) ;
Space(2) ;
Write (Dvc,Chr(18),Chr(27),Chr(77),
       'Aantal iteraties =',Tel:4) ;
Writeln (Dvc,
         Rekenduur =',Rekenduur:9:2,' s.',
         Chr(27),Chr(80)) ;
End ;
PR := True ;
Dummy := Z(X,PR) ;
Close (Dvc) ;
End ;

Procedure LeesR ( Var Rinit : Real ) ;

Begin
Rinit := NoInput ;
GotoXY (1,24) ;
Clreol ;
Write ('R-waarde : .... [Quit] ') ;
GotoXY (12,24 ) ;
Read (Rinit) ;
End ;

Procedure UITVSP ;

Var Welke : Name ;

Begin
Welke := 'N' ;
Repeat
  Gotoxy (1,24) ;
  Write ('Uitvoer op de printer : ') ;
  Read (Welke) ;
  Until (Pos( Copy(Welke,1,1), 'JjNnyY') <>0 ) ;
If Pos(Copy (Welke,1,1), 'Nn') <> 0 Then
  Uit := 'CON:'
Else
  Uit := 'LST:' ;
End ;

```

```

{ ***** }
{ *** }
{ ***          MAIN PROGRAM          *** }
{ *** }
{ ***** }

Begin
Clrscr          ;
Uit := 'CON:'   ;
LeesR (Rinit)   ;

While Rinit >= NoInput Do

    Begin
    Clrscr          ;
    PR := False    ;
    Get_Names      ;
    GetData(Naam)  ;
    Rekenduur := Tijdstip ;
    StartVector (N,X,Mu) ;
    Tel := 0      ;
    Mu_Z := Z(X,PR) ;
    Beta := 10    ;

    Repeat

        Tel := Tel +1 ;
        GotoXY (1,4) ;
        write ('Iteratie : ',tel,' ') ;
        Afda (N,X,Mu,Si) ;
        Differentieer (N,DX,X,DZ) ;
        Bereken_Alfa_en_SigmaZ (N,X,Mu,Si,DZ,Som1,SigmaZ) ;
        Beta := (Z(X,PR) + Som1) / SigmaZ ;
        BerekenOntwerppuntX (N,Beta,X,Mu,Si,Alfa) ;

        Until (((Abs(Z(X,PR) / Mu_Z) < Tol) and (Abs(Beta - BetaOud) < Tol ))
            Or (Tel > Telmax)) ;

        Faalkans := Gauss( Beta ) ;
        Rekenduur := Tijdstip - Rekenduur ;
        Uitvoer (N,Tel,Rekenduur,Beta,Faalkans,VariableName,Mu,Si,X,Alfa) ;
        Uitvsp ;
        If Uit = 'LST:' Then
            Begin
                Uitvoer (N,Tel,Rekenduur,Beta,Faalkans,VariableName,Mu,Si,X,Alfa) ;
                Uit := 'CON:' ;
            End ;
        LeesR ( Rinit ) ;

        End ;
        GotoXY (1,24 ) ;
        Clreol ;

End .

{ ***** }
{ ***** }

```



## D.2 - Betrouwbaarheidsfunctie

```

{ **** }
{ *** }
{ ***      Z-FUNCTIE FAALKANS SLUISDEUR IJMUIDEN      *** }
{ *** }
{ **** }

Function Z ( X : ARY )   : Real ;

Var Fverval,Fgolf,Ftotaal,
    HW,Waterdiepte,Hs,H_uit,
    Fextr,SVS,FHs,RaylExtr,SpecRed,
    F_alfa,Refl,L,H_sluis,H_tot,
    s,haling,Buiosc,F_Hamer,Zd,
    Diffrac,Biws,opsling_f,Z_deur,
    ZeesSt,T,P_dyn,P_stat,P_res           : Real ;

Const
    bn      = -15.00 ;           {niveau bodem}
    w       =  5.15 ;           {hoogte kerende wand}
    g       =  9.81 ;           {valversnelling}
    Rho_zout = 1.025 ;          {dichtheid zeewater}

Procedure Interface ;

Begin
    SVS      := X[1] ;           {stormvloedstand}
    FHs      := X[2] ;           {spreiding golf bij SVS}
    s        := X[3] ;           {steilheid}
    Buiosc   := X[4] ;           {buioscillatie}
    F_Hamer  := X[5] ;           {modelspreiding golf over dam}
    Diffrac  := X[6] ;           {diffractie coeff}
    Biws     := X[7] ;           {waterstand in sluis}
    opsling_f := X[8] ;           {tgv buiosc}
    RaylExtr := X[9] ;           {extr waarde verd voor golfbel.}
    ZeesSt   := X[10] ;          {rel. zeespiegelstijging}
    F_alfa   := X[11] ;          {modelspreiding reflectiecoeff}
End ; {interface}

Procedure Periode (   Hs,s : Real ;
                    Var T   : Real ) ;

Const CO = 1.56 ;

Var LO : Real ;

Begin
    LO := Hs / s ;
    T  := Sqrt(LO/CO) ;
End ;

Procedure Alfa (   HW : Real ;
                 Var Refl : Real ) ;

Const KnikpuntL = -7.899E-3 ;
      KnikpuntR =  5.244E-2 ;

```

```

Var H,D : real ;

Function E ( X : Real ) : Real ;

    Const Gladh_Par = 75 ;

    Begin
    E      := 1/Pi * Arctan (Gladh_Par * X ) + 0.5 ;
    End ;

Begin
H      := HW - w      ;
D      := HW - bn    ;
Refl   := E(KnikpuntL-H/D) ;
Refl   := Refl + E(H/D-KnikpuntL)*E(KnikpuntR-H/D)*(-6.333 * (H/D) + 0.95 ) ;
Refl   := Refl + E(H/D-KnikpuntR)          *(-0.8 * (H/D) + 0.66 ) ;
End ;

Procedure F_verval( hz,hb      : Real      ;
                   Var Fverval : Real ) ;   {hz=hoogte buitenwater}
                                           {hb=hoogte binnenwater}

Var
wz,          {waterdiepte buitenzijde}
wb,          {waterdiepte binnenzijde}
wza,        {verschil waterdiepte_buiten/sluisdeur }
Fz,         {kracht buitenzijde}
Fb : Real ;  {kracht binnenzijde}

Begin
wz      := hz - bn      ;
wb      := hb - bn      ;
Fz      := Rho_zout*g*wz*wz/2 ;
If (w-bn) < wz Then
    Begin
    wza := wz - ( w - bn ) ;
    Fz  := Fz - Rho_zout*g*wza*wza/2 ;
    End ;
Fb      := Rho_zout*g*wb*wb/2 ;
Fverval := Fz-Fb ;
End ; { F_verval }

Function Cosh ( X:Real ) : Real ;

Var Hulp1,Hulp2,Hulp3 : Real ;

Begin
Hulp1 := Exp(X) ;
Hulp2 := 1/Hulp1 ;
Hulp3 := Hulp1+Hulp2 ;
Cosh  := Hulp3/2 ;
End ;

Function Sinh ( X:Real ) : Real ;

```

```
Var Hulp1,Hulp2,Hulp3 : Real ;
```

```
Begin
Hulp1 := Exp(X) ;
Hulp2 := 1/Hulp1 ;
Hulp3 := Hulp1-Hulp2 ;
Sinh := Hulp3/2 ;
End ;
```

```
Function Tanh ( X:Real ) : Real ;
```

```
Var Hulp1,Hulp2,Hulp3,Hulp4 : Real ;
```

```
Begin
Hulp1 := Exp(X) ;
Hulp2 := 1/Hulp1 ;
Hulp3 := Hulp1-Hulp2 ;
Hulp4 := Hulp1+Hulp2 ;
Tanh := Hulp3/Hulp4 ;
End ;
```

```
Procedure G1fle ( H,T : Real ;
                 Var L1 : Real ) ;
```

```
Const CO = 1.56 ;
Var LO,L2,X,A : Real ;
```

```
Begin
```

```
LO := CO*T*T;
If H > LO/2 Then L1 :=LO
Else
  If H < LO/25 Then L1 := T*Sqrt(g*H)
  Else
    Begin
      L1 := LO ;
      A := 2*Pi*H ;
      X := A/L1 ;
      L2 := Tanh(X)*LO ;
      L1 := (2*L2+L1)/3 ;
```

```
While Abs(L1-L2) > 0.01 Do
```

```
  Begin
    X := A/L1 ;
    L2 := Tanh(X)*LO ;
    L1 := (2*L2+L1)/3 ;
  End ;
```

```
End ; {g1fle}
```

```
Procedure F_Golf ( L,Hin,b,bodemh,Ref1 :Real ;
                  Var Fgolf :Real ) ;
```

```
Var d,F,F1,Hulp1,Zb,k,kd,KZa : Real ;
```

```

Begin
  d      := b-bodemh           ; {d = waterdiepte      }
  k      := 2*Pi/L             ; {b = buitenwaterstand}
  kd     := k*d                ; {w = deurhoogte}
  Hulp1  := (w-b)              ;
  If Hulp1 < 0 Then kZa := k*(w-bodemh)
                    Else kZa := k*d          ;
  F      := Rho_zout*g*Hin*(1+Ref1)*Sinh(kZa) / (2*k*Cosh(kd)) ;
  If Hulp1 < 0 Then F1 := 0 Else
  Begin
    If Hin > Hulp1 Then Zb := Hulp1
                    Else Zb := Hin          ;
    F1      := Rho_zout*g*(-Zb*Zb/2+Hin*Zb*(1+Ref1)/2) ;
  End
  Fgolf   := F+F1              ;
End                                             ; {F_Golf}

Procedure Spectrum (      Hs,Tp,HW,bodemh,Ref1 : Real      ;
                    Var Fpectrum              : Real ) ;

Const Hg =      1.0 ;
      Macht1 = -2.50 ;
      Macht2 =  3.95 ;
      Aant   =  40 ;

Var Teller                : Integer      ;
    T,Fgolf,Freq,L1,Overdracht,
    Oppervlak,Totaal,gamma,Stap,
    Fp,MO,Waterdiepte     : Real        ;
    Golfbel,Energie       : Array [0..Aant] OF Real ;

Procedure Bereken_gamma (      Hs,Fp : Real      ;
                            Var gamma : Real ) ;

Const Lg = 1.0 ;

Var Opp,Hulpmacht : Real ;

Begin
  Hulpmacht := Macht1 + 1 ;
  Opp       := Power(Fp,Hulpmacht) / (Macht2 + 1) ;
  Opp       := Opp + Power(Lg,Hulpmacht) / (Macht1 + 1) ;
  Opp       := Opp - Power(Fp,Hulpmacht) / (Macht1 + 1) ;
  gamma     := Sqr (Hs) / ( 16 * Opp) ;
End                                               ; { Bereken_gamma}

Function Energd ( Freq,gamma,Fp : Real ) : Real ;

Var Hulpmacht : Real ;

Begin
  Hulpmacht := Macht1 - Macht2 ;
  If Freq < Fp Then
    Energd := gamma * Power (Fp,Hulpmacht) * Power (Freq,Macht2)
  Else

```

```

    Energd := gamma * Power (Freq,Macht1) ;
End                                     ; {Energd}

Begin

Fp      := 1 / Tp      ;
Bereken_gamma ( Hs,Fp,gamma ) ;

Golfbel[0] := 0      ;
Energie[0] := 0      ;
Stap      := 1 / Aant ;

For Teller := 1 To Aant Do

    Begin
    Freq      := Teller * Stap ;
    T        := 1 / Freq      ;
    Waterdiepte := HW - bodemh ;
    Glfle ( Waterdiepte,T,L1 ) ;
    F_golf ( L1,Hg,Hw,bodemh,Refl,Fgolf ) ;
    Overdracht := Fgolf * Fgolf ;
    Energie[Teller] := Energd (Freq,gamma,Fp) ;
    Golfbel[Teller] := Overdracht * Energie[Teller] ;
    End ;

Totaal := (Golfbel[0] + Golfbel[Aant]) / 2 ;
MO      := (Energie[0] + Energie[Aant]) / 2 ;

For Teller := 1 to (Aant-1) do
    Begin
    Totaal := Totaal + Golfbel[Teller] ;
    MO     := MO     + Energie[Teller] ;
    End ;

Oppervlak := Totaal * Stap ;
MO        := MO        * Stap ;

Fspectrum := 4 * Sqrt (Oppervlak) / Hg ;
Glfle ( Waterdiepte,Tp,L1 ) ;
F_golf ( L1,Hs,Hw,bodemh,Refl,Fgolf ) ;
SpecRed := Fspectrum/Fgolf ;

End                                     ; { Spectrum }

Procedure Golfbreker(T,Hs,s,HW:Real;Var H_uit : Real);

Const
H_kruin = 4 ;
Talhel = 2 ;

Begin
H_uit := -0.69*(H_kruin-HW)*Sqrt(Hs*2*Pi)/(T*Sqrt(g)*1/Talhel)+0.58*Hs ;
End                                     ; {Golfbreker}

```

```

{ ----- }
{ ----- Main Program Function Z(X) ----- }
{ ----- }

```

```

Begin
Interface
HW      := SVS + ZeesSt + Buiosc ;
Hs      := Sqrt(3.45*SVS-7.67)+5.0 + F_Hs ;
Periode (Hs,s,Tp) ;
Golfbreker (Tp,Hs,s,HW,H_uit) ;
Haling   := Buiosc*Opsling_f ;
HW       := SVS + ZeesSt + Haling ;
H_sluis  := Diffrac*(H_uit*F_Hamer) ;
F_verval (HW,Biws,Fverval) ;
Waterdiepte := HW-bn ;
Alfa     (HW,Refl) ;
Refl     := Refl + F_alfa ;
Spectrum (H_sluis,Tp,HW,bn,Refl,Fgolf) ;
Fextr    := RaylExtr * Fgolf ;
Ftotaal  := Fverval + Fextr ;
Z        := Rinit - Ftotaal ;

```

If PR Then

```

Begin
Writeln (Dvc, ' ') ;
Writeln (Dvc, 'Relevante waarden : ') ;
Writeln (Dvc, ' ') ;
Writeln (Dvc, 'Hoogte kerende wand : ',w :10:2) ;
Writeln (Dvc, 'Golfhoogte (Hs) : ',Hs :10:2) ;
Writeln (Dvc, ' periode ; ',T :10:2) ;
Writeln (Dvc, 'Golfhoogte na dam : ',H_uit :10:2) ;
Writeln (Dvc, 'Golfhoogte bij sluis : ',H_sluis:10:2) ;
Writeln (Dvc, 'Waterstand bij sluis : ',HW :10:2) ;
Writeln (Dvc, 'Haling : ',Haling :10:2) ;
Writeln (Dvc, 'Reflectiecoefficient : ',Refl :10:2) ;
Writeln (Dvc, 'Kracht door verval : ',Fverval:10:2) ;
Writeln (Dvc, ' door sign. golf : ',Fgolf :10:2) ;
Writeln (Dvc, ' door extr. golf : ',Fextr :10:2) ;
Writeln (Dvc) ;
End ;

```

```

{ ----- }
{ ----- End Program Function Z(X) ----- }
{ ----- }

```

BIJLAGE E : CONTROLE WESTELIJKE WINDRICHTING

Bij westelijke windrichtingen zal de optredende zee golf lager zijn dan bij noordwestelijke richting. De strijklengte ten westen van IJmuiden is immers veel kleiner dan die ten noordwesten. Met behulp van de grafieken van Groen en Dorrestein [lit. 8] kan aan de hand van strijklengte en windsnelheid de optredende golfhoogte bepaald worden.

Windsnelheid :  $U = 24$  m/sec.

Windbaan :  $F = 180$  km.

Met figuur E.1 volgt voor de significante golfhoogte op zee :

$$H_s = 7.0 \text{ m.}$$

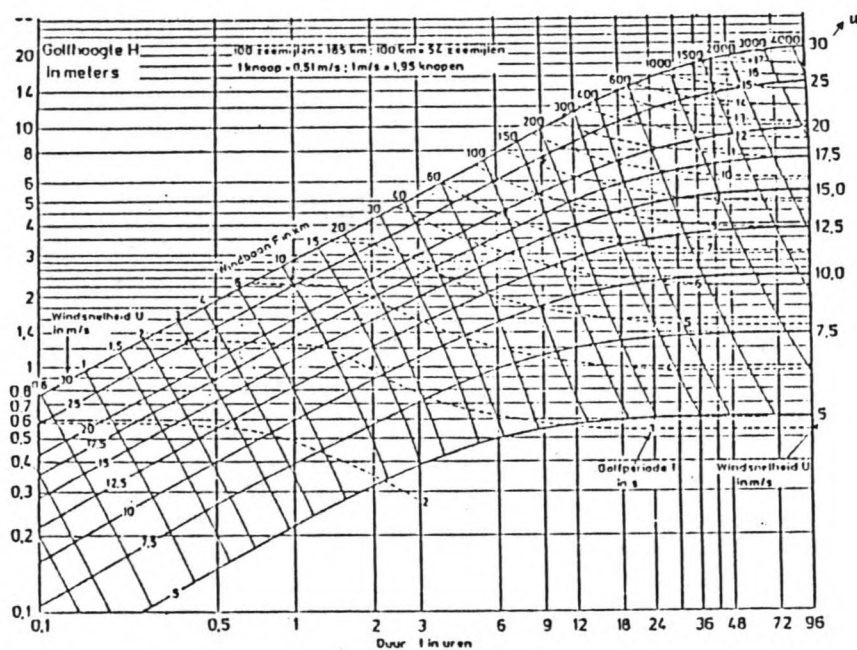


Fig. E.1 : Golf-groei grafiek [lit. 8]

Als de golf de haven nadert treden 2 verschijnselen op n.l. overslag over de havendam van de golf die op de havendam komt en diffractie van de golf die ongehinderd de haven binnen kan lopen. Er wordt nu gekozen voor de volgende aanpak : Voor beide gevallen wordt de resulterende golfhoogte bepaald ter plaatse van het Forteiland waarna deze kwadratisch gesuperponeerd een resultante leveren. Vervolgens wordt weer een diffractie-berekening uit gevoerd om te komen tot de golfhoogte die de sluis bereikt.

- Overslag

$$H_t = H_s * ( -0.69 * h/z_s + 0.58 )$$

met :  $h$  = waterhoogte boven kruinhoogte dam :  $h = 1.15$  m.

$$L_0 = (g T^2)/2\pi = 127 \text{ m.}$$

$$z_s = \sqrt{(H_s * L_0)} * \tan \alpha = 7.4 \text{ m.}$$

Zodat :  $H_t = 3.29$  m.

- Diffractie (zie fig. E.2)

Er treedt tweeledige diffractie op, te weten diffractie van direct inlopende zeegolven ten gevolge van de havendammen en vervolgens ten gevolge van de havenhoofden van de binnenhaven.

1) Diffractie ten gevolge van de havendammen :

$Y_1 = 1165$ m.	$Y_2 = 525$ m.
$R_1 = 1165.7$ m.	$R_2 = 526.5$ m.
$W_1 = 0.0055$	$W_2 = 0.0018$

Via fig. B.3 volgt voor de diffractiecoëfficiënt = 0.26, zodat voor de resulterende golfhoogte volgt :  $H = 0.26 * 7 = 1.84$  m.

Kwadratisch superponeren bij de golven als gevolg van overslag over de havendammen levert :  $H = 3.76$  m.

2) Diffractie ten gevolge van de havenhoofden van de binnenhaven :

$Y_3 = 840$ m.	$Y_4 = 940$ m.
$R_3 = 840$ m.	$R_4 = 953$ m.
$W_3 = 0$	$W_4 = 0.1023$

De diffractiecoëfficiënt bedraagt : 0.15  
De golfhoogte bij sluis wordt nu :

$$3.76 * 0.15 = 0.56 \text{ m.}$$

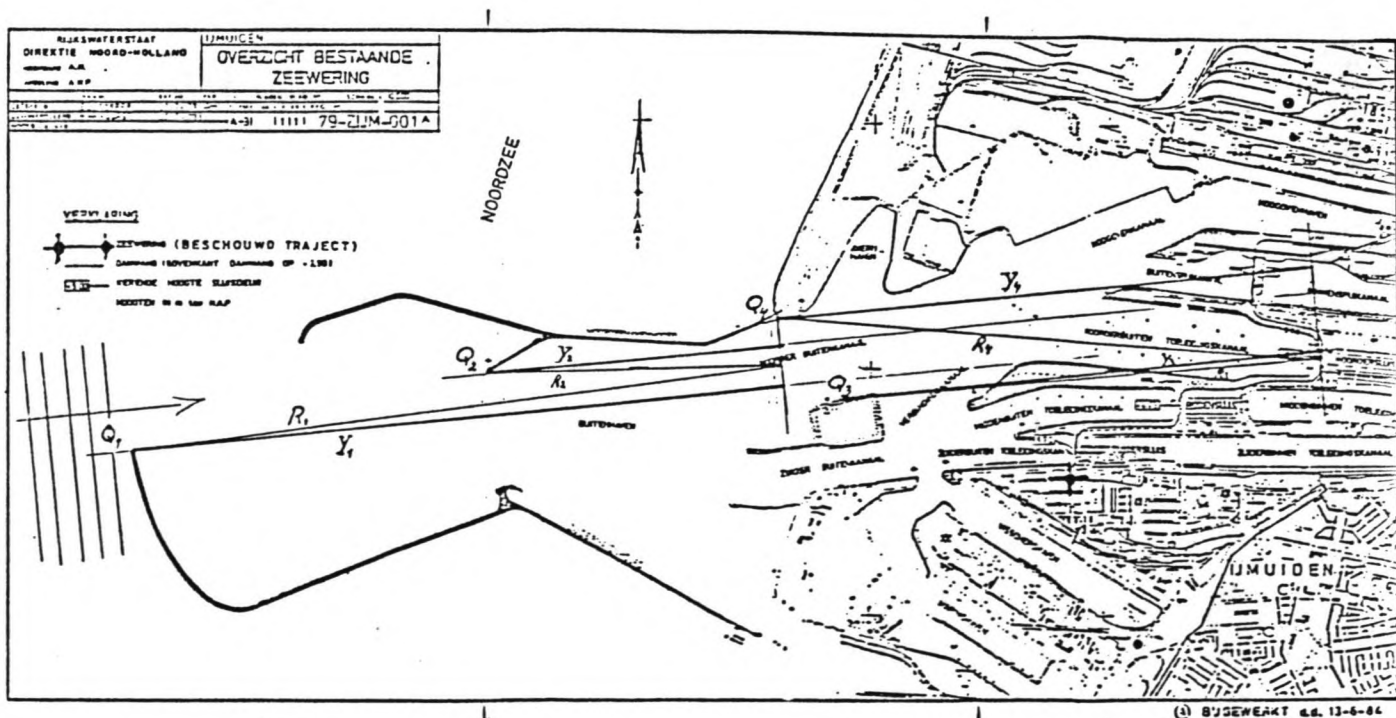


Fig. E.2 Diffractieparameters bij westenwind



Conclusie :

De storm uit het noordwesten is maatgevend ten opzichte van die uit het westen.

Opmerking 1 :

Het resultaat wordt ook versterkt wanneer gekeken wordt naar de golflengten. De golflengte bij golven uit het noordwesten is groter dan die van de golven uit het westen, deze golven werken dus ongunstiger voor de belasting op de sluisdeuren.

Opmerking 2 :

Bij de berekening is ter vergelijking uitgegaan van een waterstand van NAP + 5.15 m. ( D.i. de hoogwaterstand met een overschrijdingskans van  $1.0E-4$ .) Deze waterstand komt echter voor bij de maatgevende noordwestelijke stormrichting. De te verwachten waterstand bij westelijke stormrichting zal echter lager zijn zodat de optredende golfhoogte ook lager zal zijn. In [lit. 5] wordt voor de optredende waterstand NAP + 4.90 m. genoemd.

BIJLAGE F : OVERSCHRIJDINGSKANS STILWATERNIVEAU.

De hoogte van het stilwaterniveau is van belang voor de hoeveelheid water die gedurende de 'kritieke' periode de sluiskolk in zal stromen. Deze mag niet te groot zijn in verband met de belasting op de binnendeur en het peil van het Noordzeekanaal.

De waterhoogte voor de sluis wordt bepaald door :

- Hoogwater peil (Stormvloedstand)
- Relatieve Zeespiegelstijging
- Buiooscillatie
- Opslingerfactor

Het stilwaterniveau wordt uit deze factoren berekend met :

$$SWN = HW + opsl\_f * buiosc. + Zeesp\_st.$$

Voor deze variabelen worden dezelfde verdelingen, verwachtingen en spreidingen aangenomen als voor de berekening van de belasting op de sluisdeur. Met behulp van een aangepaste Z-functie volgen onderstaande waarden :

Tabel F.1 Overschrijdingskans stilwaterniveau

Waterstand	P <sub>ov</sub>
NAP + 4.00 m	5.6 E-2
+ 4.50 m	1.5 E-2
+ 5.00 m	3.6 E-3
+ 5.50 m	8.2 E-4
+ 6.00 m	1.8 E-4
+ 6.50 m	4.1 E-5

Weergegeven in een overschrijdingslijn :

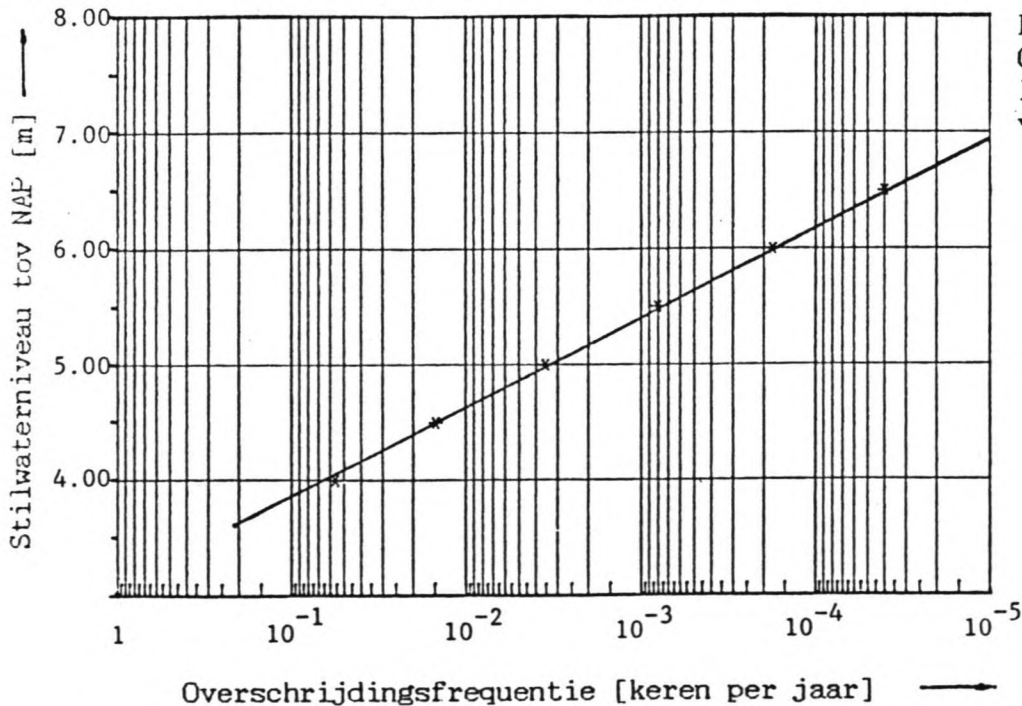


Fig. F.1  
Overschrijdings-  
lijn stilwaterni-  
veau.

BIJLAGE G : OVERZICHT GOLFMEETPOSITIES

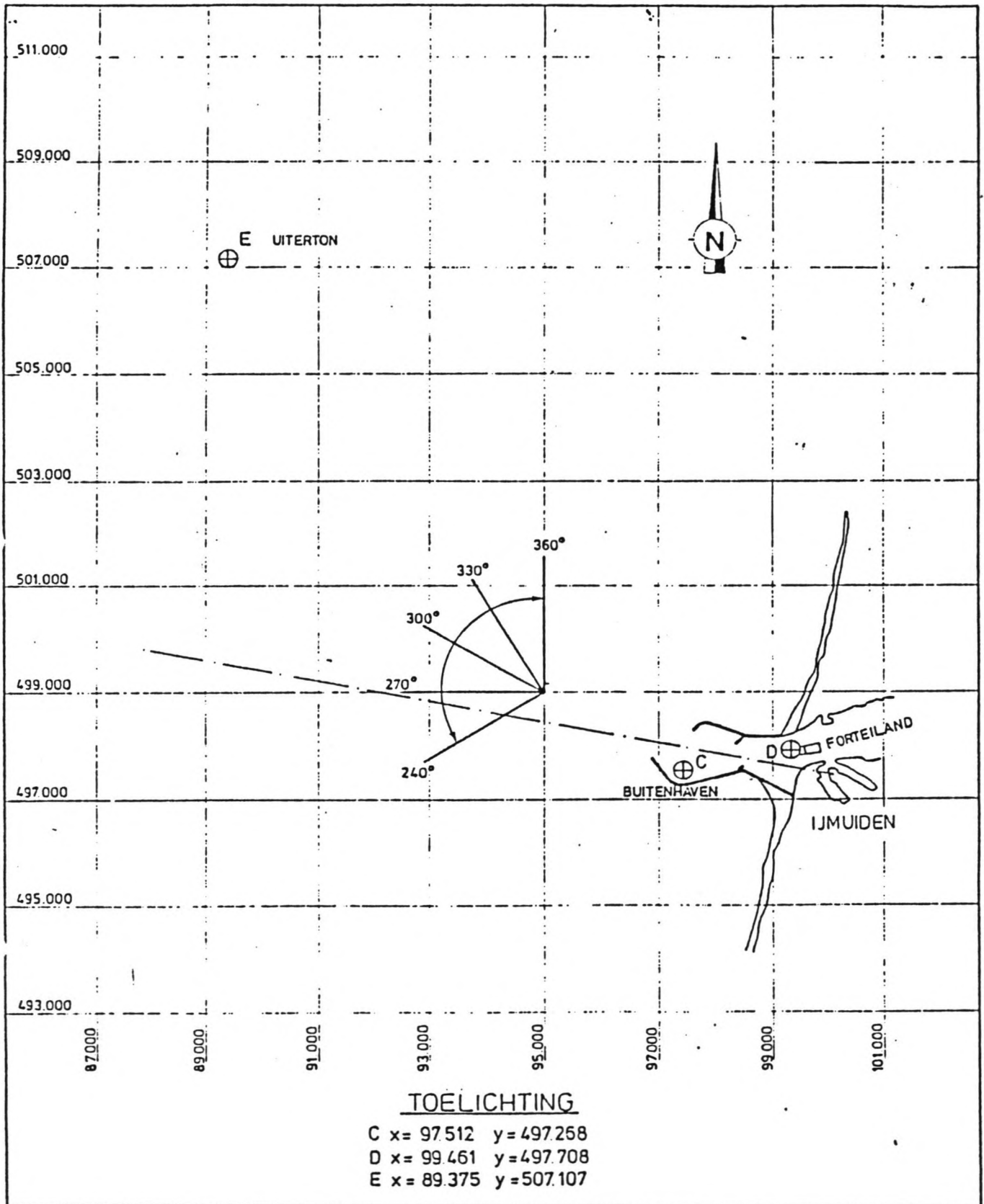


Fig. G.1 Overzicht golfmeetposities



