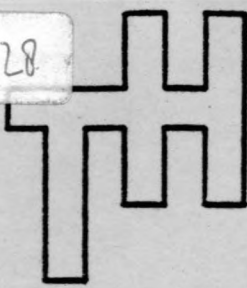


628

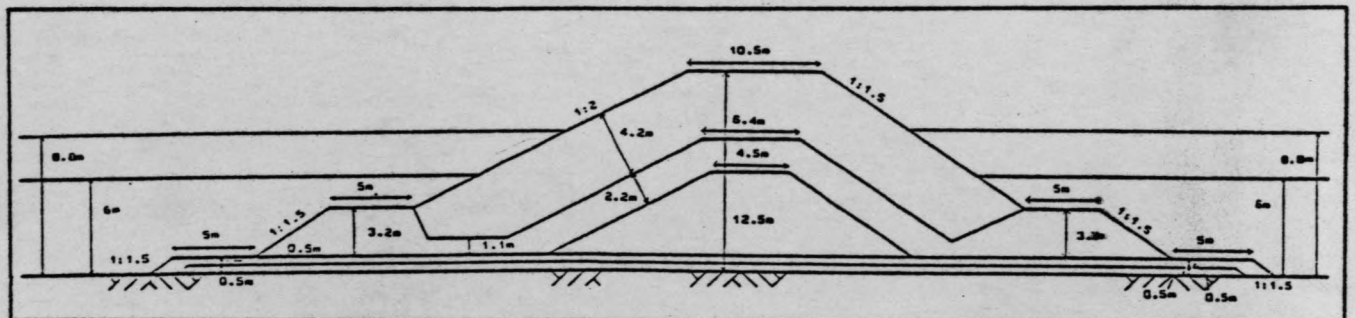


TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

Afdeling der Civiele Techniek

Vakgroep Kustwaterbouwkunde

Het ontwerpen van een golfbreker



in Zarzis, Tunesië

deelstudie

J.J. Gallmann

Delft, mei 1985

VOORWOORD

In dit rapport wordt verslag gedaan van de werkzaamheden, die ik in het kader van mijn deelstudie gedaan heb. Deze studie omvatte zeven weken.

Het onderwerp - het ontwerpen van een golfbreker in Zarzis, Tunësië - gaf mij de mogelijkheid om enerzijds ervaring op te doen in het vakgebied van de waterbouwkunde in het algemeen en in het onderwerp - golbrekers - in het bijzonder en anderzijds ontwerpervaring op te doen.

De volgende personen wil ik bedanken voor hun bijdrage :

prof.dr.ir. E.W. Bijker en

ir. A. Paape voor de begeleiding,

ir. M.H. Lindo voor aanvullende informatie en

C. Valstar voor het typewerk.

Delft, mei 1985

J.J. Gallmann

INHOUDSOPGAVE

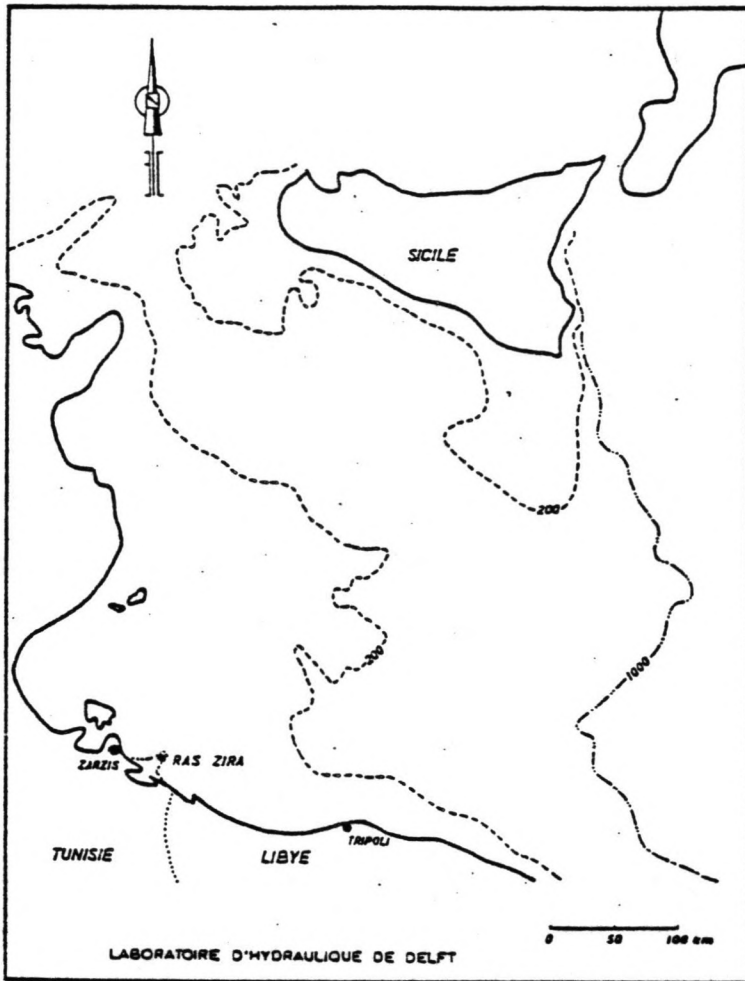
	blz.
Symbolenlijst	1
Lijst met afkortingen	2
Inleiding	3
De functies van de golfbreker	4
Keuze tussen een monoliet en een rubble mound golfbreker	5
- conclusie	6
Bepaling van het golfveld	7
- getijden	7
- storm surge	8
- seiches	10
- wave set up	10
- 0°-richting	11
- 30°-richting	12
- 60°-richting	13
- 90°-richting	14
Het ontwerpen van de golfbreker	16
- hoogte van de golfbreker	16
- helling voortalud en afdekelementen	18
- filterlaag	22
- teenconstructie voortalud	23
- teenconstructie achtertalud	25
- breedte van de kruin	25
Uitvoering	26
Kostenindicatie	27

Symbolenlijst

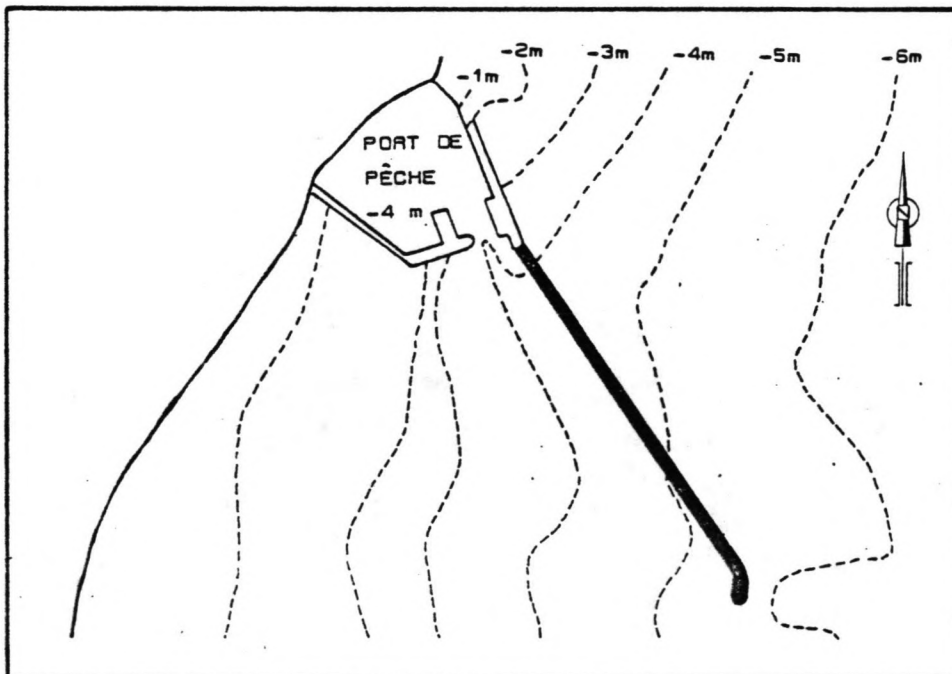
C	- aantal blokken per m ² talud	(-)
d	- waterdiepte	(m)
H _i	- inkomende golfhoogte	(m)
H _s	- significante golfhoogte	(m)
H _t	- doorgaande golfhoogte	(m)
h	- totale hoogte van de golfbreker	(m)
K _D	- schade coëfficiënt	(-)
K	- empirische laagcoëfficiënt	(-)
m	- aantal lagen	(-)
n	- porositeit	(-)
T _p	- periode, die hoort bij de piek in het frequentiespectrum van de golfhoogte	(s)
T _s	- periode, die hoort bij de significante golfhoogte	(s)
t	- laagdikte	(m)
U	- windsnelheid	(m/s)
W	- benodigde gewicht van een element	(kg)
z _c	- kruinhoogte ten opzichte van de water-spiegel	(m)
Δ	- $(\frac{\rho_a - \rho}{\rho})$	(-)
Δh _{ss}	- waterdiepteverandering ten gevolge van storm surge	(m)
Δh _{wsu}	- waterdiepteverandering ten gevolge van wave set up	(m)
ρ _a	- soortelijke massa van een element	(kg/m ³)
ρ	- soortelijke massa van water	(kg/m ³)
θ	- hoek van een taludhelling	(rad)

Lijst met afkortingen

- CD - Chart Datum
- MHWN - Mean High Water Neap
- MHWS - Mean High Water Spring
- MLW - Mean Low Water Neap
- MLWS - Mean Low Water Spring



figuur 1



figuur 2

Inleiding

In Zarzis, Tunesië, is een vissershaven. Deze haven wil men uitbreiden, zodat er grotere schepen kunnen binnenvaren.

De uitbreiding zal in twee fasen geschieden.

Een onderdeel van de eerste fase is de aanleg van een golfbreker. In figuur 2 is deze in het zwart weergegeven.

Er zal in deze studie een dwarsdoorsnede van deze golfbreker ontworpen worden. Hierbij wordt de vorm, in langsrichting, van de golfbreker als vaststaand aangenomen. De waterdiepte ter plekke van de, te ontwerpen doorsnede van de, golfbreker is 6 meter.

Alle benodigde informatie is te vinden in [1].

Extra informatie betreft:

- de bodem: deze is zandig en heeft voldoende draagkracht
- een steengroeve in de nabijheid van de haven. De zwaarste stenen wegen 4 ton. De stenen van 1 - 4 ton zijn niet meer dan 20% van wat er uit de groeve komt. De dichtheid van de stenen is 2400 kg/m^3 .
- het materieel: er is normaal materieel beschikbaar. Er wordt in ieder geval geen bijzonder materieel gemaakt.

De functies van de golfbreker

De golfbreker, die bij Zarzis gepland is, heeft drie functies. Allereerst moet hij de haven beschermen tegen golven, zodat de schepen bijna altijd binnen kunnen varen en een voldoende rustige ligging wordt geboden. Het is onjuist om te eisen, dat ze altijd kunnen binnenvaren, omdat dit zou leiden tot een onevenredig dure constructie.

De golfbreker moet er ook voor zorgen, dat de stroming de schepen niet belemmert om binnen te varen. In (1) staat, dat als de golfbreker de haven voldoende tegen golven beschermt, de constructie voldoende gesloten is om stroom te geleiden. Of stroming hinderlijk is, hangt mede af van het tracée van de golfbreker.

Als laatste functie wordt gesteld, dat de golfbreker de hoeveelheid te baggeren materiaal in de aanvaarroute moet reduceren.

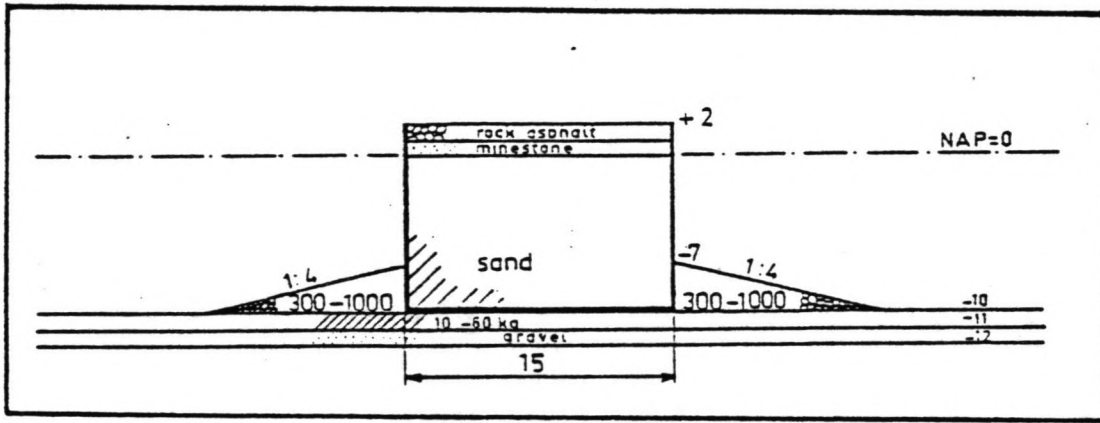
Uit deze drie functies kunnen eisen opgesteld worden, waaraan de golfbreker in ieder geval moet voldoen.

De golven aan lijzijde dienen duidelijk gelimiteerd te zijn. Ze mogen niet hoger zijn dan 1 à 2 meter om het binnenvaren niet onmogelijk te maken.

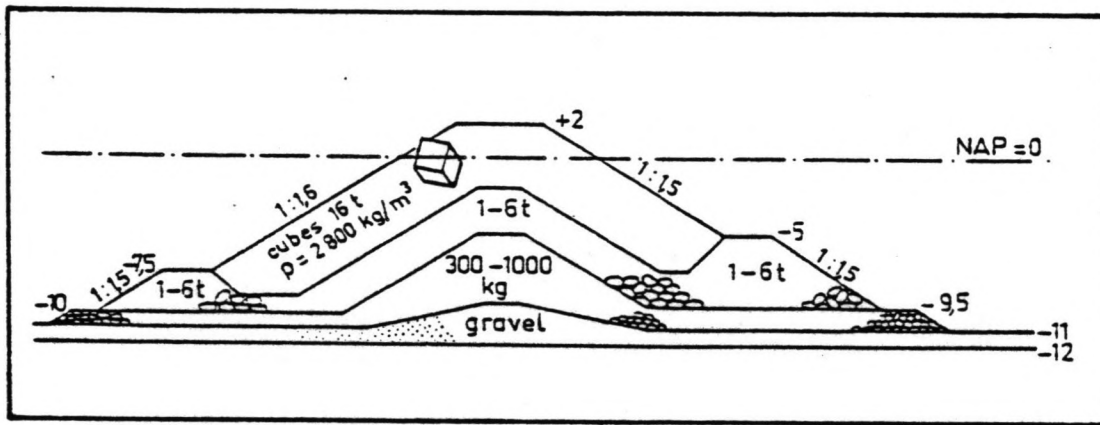
De stroomsnelheden variëren van 0.25 m/s tot 0.40 m/s. Dit zijn lage snelheden, die op zich al geen problemen geven. Om de hoeveelheid te baggeren materiaal te reduceren, moet de golfbreker voldoende zanddicht en de hoogte minimaal gelijk zijn aan MSL.

De eisen, waar de golfbreker aan moet voldoen zijn dus:

- de golven aan lijzijde mogen maximaal 1 à 2 meter zijn
- de golfbreker moet zanddicht zijn.



figuur 3 monoliet



figuur 4 rubble mound golfbreker

Keuze tussen een monoliet en een rubble mound golfbreker

Twee typen golfbrekers worden hier onderscheiden:

- een monoliet [zie figuur 3]
- een rubble mound golfbreker [zie figuur 4]

De figuren geven twee speciale voorbeelden. Het moge echter duidelijk zijn, dat voor beide typen er vele mogelijkheden zijn. Ook worden er wel tussenvormen toegepast.

De monoliet en de rubble mound verschillen nogal van elkaar. Er zullen nu een aantal eigenschappen vergeleken worden, waarna een keuze wordt gemaakt.

In het algemeen is de totale hoeveelheid materiaal bij een monoliet minder dan bij een rubble mound golfbreker. Grote verschillen hierin treden echter pas op bij grote waterdiepten. In dit geval met een waterdiepte van maximaal 6 meter zal het verschil gering zijn.

Als er in de buurt van de constructieplaats, of tegen niet al te hoge vervoerskosten, stenen met een goede gradatie in grote hoeveelheden beschikbaar zijn, dan gaat de voorkeur veelal uit naar een rubble mound golfbreker. In de buurt van Zarzis is een groeve met voldoende stenen van 1 tot 4 ton.

De constructietijd van een monoliet is in het algemeen korter. Voor dit project is de constructietijd echter niet expliciet gelimiteerd.

Een vergelijking tussen het schadeverloop van een monoliet en een rubble mound golfbreker valt in het voordeel van de rubble mound golfbreker uit. Hier is het schadeverloop veel geleidelijker. Direct hieraan gekoppeld is, dat als er schade optreedt dit makkelijker en goedkoper is te herstellen. Bovendien kan een rubble mound golfbreker, waar schade opgetreden is nog wel functioneren. Een beschadigde monoliet meestal niet.

Beide constructies kunnen zanddicht zijn. Een monoliet is het al vanaf het begin en een rubble mound wordt bij goede uitvoering ook zanddicht.

Ten aanzien van weg- en/of kadefaciliteiten biedt een monoliet betere mogelijkheden.

In water met een verlopende waterdiepte is een rubble mound

golfbreker makkelijker te construeren.

Bovendien is hij minder gevoelig voor erosie van de bodem dan een monoliet. Een monoliet vraagt een vlakke fundering. Een rubble mound golfbreker reflecteert de golven veel minder dan een monoliet. Dit is een groot voordeel voor een haven.

Conclusie

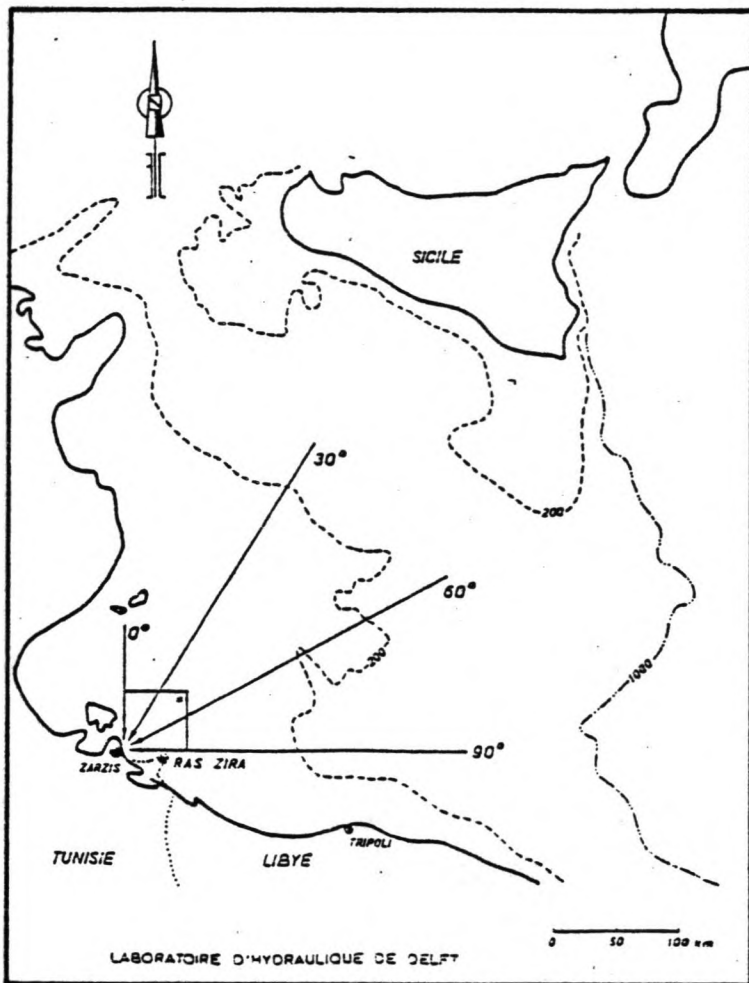
Er is een groeve beschikbaar met waarschijnlijk voldoende, goed te gebruiken stenen voor een rubble mound golfbreker. De waterstand verloopt tussen de 4 en 6 meter. Bij deze diepte heeft een rubble mound niet eens zo veel meer materiaal nodig, maar hij kan functioneren, als hij beschadigd is.

Schade aan een rubble mound golfbreker is makkelijker en goedkoper te herstellen dan bij een monoliet.

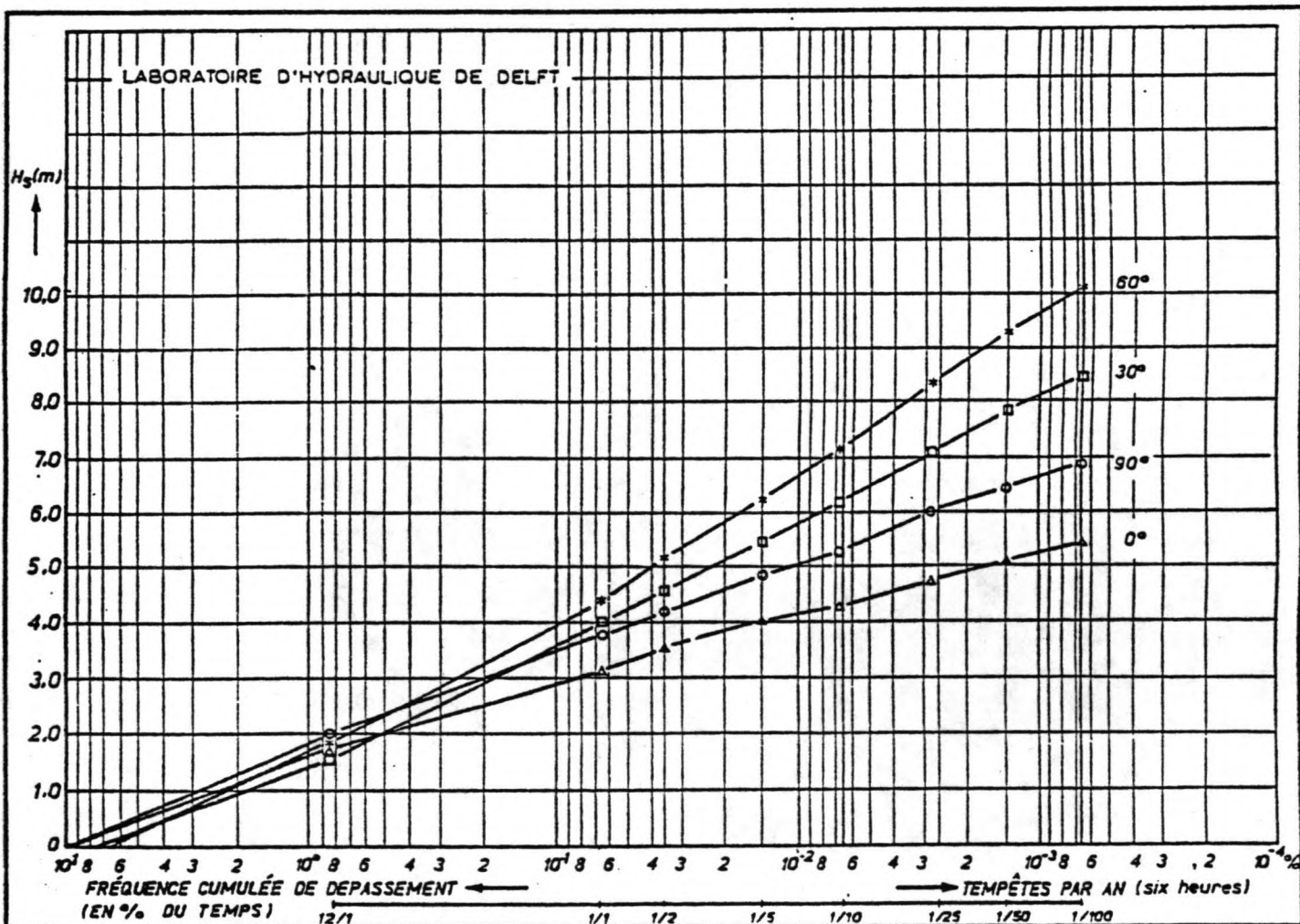
Wat betreft reflectie is een rubble mound golfbreker veel gunstiger.

Op basis van deze overwegingen wordt gekozen voor een rubble mound golfbreker.

figuur 5



figuur 6



Bepaling van het golfveld

Nu het type golfbreker bekend is, hoeft alleen het golfveld ter plaatse nog bepaald te worden.

Als het golfveld namelijk bekend is, kan met het echte ontwerp van de golfbreker begonnen worden.

In (1) is voor vier verschillende richtingen (zie figuur 5) een overschrijdingsfrequentie van golfhoogten (zie figuur 6) gegeven.

Bovendien is er een beperking van de golfhoogten gegeven: de golven kunnen niet hoger worden dan $H_s = 0.6 \times$ de waterdiepte.

Dit betekent, dat voor de frequentie van voorkomen van golven de frequentie van voorkomen van waterstanden maatgevend is.

De waterdiepte wordt bepaald door:

- bodemligging ten opzichte van Chart Datum
- getijden
- storm surge
- seiches
- wave set up

De diepte ten opzichte van Chart Datum is 6.0 meter. Samen bepalen zij de overschrijdingsfrequentie van waterdiepten. Als deze bekend is, is ook de overschrijdingsfrequentie van de grootste hoogte, die een golf kan hebben, bekend.

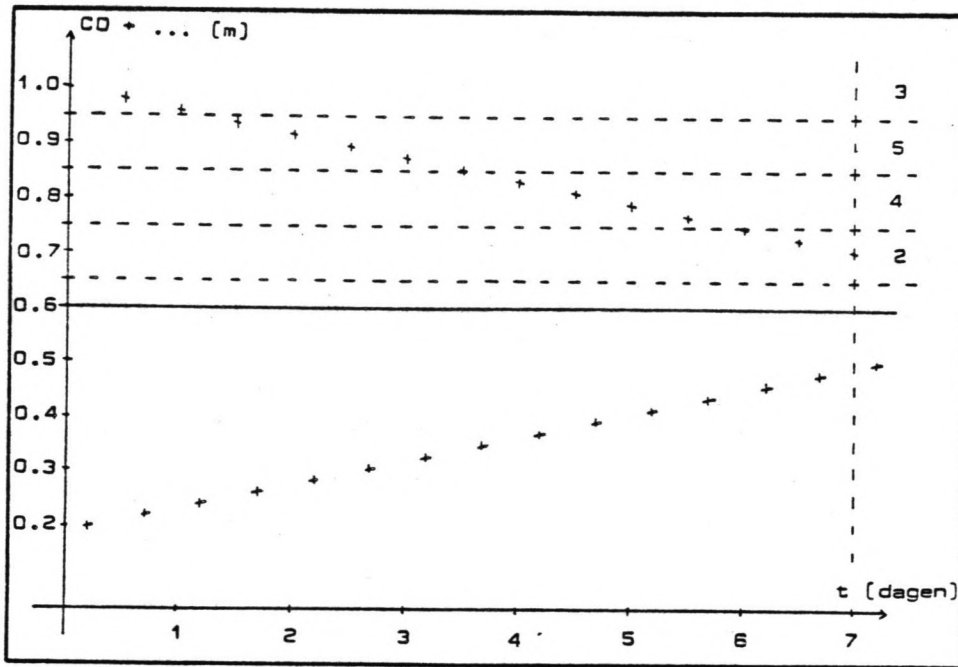
Getijden

In (1) zijn de waterstanden, die significant zijn voor de getijden, gegeven:

- MHWS : CD + 1.0 meter
- MHWN : CD + 0.7 meter
- MLWN : CD + 0.5 meter
- MLWS : CD + 0.2 meter

In (2) zijn de tijdstippen gevonden, wanneer hoog- en laagwater optreden:

- hoog water: 5.10 h en 17.10 h
- laag water: 0.20 h en 12.20 h



figuur 7

waterdiepte [m]	frequentie van voorkomen
6.7	0.7E-1
6.8	1.4E-1
6.9	1.8E-1
7.0	1.1E-1

Tabel 1

In een periode van zeven dagen komen alle waterstanden als gevolg van de getijbeweging voor.

Ervan uitgaande, net als in (1) gebeurt, dat een storm zes uur duurt, wordt een week in $7 \times 4 = 28$ intervallen van zes uur verdeeld. In ieder interval treedt een extreme waterstand op: hoog- of laagwater.

Voor de frequentieverdeling van de hoogst mogelijke waterstanden zijn alleen de maxima: hoogwaterstanden, interessant.

Er wordt voor de waterdiepten een klasse-indeling gemaakt, waarna de waterdiepten geturfd worden (zie figuur 7).

Aan de gemiddelden van de klassen kan nu een frequentie toegekend worden (zie tabel 1).

De hier gebruikte methode om de frequentie van voorkomen te bepalen, is nogal somber. Er wordt immers verondersteld, dat gedurende een storm van zes uur de waterdiepte voortdurend de grootste waarde heeft. De onnauwkeurigheid van de aanname is afhankelijk van de snelheid, waarmee de golfbreker zou bezwijken. Als hij snel zou bezwijken, is de aanname redelijk. In dat geval zal bezwijken optreden bij de hoogste golven, dat wil zeggen als ook het getij zijn maximale waarde heeft.

Maar als het bezwijken een langer durend proces is, dan is slechts gedurende een korte tijd van dit bezwijken de waterdiepte maximaal. De benadering is dan veel te somber.

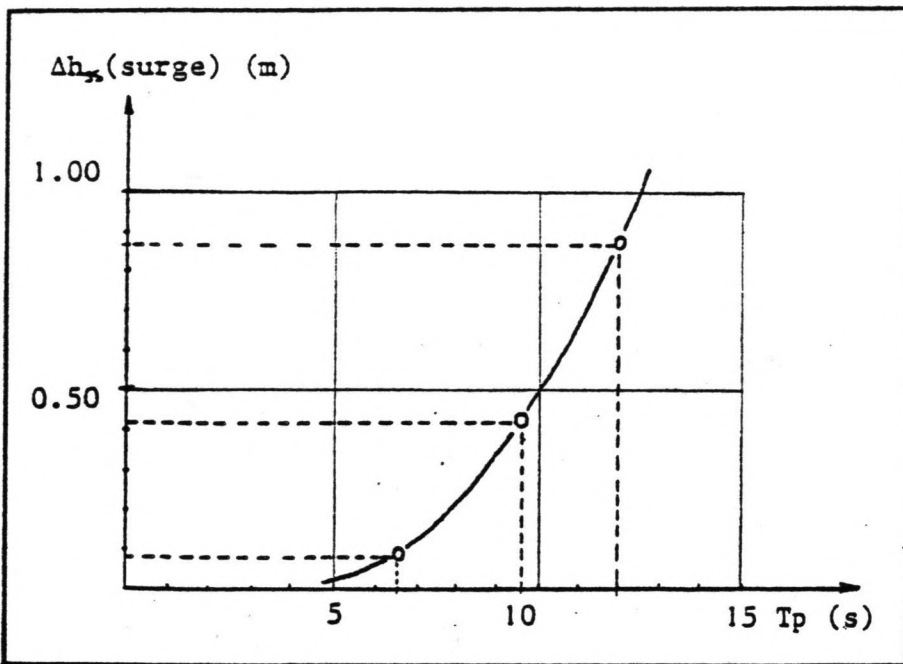
In het geval van deze golfbreker zal het bezwijken zeker wel enkele uren kosten. Dus is deze benadering een veilige.

Storm surge

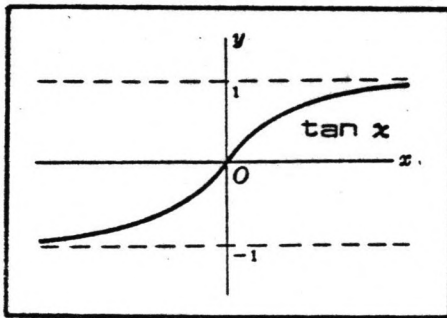
Storm surge is een extra waterspiegelverhoging ten gevolge van drukdaling. Opwaaiing speelt hierbij een verwaarloosbare rol, door de grote diepte van de Middellandse Zee.

Omdat zowel de golven als de storm surge gerelateerd zijn aan het windveld en het gecombineerde optreden van golven en storm surge van belang is, is een relatie gelegd tussen beide verschijnselen.

De frequentieverdeling van de storm surge wordt volledig afhankelijk verondersteld van de significante golfhoogte en de overschrijdingsfrequentie hiervan.



Figuur 8



Figuur 9

T (s)	h_{ss} (m)
6.5	0.0
9.5	0.4
12.0	0.8

Tabel 2

In [1] is een relatie tussen Δh_{ss} en T_p gegeven [zie figuur 8].

Δh_{ss} is de storm surge en T_p de periode, die hoort bij de piek in het frequentiespectrum van de golven.

Bovendien zijn er relaties tussen H_s en T_s : respectievelijk de significante golfhoogte en de daarbij behorende periode en tussen T_s en T_p :

$$- H_s = 0.62 T_s - 0.8 \quad \dots[1]$$

$$- T_p = 1.05 T_s \quad \dots[2]$$

Op deze wijze is T_p aan H_s gerelateerd en dus ook Δh_{ss} aan H_s .

De grootste waarde van T_p in figuur 8 is $T_p = 13$ sec.

Dit komt overeen met $H_s = 6.9$ meter. Omdat in de beschouwing ook hogere golven meegenomen moeten worden, dient de figuur geëxtrapoleerd te worden.

In [3] zijn relaties te vinden tussen T_s en U [de windsnelheid] en tussen h_{ss} en U :

$$- T_s = C_1 \tanh \left[\frac{C_2}{U^{3/4}} \right] \tanh \left[\frac{C_3/U^{1/2}}{\tanh \left[\frac{C_4}{U^{3/4}} \right]} \right] \quad \dots[3]$$

$$- \Delta h_{ss} = C_5 U^2 \quad \dots[4]$$

Invullen van [4] in [3] geeft:

$$T_s = C_7 \Delta h_{ss} \tanh \left[\frac{C_8}{\Delta h_{ss}^{3/8}} \right] \tanh \left[\frac{C_9 / \Delta h_{ss}^{1/4}}{\left[\frac{C_{10}}{\Delta h_{ss}^{3/8}} \right]} \right]$$

met C_1 t/m C_9 : constanten

$$h > 0 \text{ en } C_7 \text{ t/m } C_{10} > 0$$

$$0 < \tanh \left[\frac{C_{10}}{\Delta h_{ss}^{3/8}} \right] < 1$$

$$0 < \tanh \left[\frac{C_9 / h^{1/4}}{\tanh \left[\frac{C_{10}}{\Delta h_{ss}^{3/8}} \right]} \right] < 1 \text{ en } 0 < \tanh \left[\frac{C_8}{\Delta h_{ss}^{3/8}} \right] < 1$$

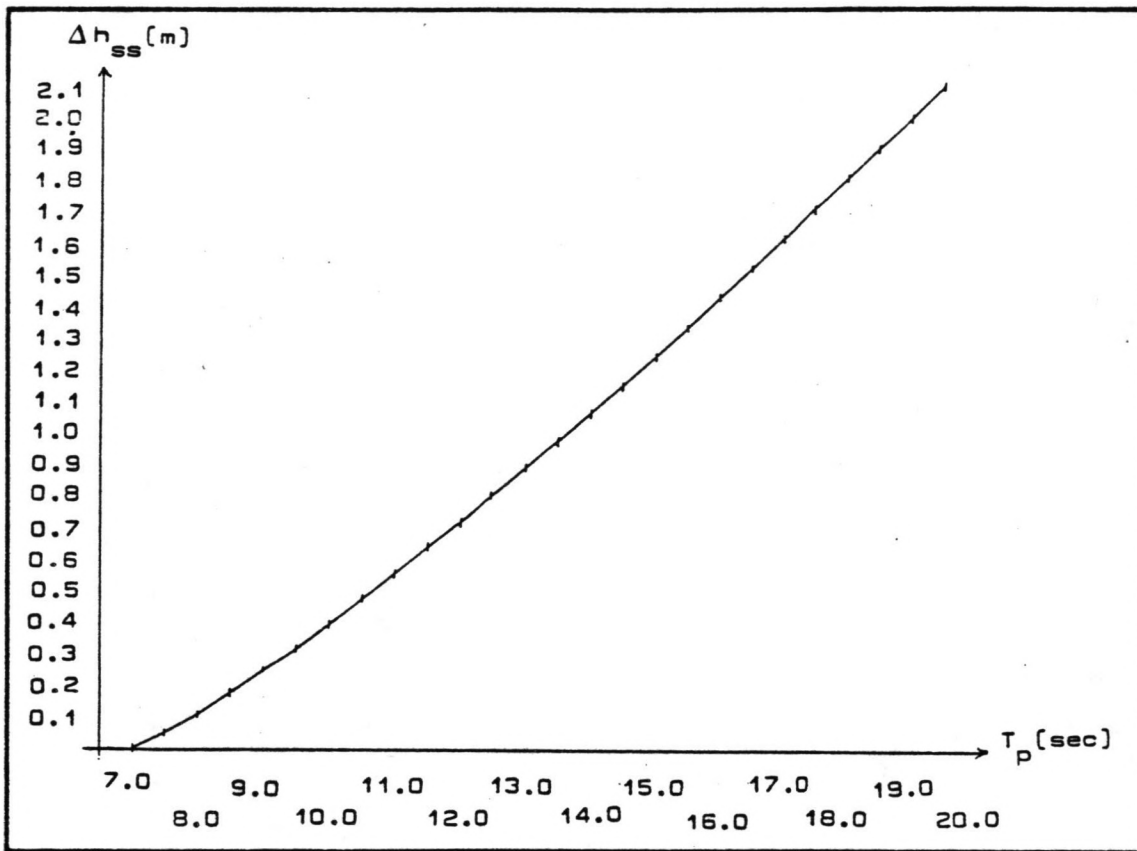
Anders geschreven:

$$T_s = C_7 \Delta h_{ss} F(\Delta h_{ss}) \text{ met } 0 < F(\Delta h_{ss}) < 1$$

$$h = C_{11} T_s^2 \times \frac{1}{[F(\Delta h_{ss})]^2} :$$

Dit wordt benaderd door: $\Delta h_{ss} = \alpha [T_s - \beta]^y$

Er zijn 3 punten bekend [1]:



Figuur 10

Uitwerken geeft:

$$\Delta h_{ss} = 0.11 (T - 6.5)^{1.17} \quad \dots(5)$$

Invullen van (1) en (2) in (5) geeft:

$$\Delta h = 0.11 (1.19 H_s - 2.93)^{1.17} \quad \dots(6)$$

Zo is de overschrijdingsfrequentie van de storm surge eenduidig gekoppeld aan die van de significante golfhoogte. Een grafische voorstelling van (5) is in figuur 10 in beeld gebracht.

Seiches

Seiches zijn lange golven, die o.a. opgewekt worden door buistoten.

Het gaat hier over waterdiepteveranderingen van decimeters en perioden van 10 à 20 minuten { zie (1) }.

De invloed hiervan mag verwaarloosd worden.

Wave set up

Wave set up (Δh_{wsu}) is de extra waterspiegelstijging ten gevolge van het transport van de watermassa naar de kust als gevolg van golven.

Wave set up is volledig gerelateerd aan de significante golfhoogte. Uit (1) volgt, dat voor wave set up een waarde van $0.1 \times H_s$ genomen mag worden.

$$\Delta h_{wsu} = 0.1 \times H_s \quad \dots(7)$$

De CD is altijd 6.0 meter.

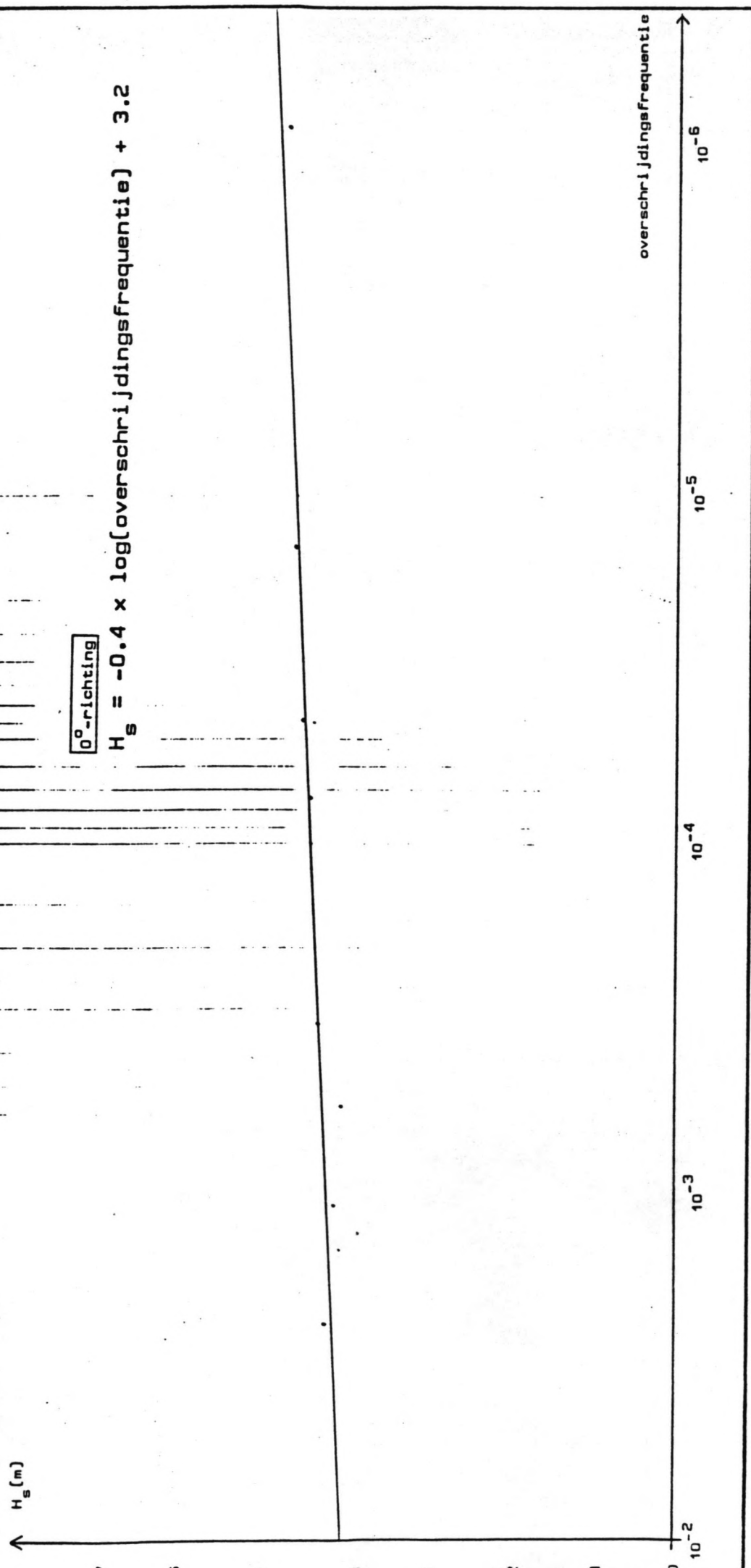
Storm surge en wave set up zijn beide gerelateerd aan H_s en zijn overschrijdingsfrequentie.

De getijden zijn hier onafhankelijk van en hebben een eigen frequentie van voorkomen.

Het is nu de bedoeling om de frequentie te bepalen van waterstanden ten gevolge van het getij, storm surge en wave set up samen.

Om deze bovengenoemde frequentie te vinden, moet de frequentie van voorkomen van getijden vermenigvuldigd worden met de overschrijdingsfrequentie van storm surge en wave set up. De gevonden frequentie is weer een overschrijdingsfrequentie.

Dit wordt voor elke golfrichting gedaan. Voor iedere richting



figuur 11

overschrijdings- frequentie	H _s (m)	Δh _{ss} (m)	Δh _{wsu} (m)	CD + Δh _{ss} + Δh _{wsu} (m)
8.0E-3	1.8	0.0	0.2	6.2
6.0E-4	3.2	0.1	0.3	6.4
3.5E-4	3.5	0.1	0.4	6.5
1.5E-4	4.0	0.2	0.4	6.6
6.0E-5	4.3	0.3	0.4	6.7
2.5E-5	4.8	0.4	0.5	6.9
1.5E-5	5.1	0.4	0.5	6.9
8.0E-6	5.3	0.5	0.5	7.0

Tabel 3

overschrijdings- frequentie	H _s (m)	log (overschrijdings- frequentie)
5.7E-4	4.1	-3.2
1.1E-3	4.2	-3.0
2.4E-3	4.3	-2.6
3.3E-4	4.4	-3.5
7.4E-5	4.5	-4.1
4.4E-5	4.6	-4.4
1.4E-5	4.7	-4.9
8.8E-7	4.8	-6.1

Tabel 4

is dan de overschrijdingsfrequentie van waterdiepten bekend. Door deze waterdiepten met 0.6 te vermenigvuldigen, wordt de grootste golfhoogte gevonden, die op kan treden.

Het is niet bekend of hij inderdaad op zal treden. Op deze manier wordt dus weer de meest ongunstige situatie beschouwd. Per richting is nu bekend hoeveel keer per jaar een bepaalde golfhoogte overschreden kan worden. De gegevens van alle richtingen worden samengevoegd tot een overschrijdingsfrequentieverdeling.

De hier beschreven berekeningsmethode zal nu uitgevoerd worden.

0°-richting

De eerste twee kolommen worden uit figuur 6 gehaald. Kolom 3 wordt met behulp van [6] bepaald. Kolom 4 met behulp van [7]. Kolom 5 is de sommatie van CD en Δh_{ss} en Δh_{wsu} .

Deze laatste kolom wordt nu gecombineerd met de getijden. De waterdiepten worden direct met 0.6 vermenigvuldigd om zo de maximaal mogelijke golfhoogten te vinden.

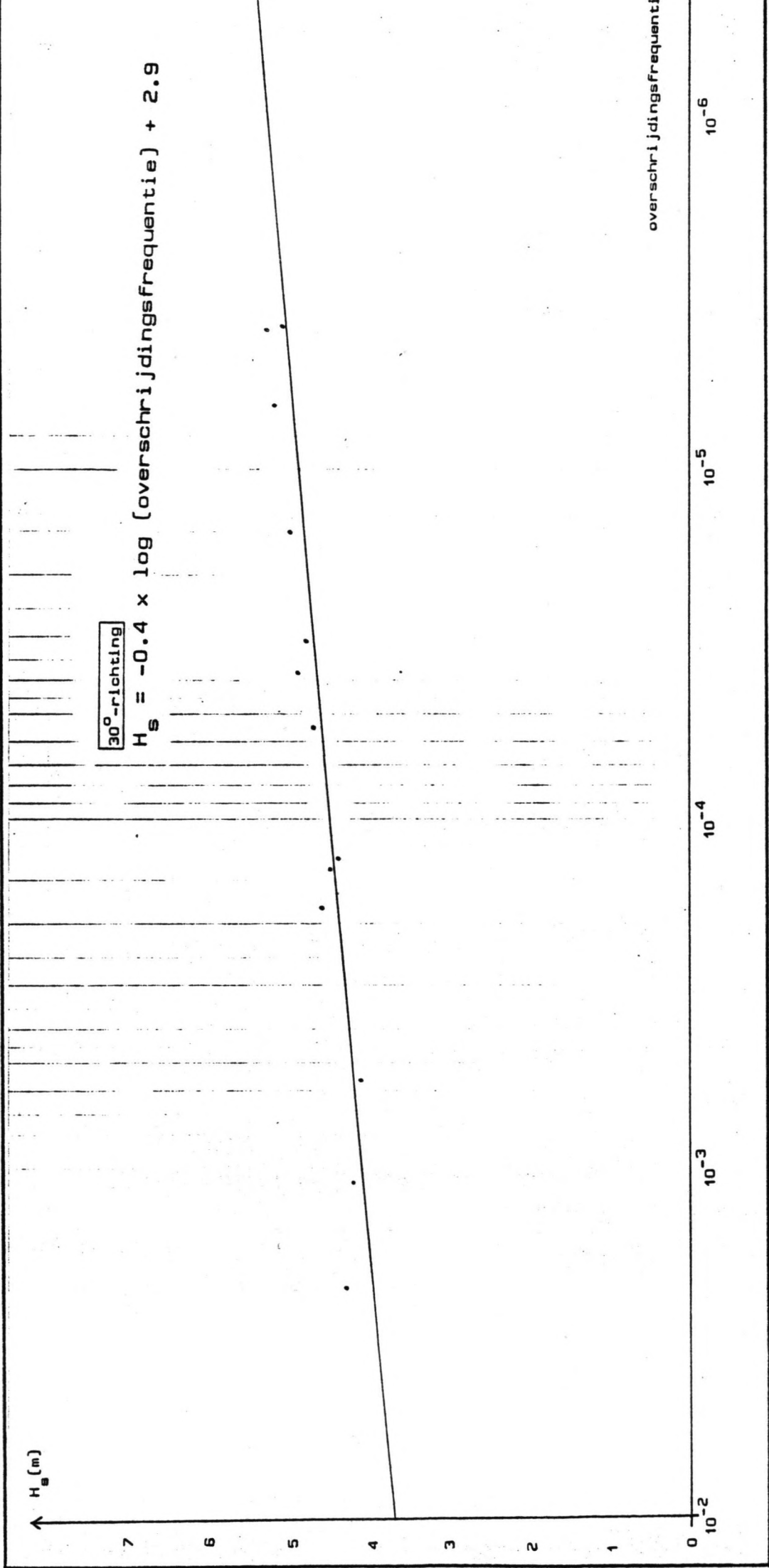
De gevonden punten van kolom 1 en 2 worden op logaritmisch papier uitgezet. Ze liggen niet op een rechte lijn. Om de beste lijn door deze punten te vinden, wordt van regressie-analyse gebruik gemaakt.

Het is dan handig om in plaats van met overschrijdingsfrequenties met de logaritme hiervan te rekenen. De vergelijking van de rechte lijn wordt:

$$H_s = -0.2 \times \log (\text{overschrijdingsfrequentie}) + 3.7$$

Nu voor elke richting de overschrijdingsfrequentie bekend is, kan het hele golfveld voor de gezamenlijke richtingen bepaald worden.

Voor een aantal golfhoogten wordt per richting de overschrijdingsfrequentie bepaald. Per golfhoogte worden deze frequenties gesommeerd.



Figuur 12

30°-richting

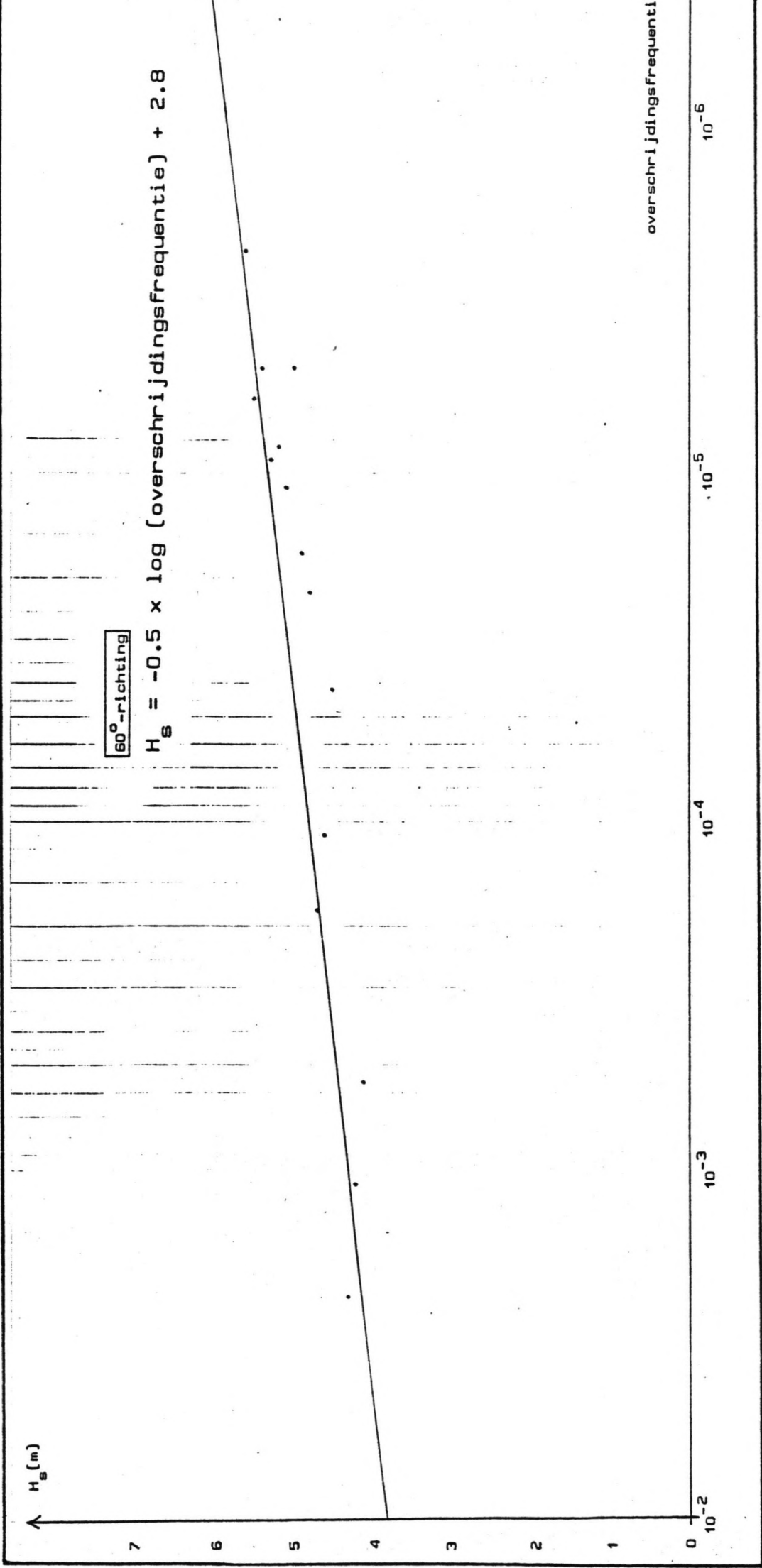
overschrijdings- frequentie	H_s (m)	Δh_{ss} (m)	Δh_{wsu} (m)	CD + Δh_{ss} (m) + Δh_{wsu} (m)
8.0E-3	1.6	0.0	0.2	6.2
6.0E-4	4.1	0.2	0.4	6.6
3.5E-4	4.6	0.3	0.5	6.8
1.5E-4	5.5	0.5	0.6	7.1
6.0E-5	6.3	0.7	0.6	7.3
2.5E-5	7.2	0.8	0.7	7.5
1.5E-5	7.8	1.0	0.8	7.8
8.0E-6	8.3	1.1	0.8	7.9

Tabel 5

overschrijdings- frequentie	H_s (m)	log (overschrijdings- frequentie)
5.6E-4	4.1	-3.3
1.1E-3	4.2	-3.0
2.3E-3	4.3	-2.6
1.3E-4	4.4	-3.9
1.4E-4	4.5	-3.9
1.8E-4	4.6	-3.7
5.5E-5	4.7	-4.3
3.1E-5	4.8	-4.5
3.8E-5	4.9	-4.4
1.5E-5	5.0	-4.8
3.9E-6	5.1	-5.4
6.6E-6	5.2	-5.2

Tabel 6

zie figuur 12



Figuur 13

60°-richting

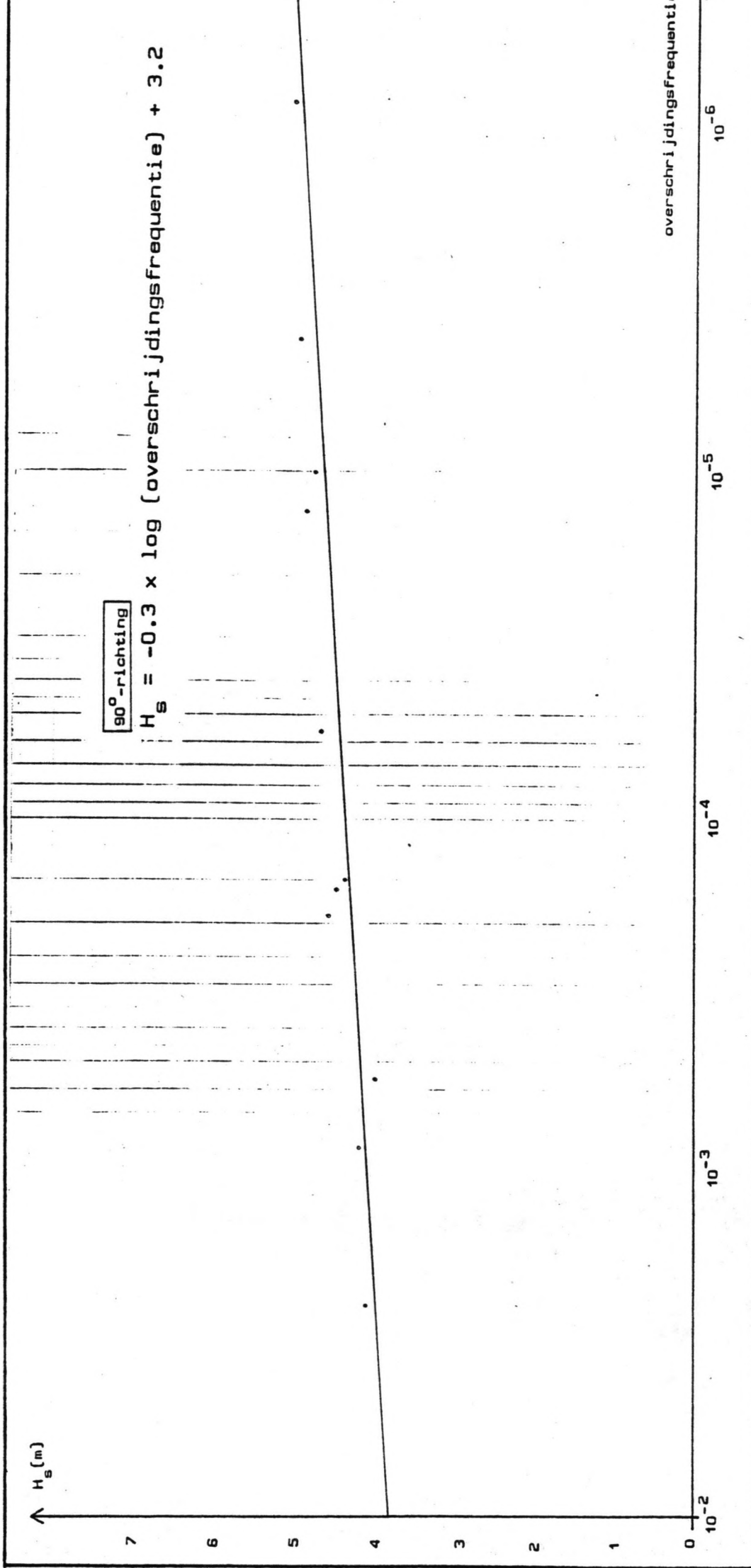
overschrijdings- frequentie	H_s [m]	Δh_{ss} [m]	Δh_{wsu} [m]	$CO + \Delta h_{ss} + \Delta h_{wsu}$ [m]
8.0E-3	1.9	0.0	0.2	6.2
6.0E-4	4.5	0.3	0.5	6.8
3.5E-4	5.2	0.4	0.5	6.9
1.5E-4	6.2	0.6	0.6	7.2
6.0E-5	7.3	0.9	0.7	7.6
2.5E-5	8.5	1.1	0.9	8.0
1.5E-6	9.3	1.3	0.9	8.2
8.0E-6	9.9	1.4	1.0	8.4

Tabel 7

overschrijdings- frequentie	H_s [m]	log (overschrijdings- frequentie)
5.6E-4	4.1	-3.3
1.1E-3	4.2	-3.0
2.3E-3	4.3	-2.6
4.2E-3	4.5	-4.4
1.1E-4	4.6	-4.0
1.8E-4	4.7	-3.7
2.2E-5	4.8	-4.7
1.7E-5	4.9	-4.8
5.0E-6	5.0	-5.3
1.1E-5	5.1	-5.0
8.4E-6	5.2	-5.1
9.2E-6	5.3	-5.0
5.0E-6	5.4	-5.3
6.1E-6	5.5	-5.2
2.3E-6	5.6	-5.6

Tabel 8

zie figuur 13



Figuur 14

90°-richting

overschrijdings- frequentie	H_s [m]	Δh_{ss} [m]	Δh_{wsu} [m]	$CD + \Delta h_{ss} + \Delta h_{wsu}$ [m]
8.0E-3	2.0	0.0	0.2	6.2
6.0E-4	3.8	0.2	0.4	6.6
3.5E-4	4.2	0.3	0.4	6.7
1.5E-4	4.8	0.4	0.5	6.9
6.0E-5	5.3	0.5	0.5	7.0
2.5E-5	6.1	0.6	0.6	7.2
1.5E-5	6.4	0.7	0.6	7.3
8.0E-6	6.8	0.8	0.7	7.5

Tabel 9

overschrijdings- frequentie	H_s [m]	log (overschrijdings- frequentie)
5.6E-4	4.0	
5.6E-4	4.0	-3.3
2.5E-3	4.1	-2.6
8.8E-4	4.2	-3.1
1.5E-4	4.4	-3.8
1.6E-4	4.5	-3.8
1.9E-4	4.6	-3.7
5.6E-4	4.7	-4.3
1.0E-5	4.8	-5.0
1.3E-5	4.9	-4.9
4.2E-6	5.0	-5.4
8.8E-7	5.1	-6.1

Tabel 10

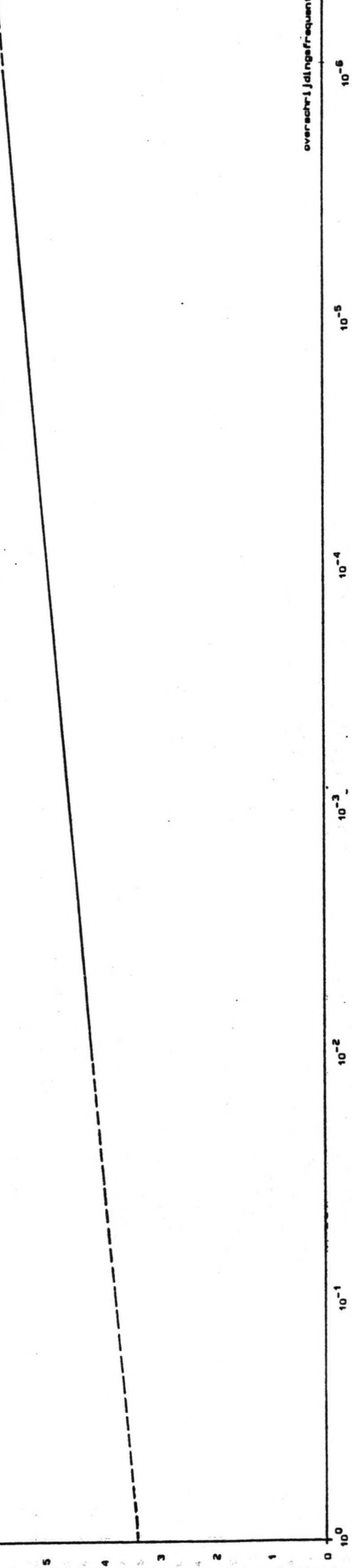
zie figuur 14

$H_s(m)$

0° -, 30° -, 60° - en 90° -richting zemen

$$H_s = -0.4 \times \log(\text{overschrijdingsfrequentie}) + 3.4$$

$$P(H \leq H) = \exp\left(\frac{H - 3.4}{-0.2}\right)$$



Figuur 15

0°-, 30°-, 60°- en 90°-richting samen

H _s [m]	overschrijdingsfrequentie					
	0°	30°	60°	90°	samen	log (samen)
3.75	5.6E-1	7.5E-3	1.3E-2	1.5E-2	6.0E-1	-0.5
4.00	3.2E-2	1.8E-3	4.0E-3	2.2E-3	4.0E-2	-1.4
4.25	1.8E-3	4.2E-4	1.3E-3	3.2E-4	3.8E-3	-2.4
4.50	1.0E-4	1.0E-4	4.0E-4	4.6E-5	6.5E-4	-3.2
4.75	5.6E-6	2.4E-5	1.3E-4	6.8E-6	1.7E-4	-3.8
5.00	3.2E-7	5.6E-6	4.0E-5	1.0E-6	4.7E-5	-4.3
5.25	1.8E-8	1.3E-6	1.3E-5	1.5E-7	1.4E-5	-4.9
5.50	1.0E-9	3.2E-7	4.0E-6	2.2E-8	4.3E-6	-5.4
5.75	5.6E-11	7.5E-8	1.3E-6	3.2E-9	1.4E-6	-5.9
6.00	3.2E-12	1.8E-8	4.0E-7	4.6E-10	4.2E-7	-6.4
6.25	1.8E-13	4.2E-9	1.3E-7	6.8E-11	1.3E-7	-6.9

Tabel 11

zie figuur 15

Het ontwerpen van de golfbreker

Nu het type golfbreker en het golfveld bekend zijn, kan met het ontwerpen van de golfbreker begonnen worden.

Voor de duidelijkheid wordt benadrukt, dat het ontwerp in dit verslag een eerste, globaal ontwerp is. Dit betekent, dat het nergens geoptimaliseerd is. Daar waar meerdere alternatieven zijn, zou een economische afweging moeten volgen om tot een keuze te komen. In het kader van dit project voert dat echter te ver. Er worden wel keuzes gemaakt. Waar dit gebeurt zal de keuze gemotiveerd worden.

Een ander belangrijk aspect bij het ontwerpen van een golfbreker is, dat het noodzakelijk is om modelproeven te doen. Het is nu mogelijk om een ontwerp te maken en voornamelijk te optimaliseren. Het is echter (nog?) niet goed mogelijk om het uiteindelijke gedrag voldoende betrouwbaar te voorspellen. Om hierin inzicht te krijgen, voordat de golfbreker gebouwd wordt, zijn modelproeven absoluut noodzakelijk.

Hoogte van de golfbreker

De golfhoogte achter de golfbreker wordt bepaald door:

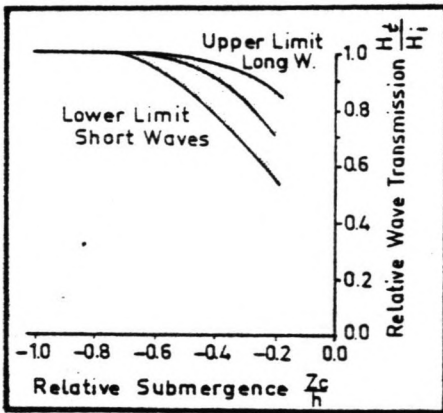
- golfoverslag
- golftransmissie
- diffractie

Golfoverslag wordt voornamelijk bepaald door de hoogte van de golfbreker.

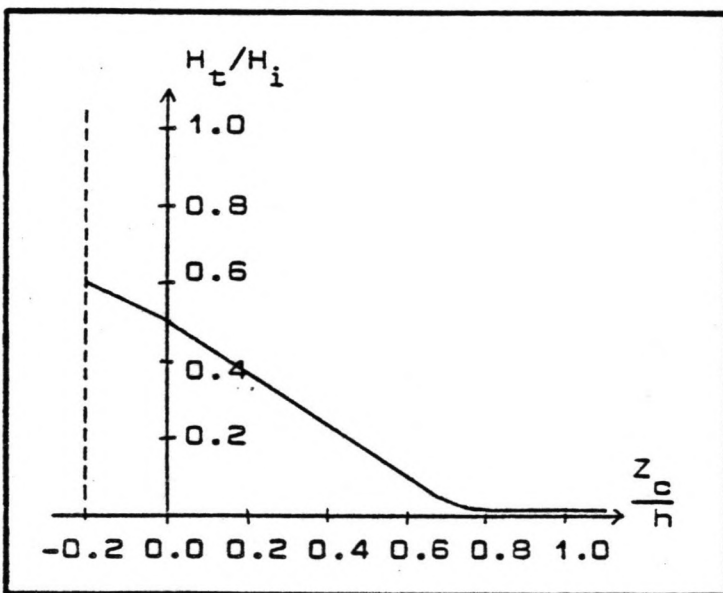
De golftransmissie wordt in de eerste plaats bepaald door de doorlatendheid. Verder neemt de golftransmissie toe naarmate de golven langer worden. De bijdrage van de golftransmissie in vergelijking met golfoverslag en diffractie is echter zo gering, dat dit verwaarloosd wordt.

Diffractie hangt af van de golf lengte. Op dit moment is het niet goed mogelijk om de golfhoogte te berekenen ten gevolge van golfoverslag en diffractie samen.

De kruinhoogte bepaalt dus voor een groot deel het functioneren van de golfbreker, dat wil zeggen het beperken van de golfhoogte achter de golfbreker.



figuur 16



figuur 17

herhalings- periode	overschrijdings- frequentie	H_s [m]
1 x p. jaar	6.85E-4	4.7
1 x p. 5 jaar	1.37E-4	4.9
1 x p. 10 jaar	6.85E-5	5.1
1 x p. 20 jaar	3.43E-5	5.2
1 x p. 30 jaar	2.28E-5	5.3

Tabel 12

In [4] zijn eenvoudige betrekkingen gegeven tussen de kruinhoogte en de doorgaande golf. De invallende golf moet dan wel bekend zijn. Deze heeft een overschrijdingsfrequentie. Via deze relaties kan voor elke kruinhoogte een frequentieverdeling van de doorgaande golfhoogte gegeven worden.

De bedoelde relaties uit [4] zijn:

$$- \frac{Z_c}{H_i} = \frac{3}{4} : \text{verwaarloosbare doorgaande golven} \quad \dots[8]$$

$$- \frac{Z_c}{H_i} = 0 : \frac{H_t}{H_i} = \frac{1}{2} \quad \dots[9]$$

$$- \frac{Z_c}{H_i} = -\frac{1}{2} : \frac{H_t}{H_i} = \frac{3}{4} \quad \dots[10]$$

met Z_c : de kruinhoogte boven het stilwaterniveau

H_i : de inkomende golfhoogte

H_t : de doorgaande golfhoogte

Uit proefresultaten is figuur 16 gemaakt. Deze geldt voor golfbrekers, die helemaal onderwater zijn. De figuur mag niet geëxtrapoléerd worden.

De relaties (8), (9) en (10) zijn grafisch weergegeven in figuur 17. Voor de duidelijkheid zij opgemerkt, dat (10) en figuur 16 niet strijdig zijn.

Uit figuur 15 kan tabel 12 samengesteld worden.

Om een criterium voor de toelaatbare, doorgaande golfhoogte te geven, wordt gesteld, dat de haven nog net functioneert bij golfhoogten van 1 à 2 meter direct achter de golfbreker. Het functioneren van de haven omvat drie aspecten:

- het binnenlopen van de schepen
- veiligheid
- het functioneren van het havenbedrijf.

Uit dit interval wordt 1.5 meter als referentiewaarde gekozen. Er wordt verder gesteld, dat als de doorgaande golfhoogte ten gevolge van overslag groter is dan 0.5 meter de haven niet meer functioneert.

Bovendien lijkt het een redelijke eis, dat gedurende de drie wintermaanden de haven maximaal 5 % van de tijd niet kan functioneren.

h = 9.0 meter

herhalings- periode	Z_c (m)	Z_c/u	H_t/H_i	H_t (m)
1 x p. jaar	-1.7	-0.28	0.78	3.7
1 x p. 5 jaar	-1.9	-0.32	0.83	4.1
1 x p. 10 jaar	-2.1	-0.35	0.86	4.4
1 x p. 20 jaar	-2.2	-0.37	0.88	4.6
1 x p. 30 jaar	-2.3	-0.38	0.89	4.7

Tabel 13

h = 12.0 meter

herhalings- periode	Z_c (m)	Z_c/H_i	H_t/H_i	H_t (m)
1 x p. jaar	1.3	0.28	0.31	1,5
1 x p. 5 jaar	1.1	0.22	0.36	1.8
1 x p. 10 jaar	0.9	0.18	0.38	1.9
1 x p. 20 jaar	0.8	0.15	0.40	2.1
1 x p. 30 jaar	0.7	0.13	0.41	2.2

Tabel 14

h = 13.0 meter

herhalings- periode	Z_c (m)	Z_c/H_i	H_t/H_i	H_t (m)
1 x p. jaar	2,3	0.49	0.17	0.8
1 x p. 5 jaar	2.1	0.43	0.21	1.0
1 x p. 10 jaar	1.9	0.37	0.25	1.3
1 x p. 20 jaar	1.8	0.35	0.27	1.4
1 x p. 30 jaar	1.7	0.32	0.29	1.5

Tabel 15

h = 12.5 meter

herhalings- periode	Z_c (m)	Z_c/H_i	H_t/H_i	H_t (m)
1 x p. jaar	1.8	0.38	0.24	1.2
1 x p. 5 jaar	1.6	0.33	0.28	1.4
1 x p. 10 jaar	1.4	0.27	0.32	1.6
1 x p. 20 jaar	1.3	0.25	0.33	1.7
1 x p. 30 jaar	1.2	0.23	0.35	1.8

Tabel 16

Deze laatste eis betekent: in drie maanden zijn er $\frac{365}{4} \times 4$ perioden van 6 uur. 5 % hiervan is 18 periodes.

's Zomers is het klimaat veel rustiger. Dan moet de haven altijd functioneren.

Dus mag 18 keer per jaar de doorgaande golfhoogte groter dan 0.5 meter zijn.

Voor verschillende hoogten van de golfbreker worden nu overschrijdingsfrequenties van de doorgaande golf bepaald.

[zie tabel 13]

In dit geval wordt ten gevolge van golfoverslag een golfhoogte van 3.7 meter een keer per jaar overschreden. Hier komt voor de totale golfhoogte diffractie nog bij, dus $h = 9.0$ meter is te laag.

[zie tabel 14]

Met behulp van regressie-analyse kan door de punten van tabel 14 weer een rechte lijn getrokken worden:

$$H_s = -0.5 \times \log (\text{overschrijdingsfrequentie}) - 0.1$$

Bij een herhalingsperiode van 18 keer per jaar hoort dan

$$H_s = 0.9 \text{ meter. Dit is te hoog.}$$

[zie tabel 15]

$$H_s = 0.5 \times \log (\text{overschrijdingsfrequentie}) - 0.9$$

Dit betekent, dat 18 keer per jaar een H_s van 0.1 meter overschreden wordt. Dit mag 0.5 meter zijn. Dus wordt nu $h = 12.5$ meter bekeken.

[zie tabel 16]

$$H_s = -0.4 \times \log (\text{overschrijdingsfrequentie}) - 0.2$$

18 keer per jaar wordt $H_s = 0.6$ meter overschreden.

Als hierbij in ogenschouw genomen wordt, dat de waarde van 0.5 meter willekeurig gekozen is, is het geen probleem om in plaats van 0.5 meter 0.6 meter te accepteren. Hiermee wordt de hoogte van de golfbreker 12.5 meter.

Helling voortalud en afdekelementen

De helling en de benodigde afdekelementen hebben een directe invloed op elkaar.

Een relatie tussen de helling en het gewicht van de afdekelementen wordt onder andere gegeven door de formule van Hudson:

$$W = \frac{g \rho_a H^3}{K_D \Delta^3 \cot \theta} \dots [11]$$

met W : het benodigde gewicht van het afdekelement [N]

g : zwaartekrachtsversnelling [m/s^2]

ρ_a : soortelijke massa van de afdekelementen [kg/m^3]

H : ontwerp golfhoogte [m]

K_D : schadecoëfficiënt [-] {hierop wordt later nog teruggekomen}

$\Delta = \frac{\rho_a - \rho}{\rho}$, met ρ : soortelijke massa van (zee)water [kg/m^3]

θ : helling van het talud

Met behulp van de formule van Hudson is de hydraulische stabiliteit van de afdekelementen te bepalen. Of in het algemeen van elk element in een talud, dat aan golfaanvallen blootstaat. Onder hydraulische stabiliteit wordt het vermogen van een element om op zijn plaats te blijven liggen, verstaan. In de formule van Hudson wordt ervan uitgegaan, dat afdekelementen niet kunnen bezwijken. Uiteraard zijn afdekelementen niet onbreekbaar. In de afgelopen jaren zijn er grote schadegevallen geweest, waarbij het bezwijken van afdekelementen een belangrijke rol heeft gespeeld. Het betrof hier in het bijzonder dolossen en tetrapods.

De beste ervaringen, vooral bij grote golfbrekers, zijn opgedaan met kubussen.

Als voor dit ontwerp de quarry-stone niet als primaire laag bruikbaar blijkt te zijn en er betonnen elementen gemaakt moeten worden, zullen kubussen toegepast worden.

Tekortkomingen van de formule van Hudson zijn:

- hij geldt alleen voor regelmatige golven
- er is maar één schadeniveau: het begin van schade. Als een golfbreker beschadigd is en er komt weer een storm dan is de totale schade niet te voorspellen. Slechts de schade ten gevolge van een storm is aan te geven. Het is gebleken, dat een schade van 5 à 8 % vrij snel optreedt. Hierna groeit de

schade %	K_D -factor
0	3.5
1	7
2	8
5	14

Tabel 17

herhalings- periode	H_s (m)
1 x p. 30 jaar	5.3(5.26)
1 x p. 40 jaar	5.3(5.31)
1 x p. 50 jaar	5.3(5.35)

Tabel 18

Tabel 18 geeft aan dat het geen zin heeft om hier met dergelijke verschillen van herhalingsperiode te rekenen.

schade echter vrijwel niet meer

- de invloed van de periode is niet meegenomen
- hij gaat uit van onbreekbare elementen

De waarde van de K_D -factor is voor verschillende soorten afdekelementen door middel van proeven bepaald. Er is in de resultaten een relatie gelegd tussen de K_D -factor en het schadepercentage. Bijvoorbeeld 1% schade kan uitgelegd worden als een situatie, waarbij een op de 100 elementen na een golfaanval niet meer op zijn plaats ligt of bezwiken is.

Dit laatste zal bij modelproeven niet op kunnen treden, omdat de sterkte van de elementen (nog) niet geschaald kan worden. Er zijn wel proeven op schaal 1:1 gedaan.

Voor kubussen geldt bijvoorbeeld: [zie tabel 17].

Hierbij kan opgemerkt worden, dat 0% schade in werkelijkheid niet bestaat. Dit is een extrapolatie. In het algemeen betreft de schade van 1 à 2 % de slecht liggende elementen. Vaak zijn deze regelmatig over de golfbreker verdeeld en leveren dus geen problemen op.

De formule van Hudson werkt per storm en gaat uit van een golfbreker, die intact is. Oplopende schade bij opeenvolgende stormen wordt niet beschouwd.

Om aan de veilige kant te blijven, wordt daarom geëist, dat slechts een schade van 1 à 2 % toelaatbaar is. Dit betekent, dat de schade niet gecontroleerd hoeft te worden. De eis van 1 à 2 % schade impliceert een K_D -factor van 7.5.

Een minder strenge eis betekent, dat er meer schade toegelaten wordt. De bouwkosten zullen lager zijn. Hiermee hangt wel samen, dat er grotere reparaties zullen zijn. Dat levert weer een grotere post op de begroting op. In dit project is het ook niet haalbaar om hier verder aan te rekenen.

In de formule van Hudson moet een golfhoogte ingevuld worden. Deze moet uit figuur 15 bepaald worden.

In het algemeen wordt een golfhoogte gekozen met een herhalingsperiode van 1 keer per 30 jaar à 1 keer per 50 jaar. (zie tabel 18). Deze tabel geeft aan dat het geen zin heeft om hier met dergelijke verschillen van herhalingsperiode te rekenen. Gezien het

cot θ	W[ton]	
	quarry stone	beton
1½	13.2	19.1
2	9.9	14.4
3	6.6	9.6
4	4.9	7.2

Tabel 19

flauwe verloop van de overschrijdingsfrequentie is een aanzienlijke vergroting van de herhalingsperiode haalbaar bij een geringe vergroting van de golfhoogte.

Als er tijdens de uitvoering fouten gemaakt worden, de kruinhoogte is bijv. te laag, dan is er plotseling een situatie ontstaan met een herhalingsperiode van bijvoorbeeld 1x per jaar. Dit zijn twee argumenten om niet te veel naar links te gaan in figuur 15. Hierdoor is de keuze van $H_s = 5.3$ m. te verdedigen. In combinatie met de eis, dat slechts 1 à 2 % schade wordt geaccepteerd bij deze golfhoogte, betekent dit tevens, dat de kans op schade van enige betekenis te verwaarlozen is. In [3] wordt geadviseerd om geen taludhellingen steiler dan 1:1½ toe te passen.

Er zullen vier hellingen beschouwd worden:

- 1:1½
- 1:2
- 1:3
- 1:4

Resumerend

$$W = \frac{g \rho_a H_s^3}{K_D \Delta^3 \cot} \quad \dots [11]$$

met $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$\rho_a = 2400 \text{ kg/m}^3$ voor quarry stone

$\rho_a = 2200 \text{ kg/m}^3$ voor beton. Met grind van 2400 kg/m^3 is het zwaarste beton 2200 kg/m^3

$H_s = 5.3$ meter

$K_D = 7.5$

$\Delta^3 = 2.41$ voor quarry stone

$\Delta^3 = 1.52$ voor beton

Gegeven het feit dat de zwaarste quarry stone 4 ton weegt en dat taluds flauwer dan 1:4 in dit geval niet economisch zijn, is quarry stone niet geschikt om toegepast te worden in de primaire laag.

$\cot \theta$	W[ton]	t(m)	C(-/m ²)
1½	19.1	4.5	0.28
2	14.4	4.1	0.33
3	9.6	3.6	0.44
4	7.2	3.3	0.53

Tabel 20

Voor de vier hellingen worden nu de totale dikte van de laag {t[m]} en de hoeveelheid stenen per m² {C[-]} berekend met de volgende formules uit [4]:

$$- t = m K \left[\frac{W}{g \rho_a} \right]^{1/3} \quad \dots [12]$$

met m: aantal lagen: bij een laag kan de onderliggende laag niet voldoende afgedekt zijn en drie lagen is te duur, dus twee lagen

K : empirische laagcoëfficiënt: 1.1 voor kubussen

$$- C = m K (1-n) \left[\frac{g \rho_a}{W} \right]^{2/3} \quad \dots [13]$$

met n: porositeit: 47% voor kubussen.

Zonder nadere uitwerking kan gesteld worden, dat de steilere hellingen voordeliger zijn. Immers het totale volume van de dam wordt aanzienlijk kleiner, terwijl ook de inhoud van de primaire laag [laagdikte x ontwikkelde lengte] afneemt. Hier tegenover staat een groter te hanteren gewicht.

Om problemen met inwendige stabiliteit te vermijden, wordt gekozen voor een helling van 1:2 met twee lagen kubussen van 15 ton [t = 4.2 meter, C = 0.32 blokken/m²].

Filterlaag

De golfbreker wordt gebouwd op een ondergrond van zand. Bovendien is gegeven, dat deze laag voldoende draagkracht heeft. Een gevaar, dat zich bij zand voordoet, is dat het kan uitspoelen. Tengevolge van drukverschillen treden er bij de bodem horizontale snelheden op, waardoor het bodemmateriaal door de poriën van de golfbreker kan eroderen. Dit kan aanzienlijke zettingen tot gevolg hebben.

Om hieraan tegemoet te komen, worden filterlagen toegepast. Feitelijk moeten filterlagen ervoor zorgen, dat de stroomsnelheden niet zo groot kunnen worden dat er erosie optreedt.

Er zijn twee typen filters:

- filters, die volledig uit korrels zijn opgebouwd. In dit geval met een geringe waterdiepte kan een filter bijvoorbeeld opgebouwd worden uit twee lagen:

- = 0.5 meter quarry run
- = 0.5 meter 60 à 300 kg quarry stone
- filtermatrassen. De opbouw van het filter is dan bijvoorbeeld:
 - = een filtermatras, dat uit bamboestokken, omhuld met geweven doek, kan bestaan
 - = 0.5 meter 60 à 300 kg quarry stone

Het tweede type heeft een kleinere dikte.

Als er een zwaar golfklimaat en aanzienlijke stromingen zijn, heeft het tweede type de voorkeur.

Het is echter een min of meer Nederlandse vinding, waarvoor speciaal materieel benodigd is.

Aangezien goede quarry run duurzaam is en er bovendien geen speciaal materieel gebruikt wordt, wordt er gekozen voor het eerste type.

Teenconstructie voortaluud

De teenconstructie heeft drie functies:

- het steunen van de onderkant van de primaire lagen
- als er erosie optreedt kan de teen de bodem opvullen
- de filterlaag wordt door de teenconstructie tegen directe golfaanvallen beschermd

Voor dit ontwerp zijn verschillende oplossingen voor de teenconstructie bedacht.

Voor alle varianten is de laag met secundaire armor twee lagen dik. Voor laagdikten van 1 en 3 stenen kan met behulp van [11] een afmeting bepaald worden:

$$t = m K \left[\frac{W}{g \rho_a} \right]^{1/3} \quad \dots [14]$$

met m : 1 of 3

K : 1.1

W : 1 à 4 ton

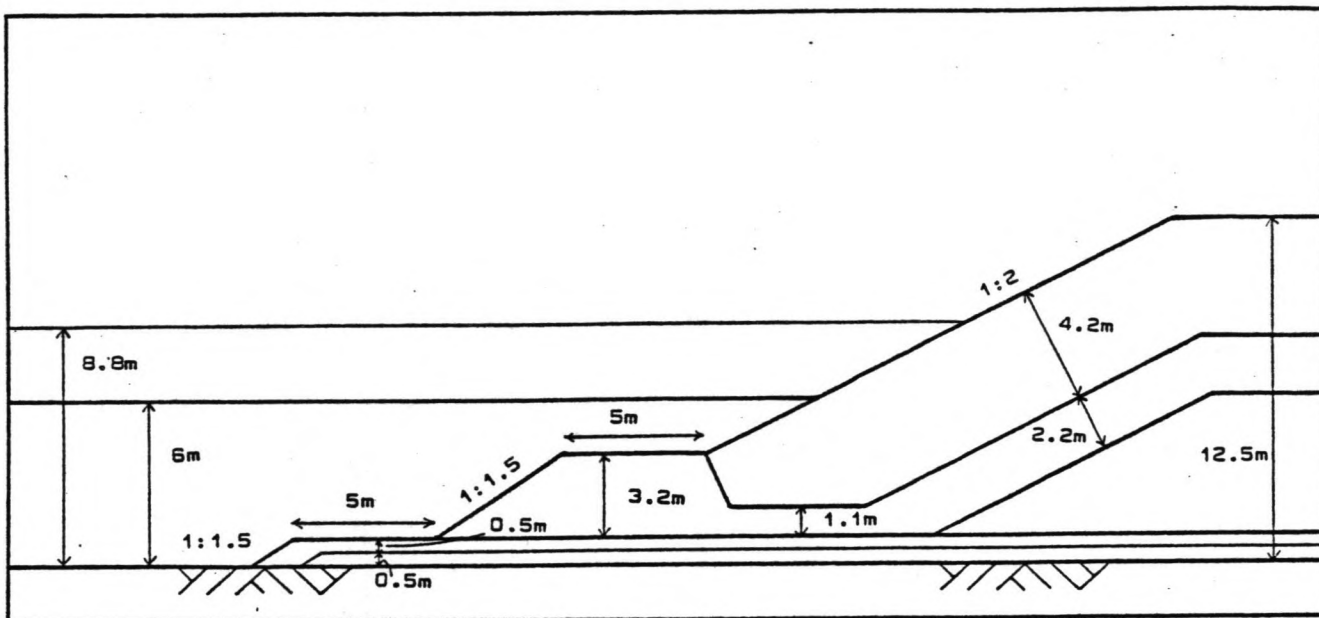
g : 9.81 m/s²

ρ_a : 2.4 ton/m³

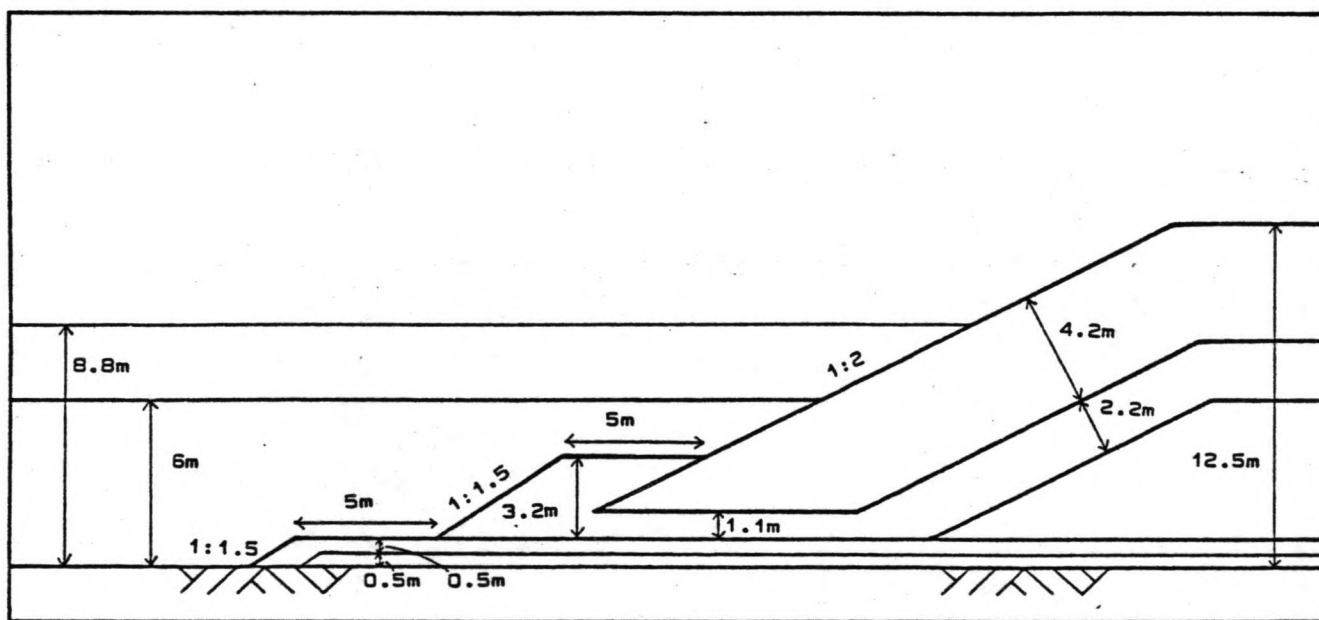
1 laag: 0.8 meter à 1.3 meter (de gemiddelde dikte is 1.1 meter)

3 lagen: 2.5 meter à 3.9 meter (de gemiddelde dikte is 3.2 meter)

De dikte van de secundaire laag moet dus minimaal 1.1 meter zijn.



figuur 18 variant 1 [schaal 1 : 200]
 Het is een goede oplossing

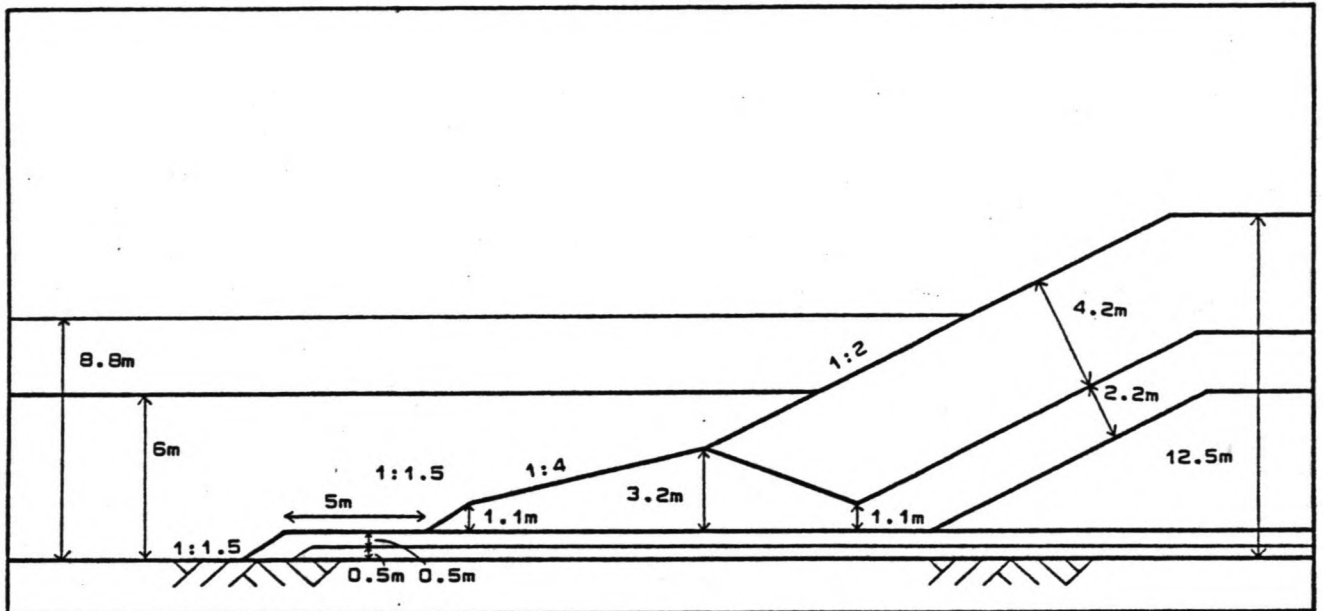


figuur 19 variant 2 [schaal 1 : 200]
 Ook dit is een goede oplossing : de primaire laag wordt door de teen helemaal ingestort. Bij de uitvoering betekent dit, dat voor het afstorten van de teen het materieel apart moet terugkomen. Dat is duur.

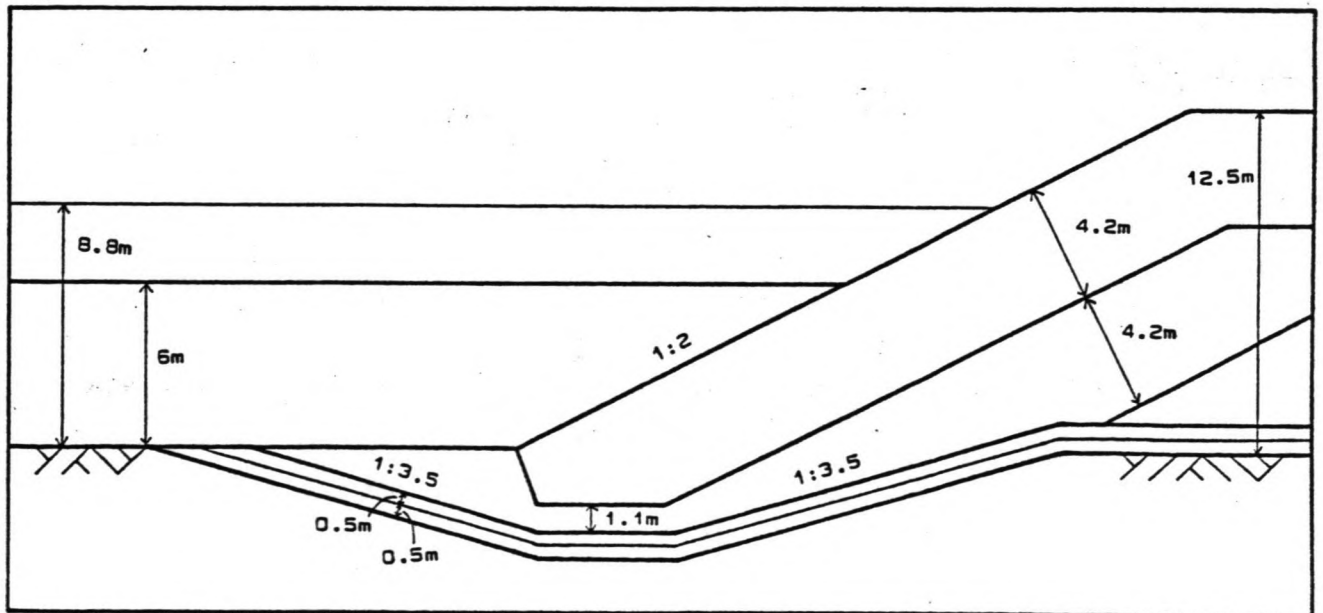
De helling bij het einde van de secundaire laag is zo steil mogelijk gekozen: hier is weinig golfaanval. Dit betekent: 1:1½.

De lengte van de bovenkant van de teen is 6 meter (≈6 stenen), zodat de primaire laag voldoende gesteund kan worden.

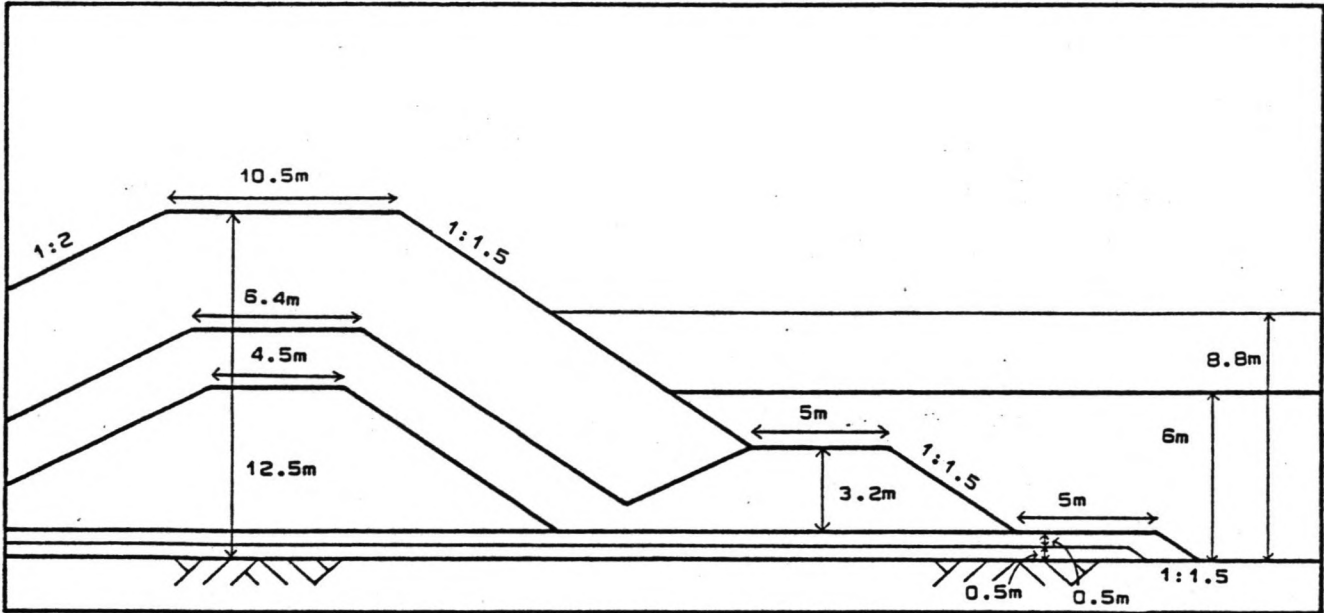
De voor- en nadelen van elke variant zullen nu beschouwd worden.



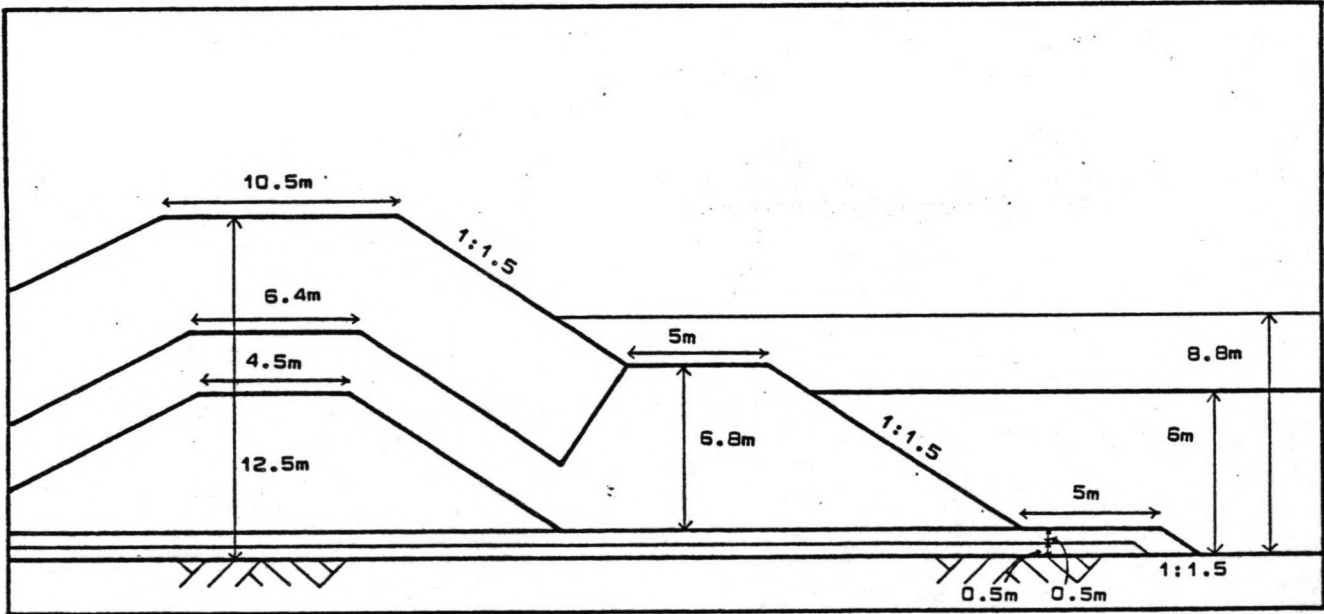
figuur 20 variant 3 [schaal 1 : 200]
Hiervoor is veel materiaal nodig.



figuur 21 variant 4 [schaal 1 : 200]
De beste oplossing. Omdat er veel gebaggerd moet worden, is het ook de duurste oplossing en wordt daarom niet gekozen.



figuur 22 variant 5 (schaal 1 : 200)



figuur 23 variant 6 (schaal 1 : 200)

Met variant 1 wordt verder gegaan. Deze variant is goed uit te voeren en de primaire laag wordt goed gesteund. Hiervoor zal een mogelijkheid van uitvoeren en een indicatie van de kosten gegeven worden.

Teenconstructie achtertalud

Hiervoor is een goede oplossing gevonden. De golfhoogte aan deze zijde blijft beperkt tot 1 à 2 meter. Voor de primaire laag zijn twee mogelijkheden:

- het doortrekken van de laag met kubussen (zie figuur 22)
- het toepassen van een laag met quarry stone (zie figuur 23)

Het prijsverschil tussen beide is niet zodanig dat de tweede variant goedkoper is. Beide oplossingen zijn goed, maar technisch gezien heeft variant 1 wel de voorkeur. De laag met kubussen wordt dus doorgezet.

De primaire armor voldoet zonder problemen bij een helling van 1:1½:

$$W = \frac{2200 \times 2^3}{152 \times 7.5 \times 1\frac{1}{2}} = 1030 \text{ kg} < 15 \text{ ton} \quad \dots[15]$$

Bij blokken van 15 ton hoort een K_D -factor van 0.5

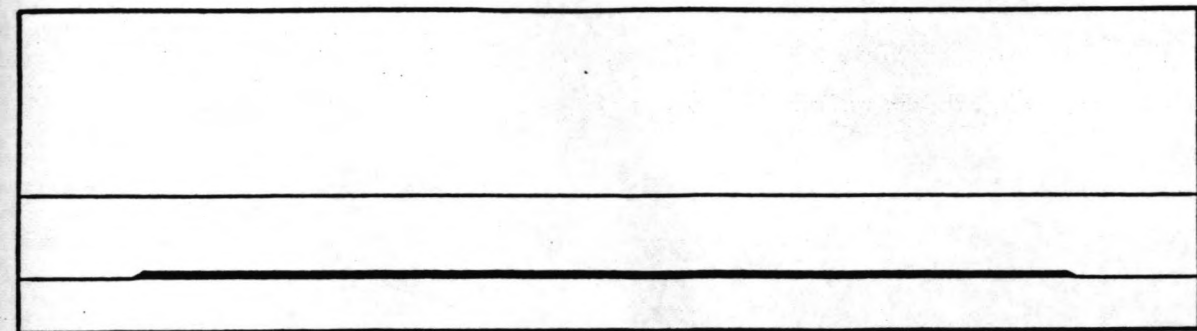
Dit betekent absoluut geen schade. Echter: slecht geplaatste elementen zullen altijd verplaatsen. Dit gebeurt dan mede onder invloed van overslag. Overslag zal echter op blokken van 15 ton weinig invloed hebben. (zie figuur 22).

Breedte van de kruin

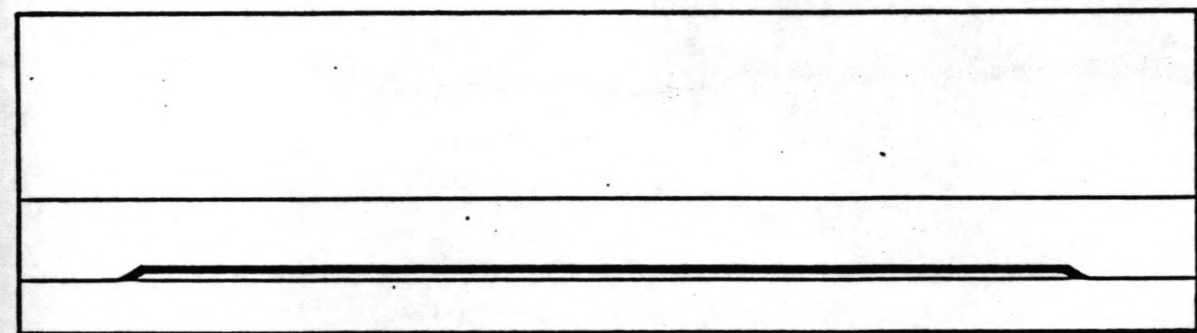
De breedte van de kruin wordt bepaald door de wijze van uitvoeren en de afmetingen van de elementen.

De golfbreker zal over de secundaire laag aangelegd worden.

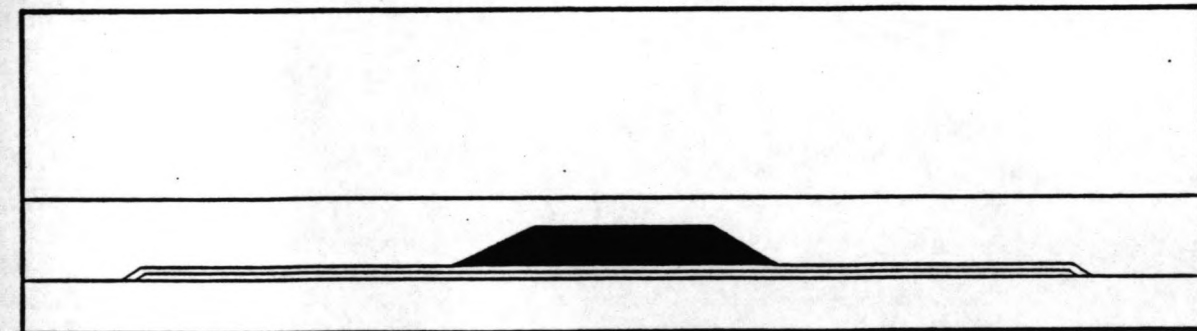
De benodigde breedte voor auto's om erover te rijden en elkaar te passeren, is 5 à 6 meter. Verder zijn de afmetingen zo bepaald, dat er een geheel veelvoud van secundaire en primaire elementen op de kruin passen.



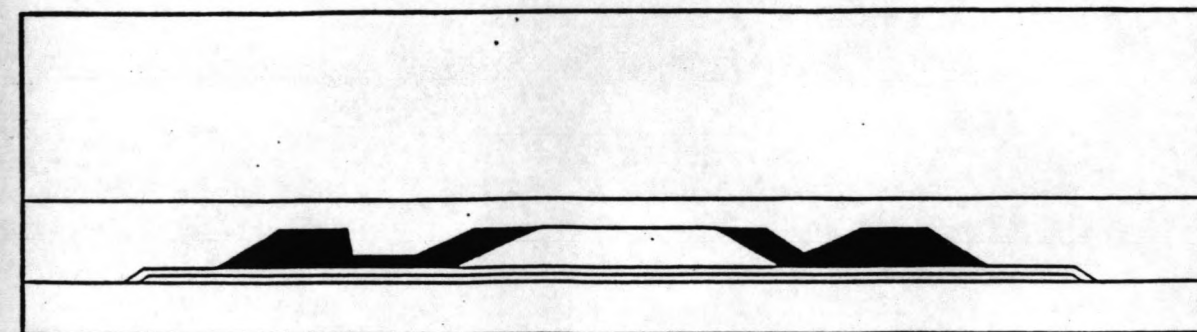
figuur 23 bouwfase 1



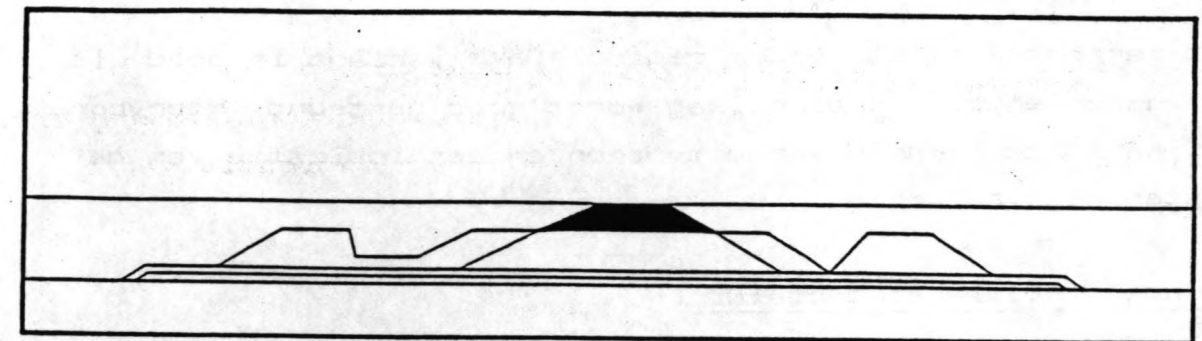
figuur 24 bouwfase 2



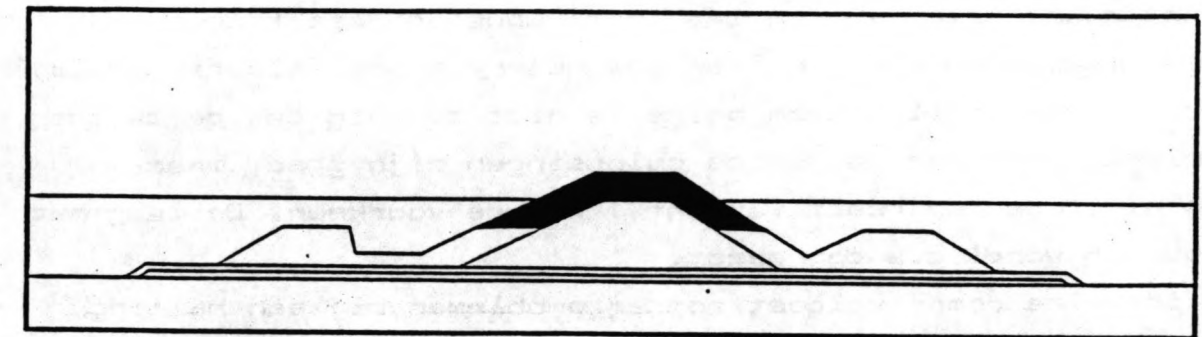
figuur 25 bouwfase 3



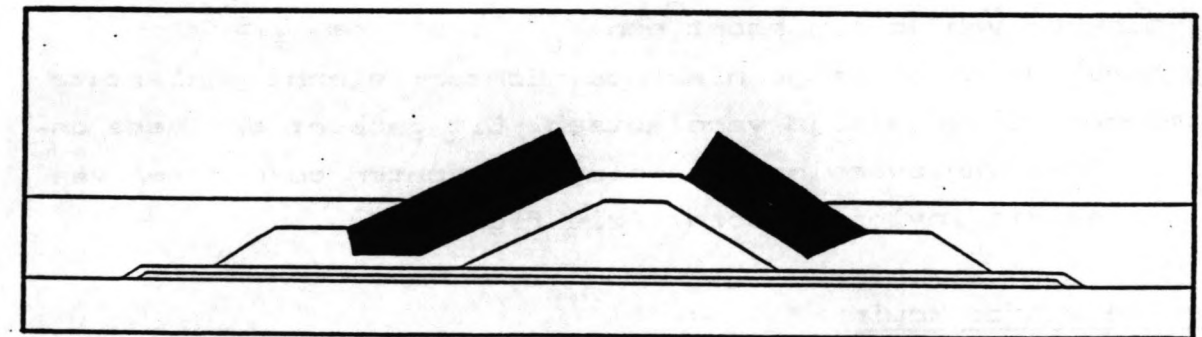
figuur 26 bouwfase 4



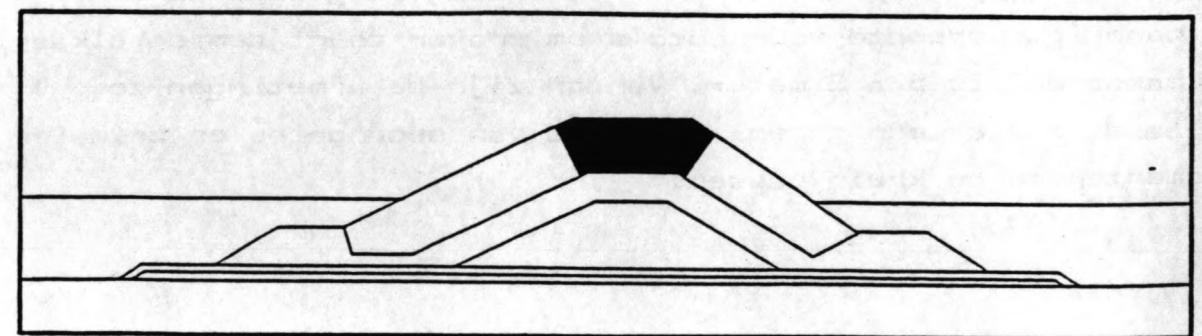
figuur 27 bouwfase 5



figuur 28 bouwfase 6



figuur 29 bouwfase 7



figuur 30 bouwfase 8

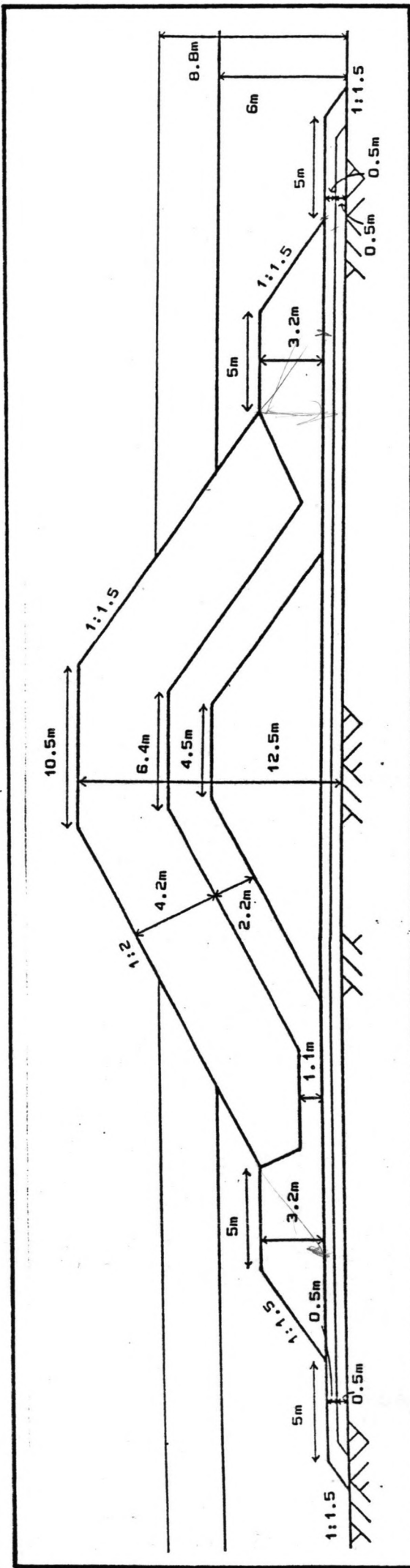
Uitvoering

De filterlaag wordt in de zomer gestort door boten, die opzij ontladen. Dit kan dan vrij nauwkeurig gebeuren. ① en ②.

De omcirkelde getallen verwijzen naar bouwfasen.

Hierop wordt, ook met boten, een laag van 3 meter quarry run gestort. ③

Aan weerszijden hiervan wordt de laag secundaire armor gestort tot maximaal 4 meter boven de bodem. ④ Hierna wordt met behulp van een drijvende kraan de quarry run laag op de goede hoogte gebracht. ⑤ Vervolgens wordt de secundaire laag met behulp van deze drijvende kranen aangebracht. ⑥ De aanvoer van filtermateriaal, quarry run en quarry stone gebeurt met schepen. De betonnen kubussen worden over de voltooide secundaire laag aangevoerd. Deze laag moet dan wel met quarry run uitgevuld worden, zodat erover gereden kan worden. Aan de kant, waar de grootste golfaanval komt, moet het eerst de primaire laag geplaatst worden. Vervolgens het talud aan lijzijde en als laatste de blokken op de kruin. ⑦ De primaire laag op de beide taluds wordt zeewaarts gebouwd en op de kruin landwaarts. ⑧



figuur 31 overzicht van de totale constructie

Kostenindicatie

Om tot een globale indruk van de kosten te komen, zullen eerst de hoeveelheden bepaald worden:

- filter: quarry run : 13 m³/m'
- 60 - 300 kg : 14 m³/m'
- 0.3 - 1 ton : 72 m³/m'
- secundaire laag: 1 - 4 ton : 126 m³/m'
- primaire laag : 24 blokken/m'

Kosten:

(dit zijn prijzen van een project. Er zijn altijd grote verschillen in prijzen en prijzen zijn moeilijk te bepalen. Nogmaals: het is slechts een indicatie.)

- quarry run : f 170,--/m³
- 60 - 300 kg : f 170,--/m³
- 0.3 - 4 ton : f 150,--/m³
- quarry-stone: f 160,--/m³

Dit zijn prijzen, waarbij leveren en plaatsen samengenomen zijn en ze zijn inclusief poriën.

- primaire laag: leveren : f 2250,--/blok
- plaatsen : f 590,--/blok

Deze hoeveelheden en prijzen resulteren in:

Totale kosten per m':

- filter:	12 x f 170,--	f 2210,--
	22 x f 170,--	" 2380,--
- 0.3 - 4 ton:	127 x f 150,--	" 10800,--
- quarry-stone:	130 x f 160,--	" 20160,--
- blokken:	25 x f 2250,--	" 54000,--
	25 x f 590,--	" 14160,--

f 103710,-- per m'

Literatuurlijst

- [1] Etudes hydrauliques pour le port de commerce de Zarzis
Waterloopkundig Laboratorium Delft, november 1981
- [2] Admiralty Tide Table, volume 1
The Hydrographer of the Navy, 1981
- [3] Shore Protection Manual, volume 1, 2 en 3
U.S. Army Coastal Engineering Research Center,
Department of the Army Corps of Engineers, 1973
- [4] Coastal Engineering, Volume 3
Coastal Engineering Group, Department of Civil Engineering
Delft University of Technology, The Netherlands,
december 1979

