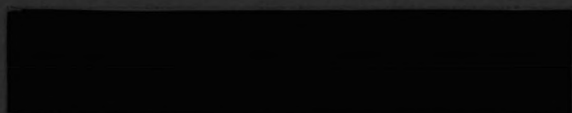
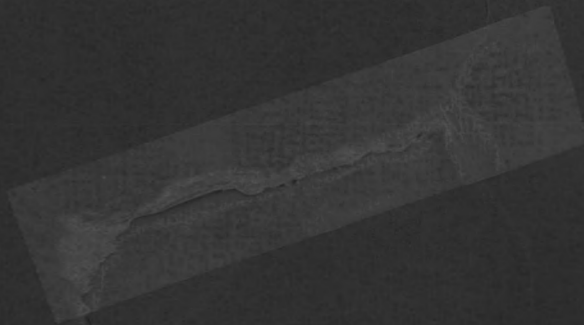


586

1982
Bijker



Golfbreker voor de haven van

Kelantan

door: G.C.van der Hooning

<u>Inhoud</u>	blz.
- Voorwoord	1
- Inleiding	2
- Samenvatting	3
- Algemeen	5
- Golfklimaat	
.Algemeen	7
.Golfwaarnemingen volgens de feasebility studie	8
.Scheepswaarnemingen verzameld door het KNMI.	9
.Scheepswaarnemingen uit Ocean Wave Statistics	14
.Vergelijking en keuze van de bronnen	16
.Bepaling van de golfperiode	18
- Zandtransport	19
- Aanzanding tegen de dam	
.Algemeen	23
.Evenwijdige aanzanding	25
.Niet evenwijdige aanzanding	27
- Het ontwerpen van een rubble mound golfbreker	
.Algemeen	33
.Ontwerpgolfhoogte en terugkeerperiode	33
.Kruinhoogte	38
.Helling van het talud en primaire bekledingslaag	43
.Secundaire laag	49
.Kern	50
.Filter	50
.Teenconstructie	50
.Dwarsprofielen bij verschillende dieptes	55

	blz.
- Alternatief ontwerp bij een slappe laag in de ondergrond	58
- Enkele aanbevelingen	68
- Referenties	69
- Bijlage I : Golfgegevens van het KNMI.	
- Bijlage II: Bepaling van het netto zandtransport en de evenwichtshoek	
- Bijlage III: Bepaling van de golfhoogte op de 7 m dieptelijn, rekening houdend met refractie en shoaling.	

Voorwoord

Dit deelontwerp is gemaakt in het kader van het afstuderen aan de Technische Hogeschool in Delft, aan de afdeling civiele techniek, bij de vakgroep kustwaterbouwkunde. Naast dit deelontwerp bestaat er nog een hoofdontwerp dat uitgevoerd is bij de vakgroep verkeerswaterbouwkunde.

Het totale afstudeeronderwerp, de haven van Kelantan in Maleisië, is een onderwerp uit de praktijk, waar reeds een aantal instanties zich mee hebben bezig gehouden, o.a. het Waterloopkundig Laboratorium te Delft en het ingenieursbureau de Weger uit Rotterdam.

Deze beide instanties hebben mij voorzien van de noodzakelijke of voorhanden zijnde gegevens waarvoor hartelijke dank.

Inleiding

Kelantan is een deelstaat van West-Maleisië aan de Zuid Chinese zee. Omdat dit één van de meest arme deelstaten van Maleisië is, wil de Maleisische overheid de economie stimuleren door o.a. het aanleggen van een regionale haven aan de kust.

In het hoofdontwerp bij de vakgroep verkeerswaterbouwkunde zijn hiervoor masterplans ontwikkeld. Voor één van die masterplans wordt in dit verslag een haven-dam ontworpen.

Samenvatting

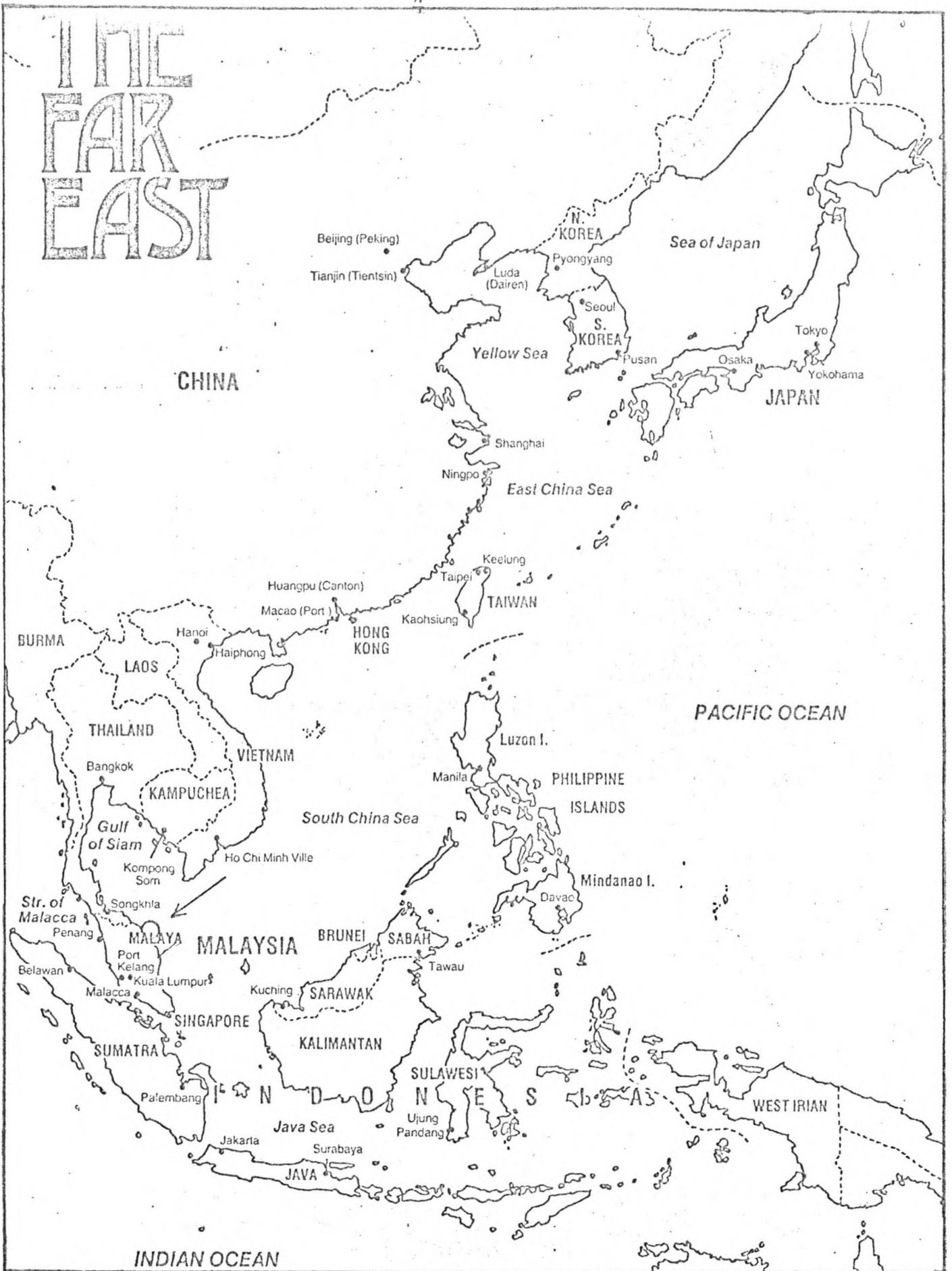
Voor de nieuw te bouwen haven in Kelantan, West Maleisië, moet een golfbreker ontworpen worden. Daarvoor is allereerst gekeken naar het golfklimaat. Na een vergelijking van verschillende bronnen is gekozen voor het gebruik van de K.N.M.I. gegevens.

Vervolgens is met de CERC-formule een schatting gemaakt van het zandtransport, waaruit blijkt dat het langstransport voor de kust bijna 1 miljoen m³ per jaar bedraagt. Aan de hand hiervan is de aanzanding bekeken en daaruit blijkt dat na ca. 14 jaar het eerste zand om de dam heen komt zetten.

Vervolgens is een rubble mound golfbreker ontworpen, uitgaande van voldoende draagkracht van de ondergrond. Dit resulteert in een golfbreker met een steil talud van 1:1,5 en met een primaire bekledingslaag bestaande uit betonnen kubussen van 162 kN.

Om de invloed na te gaan van de bodemsamenstelling op het ontwerp, is tenslotte nog een ontwerp gemaakt van een rubble mound golfbreker, maar nu op een ondergrond die een slappe laag bevat. Deze golfbreker heeft een talud van 1:5 en een primaire bekledingslaag van betonnen kubussen met een gewicht van 49 kN.

THE FAR EAST



Figuur 1 : de ligging van West Maleisië in het Verre Oosten.

Algemeen

Voor de West-Maleisische deelstaat Kelantan is een haven gepland aan de kust van deze deelstaat (zie figuur 2). Omdat ter plaatse van de geplande haven de natuurlijke omstandigheden zodanig zijn dat deze zich niet lenen voor een natuurlijke haven, zal er een kunstmatige haven gebouwd worden.

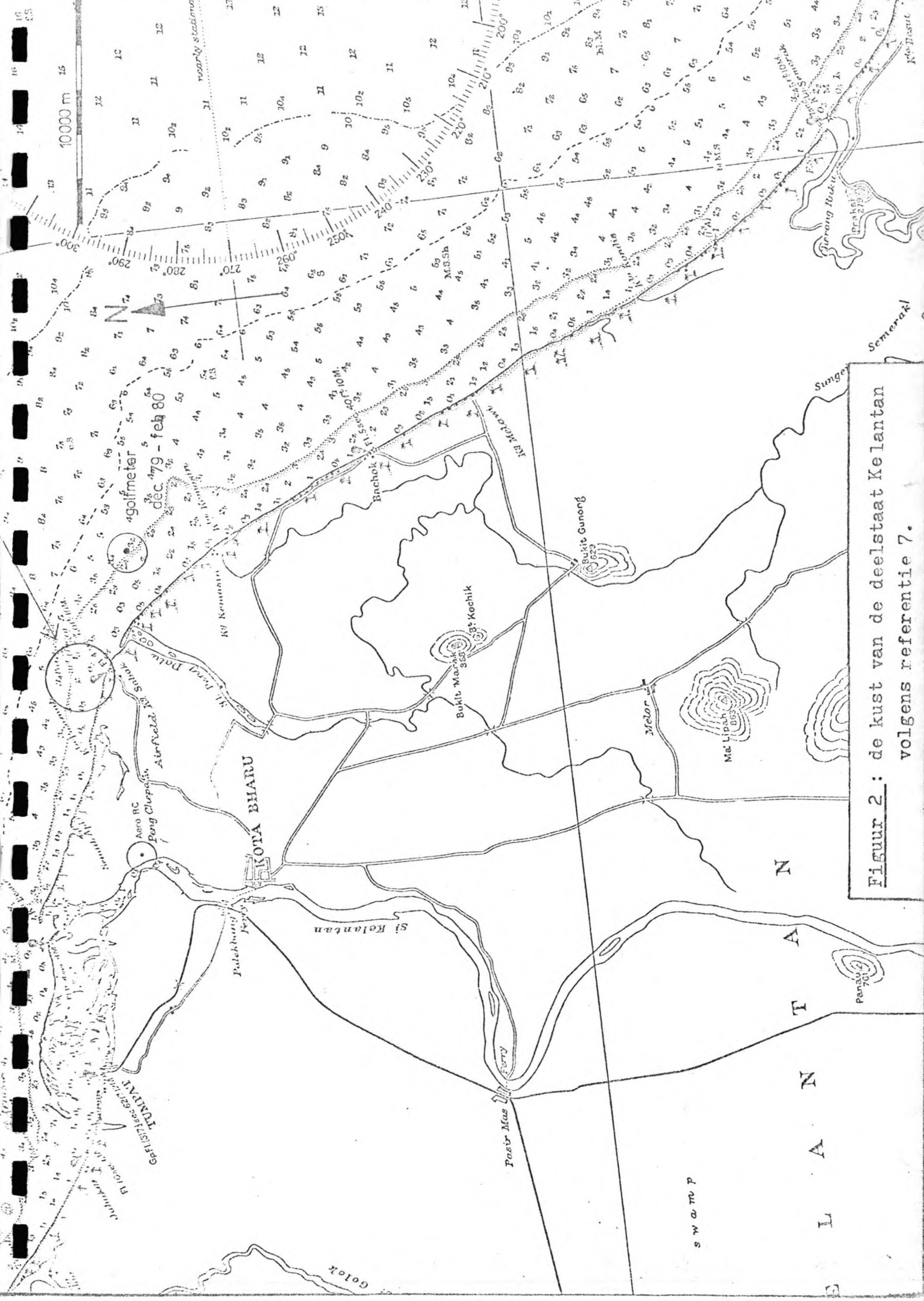
Voor deze kunstmatige haven zullen golfbrekers nodig zijn.

In het algemeen kan een golfbreker vier functies hebben ;

- 1^e bescherming tegen de golven
- 2^e het verminderen van baggerwerkzaamheden bij een haveningang
- 3^e het bieden van afmeer faciliteiten
- 4^e stroomgeleiding

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het heel goed mogelijk is dat een golfbreker een combinatie van deze vier functies heeft.

Belangrijke ontwerpgegevens voor een golfbreker zijn het golfklimaat en de noodzakelijke lengte evenals de diepteligging en de bodemgesteldheid.



Figuur 2: de kust van de deelstaat Kelantan volgens referentie 7.

Golfklimaat

Algemeen

Om tot een goede voorspelling van het golfklimaat te komen, worden verschillende bronnen met elkaar vergeleken. De volgende bronnen zijn gebruikt:

- Golfmetingen voor de kust zoals vermeld in het feasibility study report voor Kelantan Port development project in Maleisië, gemaakt door Japan International Coöperation Agency in februari 1981 (ref. 1).
- Scheepswaarnemingen in de vorm van frequentie tabellen voor windgolven en deining (sea and swell) verzameld door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (ref.8).
- Scheepswaarnemingen in de vorm van frequentie-tabellen uit het boek Ocean Wave Statistics van N. Hogben en F.E. Lumb. (ref.11).

Golfmetingen voor de kust zoals vermeld in de feasibility study. (ref. 1.)

In de feasibility study (ref. 1.) staan golfwaarnemingen weergegeven die zijn waargenomen met een golfhoogtemeter. Deze golfhoogtemeter lag vlak voor de kust ter hoogte van de 6 m. dieptelijn. (zie figuur 2). Er is gemeten gedurende drie maanden (december '79, januari '80, en februari '80.) Deze waarnemingen staan in figuur 5 weergegeven. In deze figuur is de golfhoogte uitgezet tegen de overschrijdingsfrequentie.

Scheepswaarnemingen van het K.N.M.I. (ref.8).

Het K.N.M.I. beschikt over waarnemingen die zijn gedaan door speciaal uitgezochte koopvaardij schepen.

Deze waarnemingen zijn samengevat in frequentie tabellen waarin staat weergegeven hoe vaak een bepaalde golfhoogteklasse met een bepaalde periode is waargenomen.

De waarnemingen zijn verder nog onderverdeeld in verschillende richtingssectoren en in verschillende maanden. De waarnemingen zijn gedaan gedurende 20 jaar (1961 tot 1980) en het gebied waarin deze waarnemingen zijn gedaan is $101,5^{\circ}\text{E} - 103,4^{\circ}\text{E}$ en $5,5^{\circ}\text{N} - 6,9^{\circ}\text{N}$ (zie figuur 3).

In bijlage I staan nu over alle richtingssectoren de frequentietabellen weergegeven en in tabel 1 zijn al deze sectoren bij elkaar opgeteld. Uit tabel 1 blijkt dat zo 1034 waarnemingen gedaan zijn.

Aan de hand van de percentages van voorkomen van tabel 1, kan nu eenvoudig de overschrijdinsfrequentie van een bepaalde golfhoogte bepaald worden.

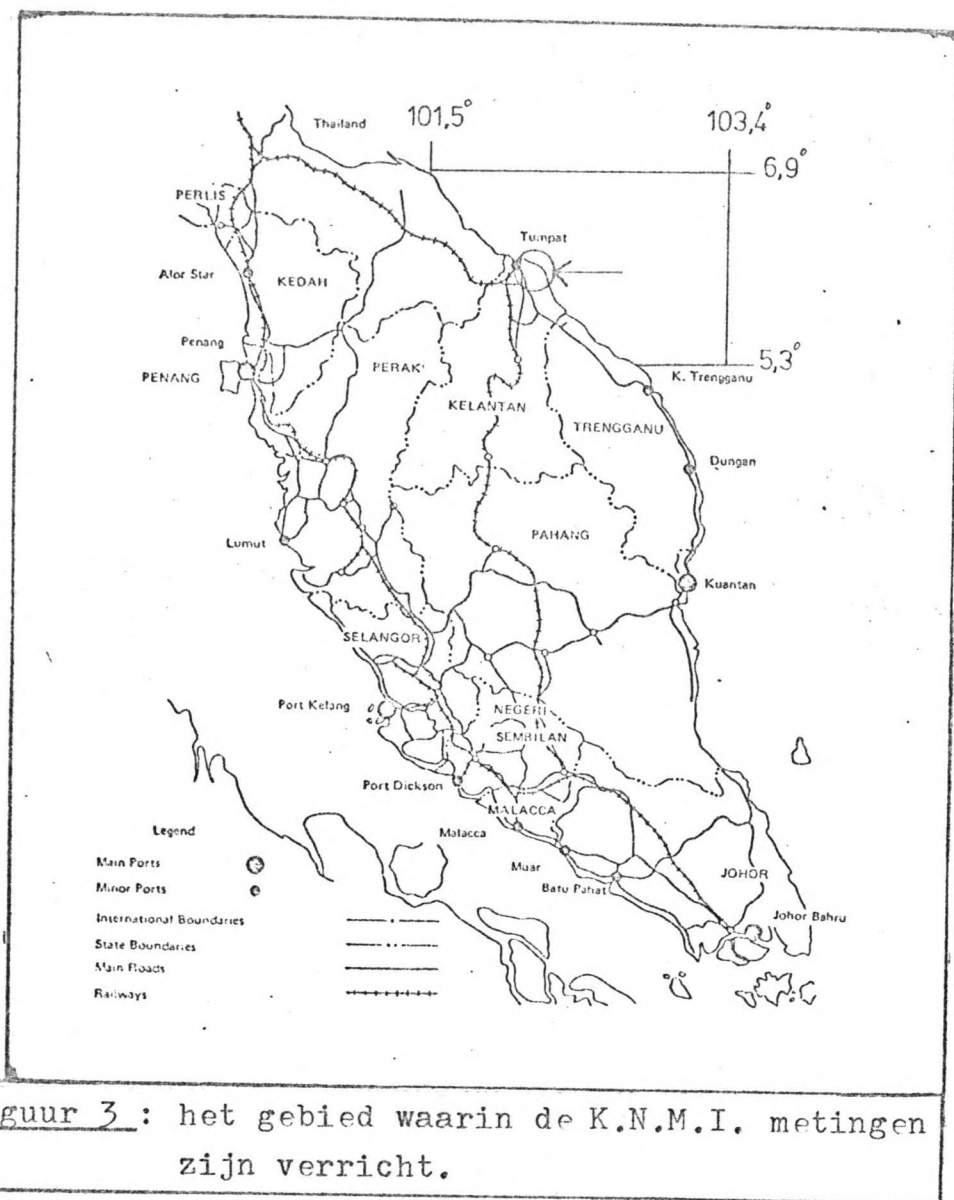
Dit staat weergegeven in de onderstaande tabel 2 :

golfklasse Hs (m)	percentage van voorkomen	golfhoogte Hs (m)	overschrijdings frequentie
0 -0,25	8,90	0	1,0000
0,25-0,75	41,29	0,25	0,9110
0,75-1,25	26,60	0,75	0,4981
1,25-1,75	12,57	1,25	0,2321
1,75-2,25	7,06	1,75	0,1064
2,25-2,75	2,42	2,25	0,0358
2,75-3,25	0,77	2,75	0,0116
3,25-3,75	-	3,25	0,0039
3,75-4,25	0,29	3,75	0,0039
5,75-6,25	0,10	4,25	0,0010
	100%	5,75	0,0010
		6,25	0

Tabel 2

		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
H(m)									
0	-0,25	92						92	8,90
	0,25-0,75	410	15	2				427	41,29
	0,75-1,25	196	68	8	1		2	275	26,60
	1,25-1,75	59	46	23	2			130	12,57
	1,75-2,25	8	25	30	9	1		73	7,06
	2,25-2,75	4	8	11	1	1		25	2,42
	2,75-3,25		3	5				8	0,77
	3,25-3,75								
	3,75-4,25			2	1			3	0,29
	5,75-6,25						1	1	0,10
	totaal	769	165	81	14	2	3	1034	100

Tabel 1: K.N.M.I. waarnemingen voor alle sectoren te-
samen (op diep water).



De hiervoor beschreven waarnemingen zijn allemaal verricht op open zee. Voor de kust van Kalantan echter zullen de gegevens zo niet voldoen. Het is daar immers onmogelijk om b.v. hoge golven uit het zuid-westen waar te nemen, omdat deze golven dan direct vanaf het strand zouden moeten komen.

Vandaar dat nu de waarnemingen van de 6 belangrijkste richtingssectoren (330° , 360° , 30° , 60° , 90° en 300°) ongewijzigd blijven, terwijl de waarnemingen uit de overige sectoren ondergebracht worden in de golfklasse 0 - 0,75. (zie tabel 3.). Ook nu wordt dan weer de overschrijdingsfrequentie bepaald :

golfklasse Hs (m)	percentage van voorkomen	golfhoogte Hs (m)	overschrijdings frequentie
0 - 0,75	61,32	0	1,0000
0,75-1,25	18,96	0,75	0,3868
1,25-1,75	10,15	1,25	0,1972
1,75-2,25	6,19	1,75	0,0957
2,25-2,75	2,32	2,25	0,0338
2,75-3,25	0,77	2,75	0,0106
3,25-3,75	-	3,25	0,0029
3,75-4,25	0,29	3,75	0,0029
5,75-6,25	-	4,25	0
	<u>100%</u>	5,75	0
		6,25	0

Tabel 4

H(m) \ T(s)		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
0	-0,25	55						55 (+352)	61,32
	0,25-0,75	214	12	1				227	
	0,75-1,25	134	52	8	1		1	196	18,96
	1,25-1,75	42	40	21	2			105	10,15
	1,75-2,25	5	24	26	9	1		65	6,19
	2,25-2,75	4	8	10	1			23	2,32
	2,75-3,25		3	5				8	0,77
	3,25-3,75								
	3,75-4,25			2	1			3	0,29
	totaal							682	100

Tabel 3: K.N.M.I. waarnemingen voor de belangrijkste richtingssectoren (300° , 330° , 360° , 30° , 60° , 90° . In de laatste kolom zijn de overige sectoren onderverdeeld bij de eerste twee golfklassen).

Scheepswaarnemingen uit Ocean Wave Statistics (ref.11)

Ocean Wave Statistics is een boek dat een overzicht bevat van de golfhoogte en periode, die in de periode 1953-1961 zijn waargenomen door "Voluntary Observing Ships" langs de vaarroutes van de wereld voor verschillende gebieden. Het gebied uit het boek dat voor dit geval in aanmerking komt is "AREA 31" (zie figuur 4 tabel 5).

Ook hier zijn de waarnemingen gegeven in de vorm van frequentietabellen voor verschillende richtingssectoren. Vandaar dat hier dezelfde werkwijze wordt gevolgd als bij de K.N.M.I. gegevens hiervoor. Het resultaat staat hieronder weergegeven :

golfklasse Hs (m)	percentage van voorkomen	golfhoogte Hs (m)	overschrijding frequentie
0 -0,75	75,4	0	1,000
0,75-1,25	12,4	0,75	0,246
1,25-1,75	7,4	1,25	0,122
1,75-2,25	2,3	1,75	0,048
2,25-2,75	1,3	2,25	0,025
2,75-3,25	0,7	2,75	0,012
3,25-3,75	0,3	3,25	0,005
3,75-4,25	0,2	3,75	0,002
4,25-5,25	< 0,1	4,25	0,000
	100%	5,25	0

Tabel 6



Figuur 4 : area 31, het gebied waarin de Ocean Wave Statistics waarnemingen zijn verricht.

AREA 31
ALL SEASONS

DIRECTION CLASS - ALL DIRECTIONS

WAVE HEIGHT CODE /	WAVE PERIOD CODE										TOTALS	
	X	2	3	4	5	6	7	8	9	0		1
00	721	750	6	2	2					20	6	1507
01	33	1375	80	20	6	2				2	36	1554
02	16	1284	339	46	24	3				6	17	1740
03	5	349	424	107	18	7	2	1				913
04		44	144	108	12	5	2	1				317
05		10	67	75	24	6	2			1		184
06			1	24	36	28	12		1			102
07	1		11	15	15	6			1			48
08	3		5	6	2	7	3					26
09			2	3	5	4	1	3		1		19
10	2								1			3
11				1		1						2
12				3	2	1	1		1			8
13				1	3							4
14				1	2							3
16					2	2						2
TOTALS	781	3813	1102	424	143	56	13	7	1	32	60	6432

Tabel 5 waarnemingen voor het gebied area 31.

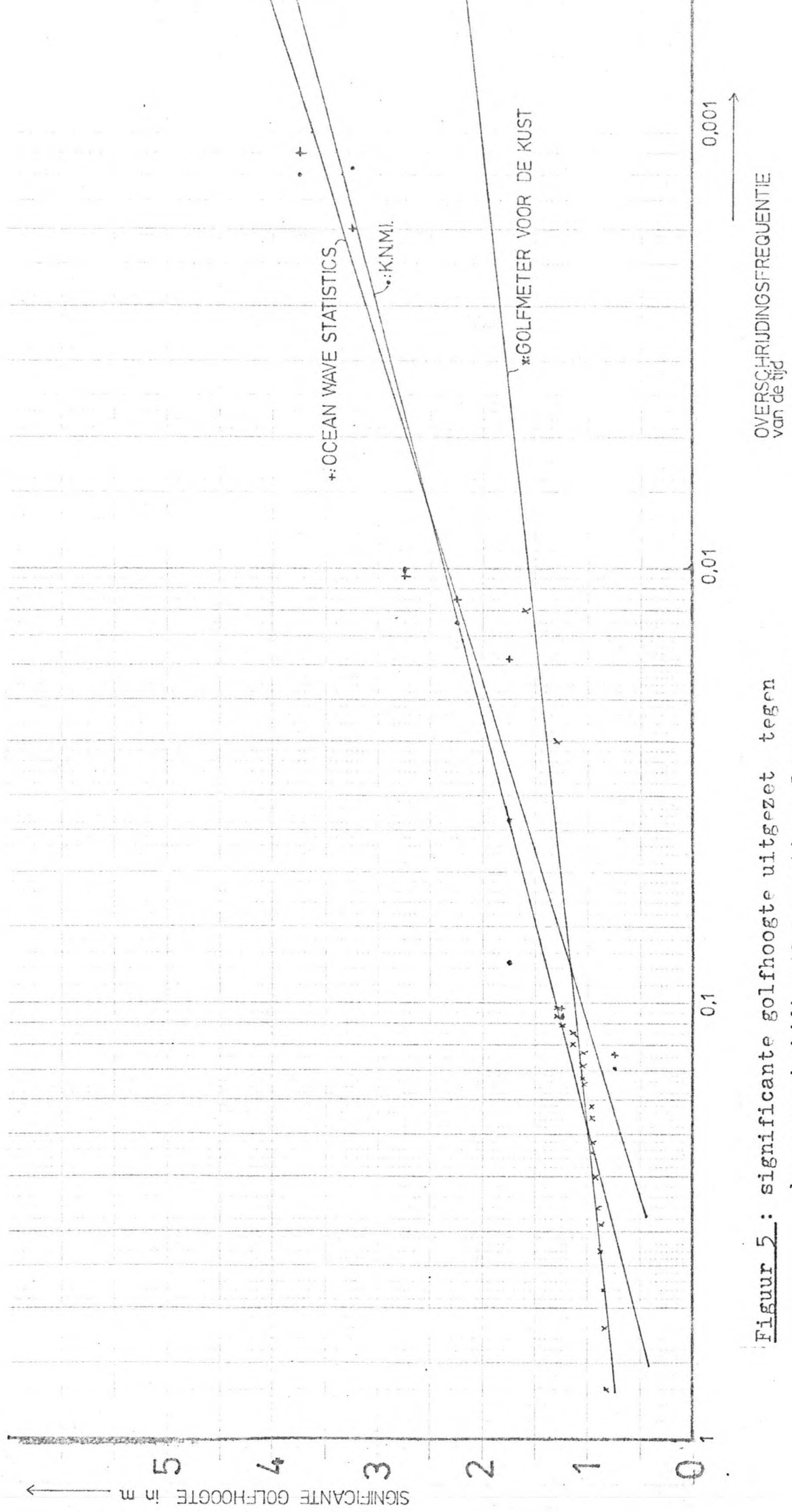
Vergelijking en keuze van de bronnen.

In figuur 5 is nu de overschrijdingsfrequentie uitgezet tegen de significante golfhoogte voor alle drie de bronnen, en er is voor elke bron een rechte getrokken die het best past bij de uitgezette punten.

Uit de figuur blijkt dat de golfmetingen voor de kust nogal afwijken van de andere. Hoewel een gedeelte van de afwijking kan verklaard worden door het feit dat de golven voor de kust gemeten zijn, en de andere golven zijn gemeten op diepwater, (K.N.M.I. en Ocean Wave Statistics) is de periode van 3 maanden meten met de golfmeter te kort om werkelijk betrouwbare gegevens te verkrijgen. De waarnemingen zullen dus niet gebruikt worden.

De Ocean Wave Statistics metingen en de K.N.M.I. metingen komen redelijk overeen.

Bij de K.N.M.I. metingen is gebruik gemaakt van 1034 waarnemingen (zie tabel 1) terwijl bij de Ocean Wave Statistics 6432 waarnemingen zijn gedaan (zie tabel 5). Maar omdat de K.N.M.I. metingen gedaan zijn in een veel kleiner gebied, waarbinnen de nieuwe havens valt, zal voor verdere berekeningen, ondanks het geringere aantal waarnemingen, uitgegaan worden van de K.N.M.I. waarnemingen.



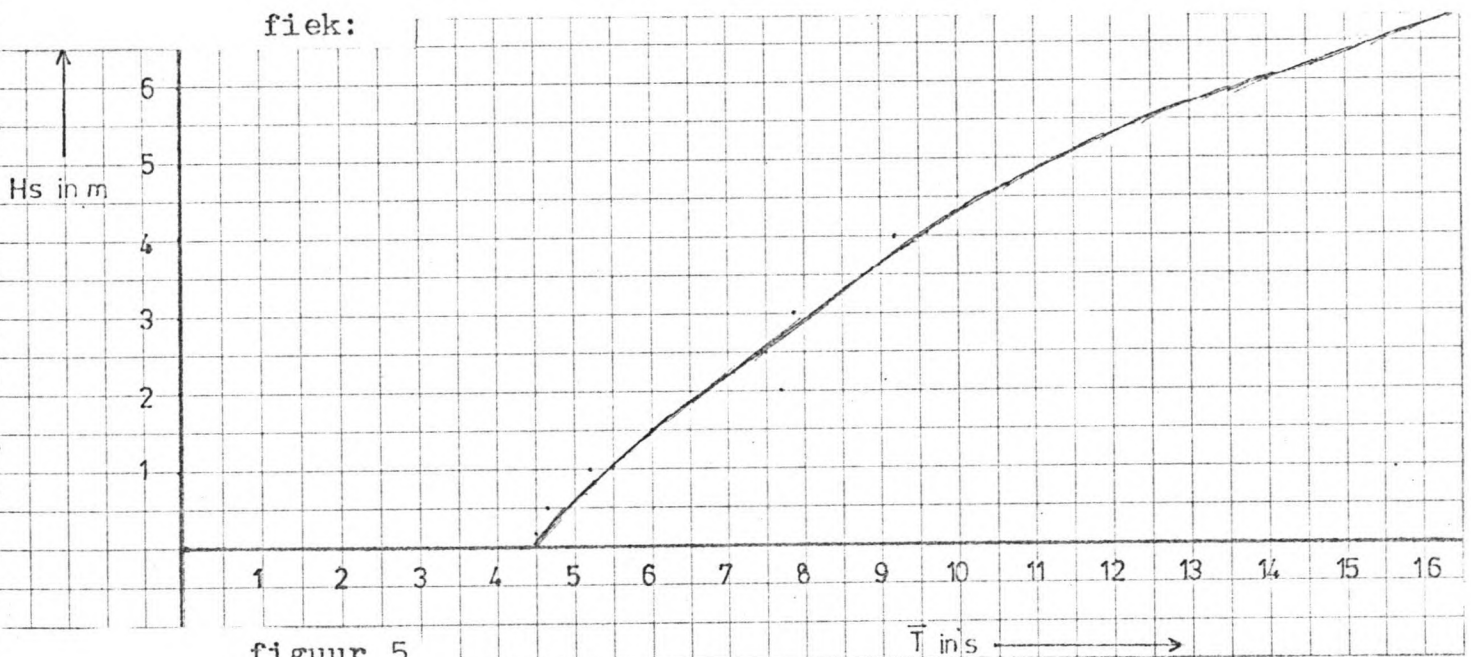
Figuur 5 : significante golfhoopte uitgezet tegen de overschrijdingsfrequentie volgens waarnemingen van drie verschillende bronnen.

Bepaling van de golfperiode.

Aan de hand van tabel 1 wordt nu per golfklasse de gemiddelde periode bepaald. Voor de periode < 5 seconden wordt gekozen 4,5 s en voor de periode > 13 wordt 13,5 s gekozen:

golfklasse H (m)	periode \bar{T} (s)
0 - 0,25	4,50
0,25-0,75	4,58
0,75-1,25	5,20
1,25-1,75	6,00
1,75-2,25	7,66
2,25-2,75	7,50
2,75-3,25	7,75
3,25-3,75	-
3,75-4,25	9,17
5,75-6,25	13,50

De waarden zijn uitgezet in de onderstaande grafiek:

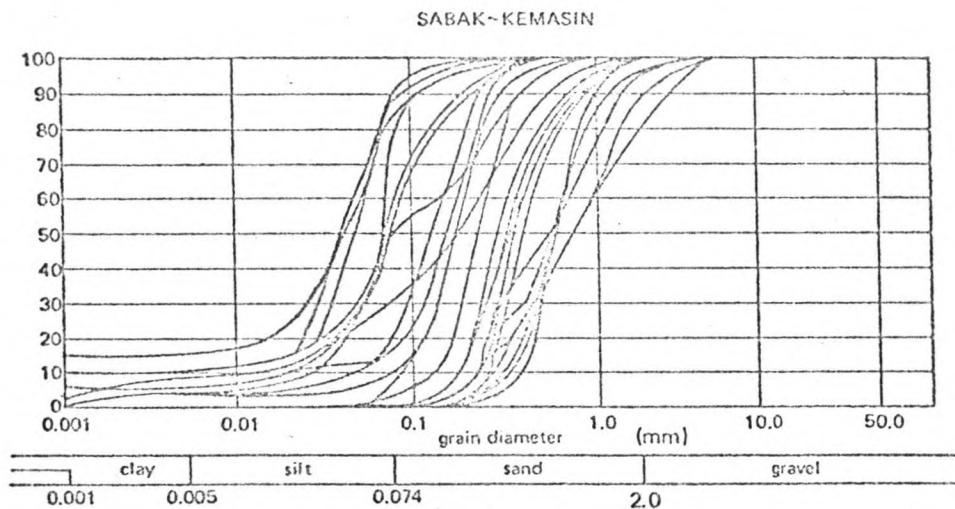


figuur 5

Aan de hand van deze figuur worden nu de perioden bepaald voor verdere berekeningen.

Het zandtransport

Om nu een schatting te maken voor het zandtransport voor de kust langs, wordt dit zandtransport berekend met de CERC-formule. In figuur 6 staat de korrelgrootte verdeling weergegeven.



Figuur 6 : korrelgrootte verdeling van nabijgelegen gebied.

Voor de golfgegevens die hiervoor nodig zijn, is gebruik gemaakt van de K.N.M.I. gegevens, die eerst zijn omgewerkt van diepwater golfhoogtes naar golfhoogtes op een diepte van 7 m door rekening te houden met refractie en shoaling. De berekeningen staan weergegeven in bijlage II en zijn als volgt uitgevoerd:

- Voor iedere golfklasse (ingedeeld naar golfhoogte en belangrijkste voortplantingsrichting) is de brekerhoek bepaald. Hierbij is uitgegaan van een brekingsindex voor significante golfhoogten van $\gamma=0,6$ (spilling breaker). Door de vrij flauwe bodemgradiënt voor de kust, is dit mogelijk (van ca. 1 : 250 tot 1 : 300).

Voorwaarden voor spilling breaker zijn:
(volgens Coastal Engineering vol. I, ref. 6).

$$\frac{H_o}{L_o \alpha^2} > 4,8 \quad \text{waarin } H_o = \text{significante golfhoogte op diep water.}$$

en $L_o =$ golfhoogte op diepwater.
 $\alpha =$ tangens van de bodemhelling.

$$\frac{H_{br}}{g T} > 0,068 \quad \begin{array}{l} H_{br} = \text{golfhoogte voor breken.} \\ g = \text{zwaartekrachtversnelling.} \\ T = \text{golfperiode.} \end{array}$$

Kies $\alpha = \frac{1}{250}$ dan:

$$H_o > 7,68 \cdot 10^{-5} L_o$$

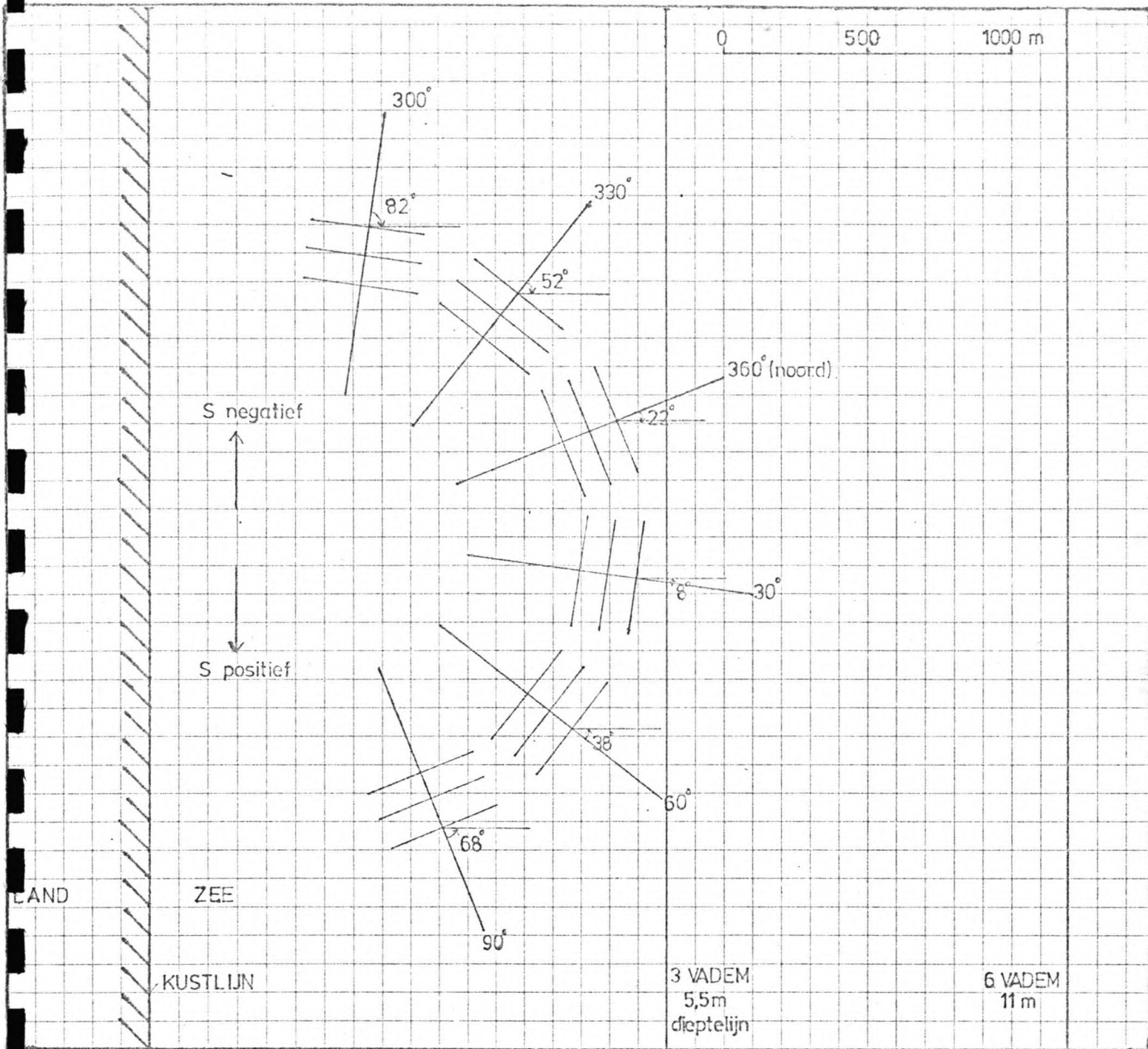
en $H_{br} > 2,67 \cdot 10^{-3} T^2$

Dit geldt voor praktisch alle hier voorkomende golven, dus is de aanname $\gamma = 0,6$ gerechtvaardigd.

Bij het bepalen van de brekerhoek is gebruik gemaakt van tabel C-1 uit de Shore Protection Manual, Volume III. Voor nadere toelichting wordt verwezen naar bijlage II.

- Vervolgens is het zandtransport bepaald met de CERC-formule door het zandtransport per golfklasse te bepalen en dan te vermenigvuldigen met het percentage van voorkomen van de golfklasse (zie bijlage II).
- Het totale netto zandtransport is bepaald door het optellen van de transporten per klasse. Transporten van N.W. naar Z.O. positief en van Z.O. naar N.W. negatief (zie figuur 7.).

De berekeningen staan in de tabellen van bijlage II gegeven.



Figuur 7 : de geschematiseerde kust met de belangrijkste richtingssectoren.

- Om later de aanzanding tegen de dam te bepalen met o.a. de benadering van Pelnard Considère, is het nodig te weten wat de dominante invalshoek van de golven is. Nu komt deze hoek overeen met de denkbeeldige hoek waarover de kustlijn gedraaid dient te worden, opdat er geen netto zandtransport optreedt. Dit wordt ook wel de evenwichtshoek genoemd. Om deze evenwichtshoek te bepalen is de kustlijn over een denkbeeldige hoek van -20° gedraaid en is het netto zandtransport opnieuw bepaald. En dan nog eens door de kustlijn over 30° en 60° te draaien. Door dan een lijn te trekken door deze punten, kan zo grafisch de evenwichtshoek bepaald worden. (zie figuur II.2 bijlage II).

Het zo bepaalde zandtransport bedraagt $0,94 \cdot 10^6$ m³/jaar van O.Z.O. naar W.N.W. De evenwichtshoek die is nu 0,698 rad.

Voor nadere toelichting en berekening zie bijlage II.

Het bepalen van de aanzanding tegen de dam.

Bij deze berekeningen wordt ervan uitgegaan dat het langstransport voornamelijk in de brekerzone plaatsvindt. Door de aanleg van de haven met de golfbrekers wordt dit langstransport voor de kust onderbroken, op zodanige wijze dat er aanzanding zal plaatsvinden ten O.Z.O. van de haven en erosie ten W.N.W. van de haven.

Om nu een indruk te krijgen van het gebied waarin het langstransport zich afspeelt, wordt het langstransport bepaald per golfklasse voor alle 6 richtingssectoren tesamen:

golfklasse	langstransport	%	cummultatief	
H_0 (m)	S (m^3/s)		H_0 (m)	%
0 - 0,75	$-0,29 \cdot 10^{-3}$	0,97	0	100
0,75-1,25	$-3,52 \cdot 10^{-3}$	11,80	0,75	99,03
1,25-1,75	$-6,06 \cdot 10^{-3}$	20,32	1,25	87,23
1,75-2,25	$-8,09 \cdot 10^{-3}$	27,13	1,75	66,91
2,25-2,75	$-5,76 \cdot 10^{-3}$	19,32	2,25	39,78
2,75-3,25	$-3,17 \cdot 10^{-3}$	10,63	2,75	20,46
3,75-4,25	$-2,93 \cdot 10^{-3}$	9,83	3,83	9,83
	<hr/>	<hr/>	3,75	9,83
	$-29,82 \cdot 10^{-3}$	100	4,25	0

Tabel 7

Zie bijlage II.

Hieruit blijkt dat ca 10% van het totale langstransport plaatsvindt door golven groter dan 3,7m. Met een brekingsindex voor significante golven van $=0,6$ levert dit een diepte van $3,7/0,6 = 6,17m$. Bij een gemiddelde bodem gradiënt van 1 : 300 betekent dat $6,17 \cdot 300 = 1850m$ uit de kust. Maar omdat de golven zich in de richting

van de kust begeven, zal meer dan 90% van het langstransport zich afspelen binnen die 1850m.

Om nu een indruk te krijgen van de tijdsduur die nodig is voordat het langstransport om de dam zal gaan, is het nodig te weten wat de diepte zal zijn waarover de aanzanding zal plaatsvinden. Volgens bovenstaande berekening vindt maximaal ca 5% van het langstransport plaats door golven groter dan 4m. Met $\alpha=0.6$ levert dit een diepte van 6,7m. Dit betekent dat bijna geen langstransport meer zal optreden voorbij een diepte groter dan 7m.

Hoewel in werkelijkheid ook zandtransport zal optreden door de stromingen en de golven voor de kust waardoor het zeer goed mogelijk is, dat ook buiten deze 7m dieptelijn zandtransport optreedt.

In deze studie wordt hierop echter niet verder ingegaan.

De diepte waarover de aanzanding plaatsvindt wordt nu voorlopig geschat op 7m plus 0,5m voor kustophoging = 7,5m.

Het bodemprofiel voor de kust is een dynamisch evenwichtsprofiel, dat gevormd is in de loop der jaren. Door de aanleg van de haven met zijn golfbrekers wordt een verstoring geïntroduceerd. Het bodemprofiel zal zich nu gaan aanpassen. Maar omdat de vorm van de profielen door de jaren heen is ontstaan, en in een dynamisch evenwicht was, zal bij aanzanding die vorm zoveel mogelijk behouden willen blijven. Dit houdt in dat aanzanding zoveel mogelijk via evenwijdige lijnen zal geschieden.

Echter er zal ook zandtransport vanaf de kust plaatsvinden. Dit betekent dat de bodemgradiënt groter is, een steiler profiel dan het oorspronkelijke profiel.

Er zullen nu twee gevallen bekeken worden:

- evenwijdige aanzanding
- niet evenwijdige aanzanding

Evenwijdige aanzanding.

De tijdsduur die nodig is voor het aangroeien van de kust totdat het zandtransport zich om de dam heen voortzet, bij evenwijdige aanzanding wordt berekend met de volgende formule :

$$t = 0,785 \frac{L^2 h}{S_o \varphi_e} \quad \text{waarin}$$

t = Het aantal jaren dat het duurt voordat de kustlijn tot het einde van de dam is aangegroeid.

h = De hoogte waarover het zand zich afzet.

S_o = Het netto zandtransport (zie bijlage II).

φ_e = De evenwichtshoek (zie bijlage II).

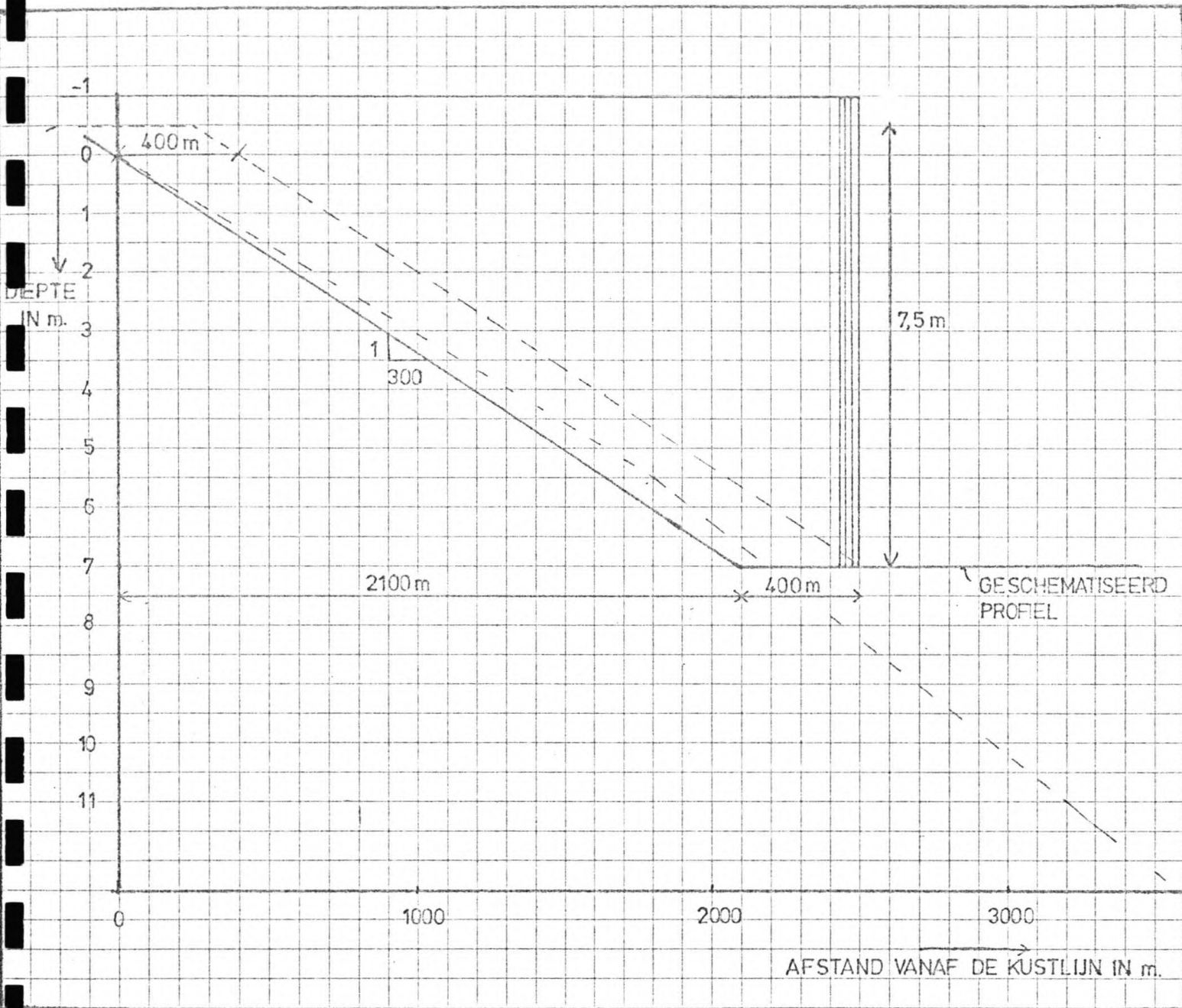
L = De afstand waarover de kustlijn langs de havendam naar voren is geschoven.

(volgens Pelnard Considère 1954)

(zie figuur 8).

Voor de situatie geschetst in figuur 8, duurt het voor een golfbreker die 2500m de zee insteekt maar 1,4 jaar voordat het zand om de golfbreker gaat. Wordt de golfbreker langer, dan zal de tijdsduur ook toenemen:

lengte van de golfbreker uit de kust (m)	tijdsduur (jaar)
2500	1,4
2700	3,2
2900	5,7
3100	9,0
3600	20,2
4000	32,4



Figuur 8 : schematisatie van de evenwijdige aanzanding.

Niet evenwijdige aanzanding.

De tijdsduur voor niet evenwijdige aanzanding wordt berekend met de volgende formule:

$$t = \frac{L^3 m m'}{1,5 S (m' - m) \varphi_e} \quad \text{waarin}$$

t = Het aantal jaren dat het duurt voordat de kustlijn de nieuwe bodemgradiënt heeft bereikt.

L = De lengte waarover de kustlijn langs de havendam is geschoven.

m = De tangens van de hoek die het originele bodemprofiel maakt met de horizontaal.

m' = De tangens van de hoek die het nieuwe bodemprofiel maakt met de horizontaal.

S = Het netto zandtransport (zie bijlage II).

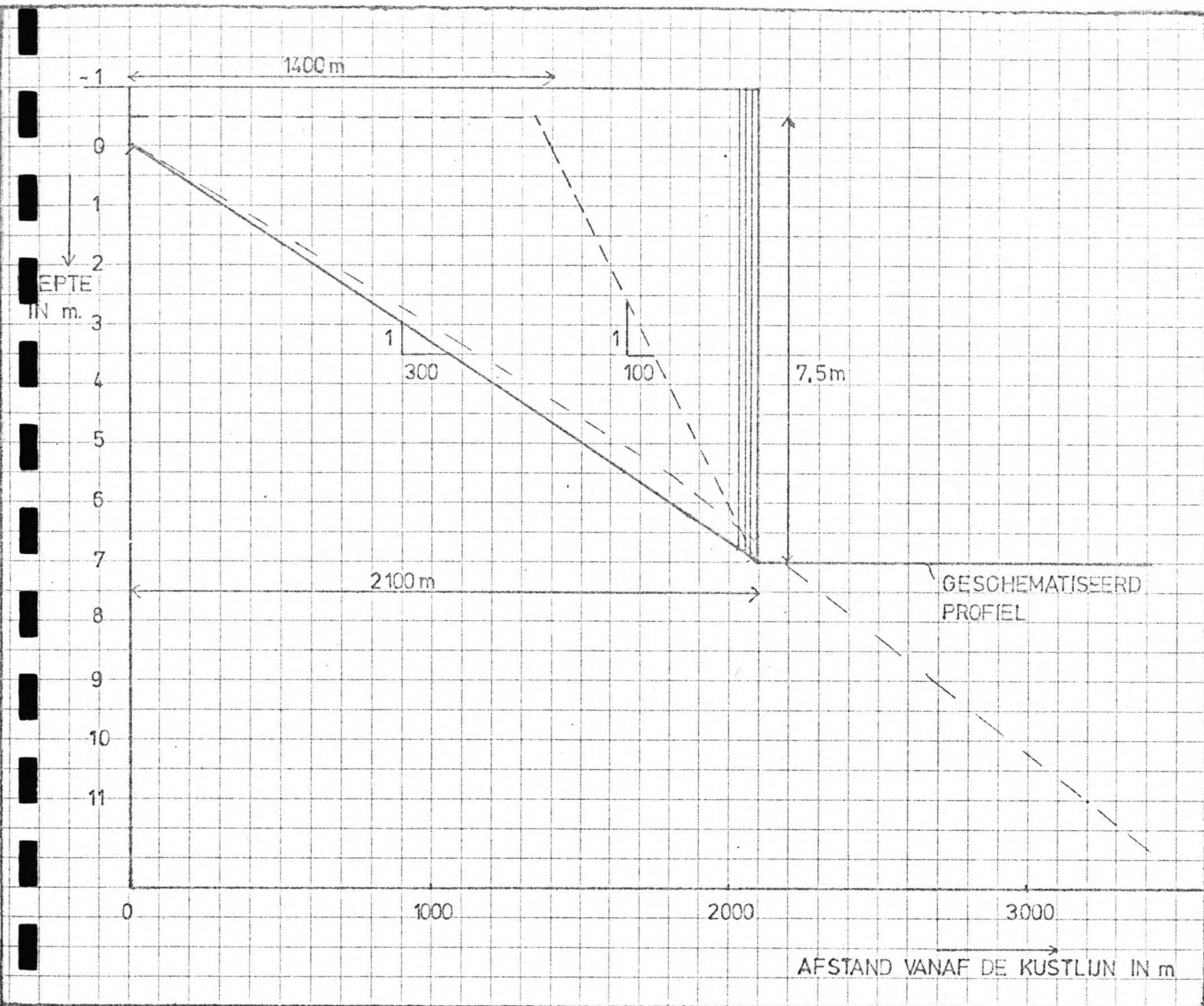
φ_e = De evenwichtshoek (zie bijlage II).

(volgens Van Hijum 1972)

(zie figuur 9)

Voor de situatieschets in figuur 9, duurt het voor een golfbreker die 2100m de zee insteekt 14 jaar voordat de nieuwe bodemgradiënt is bereikt.

Om nu te voorspellen wat het profiel van aanzanding zal zijn, dient de gehele kustlijn in ogenschouw te worden genomen (zie figuur 2 en eventueel de zeekaart, ref. 7). De haven is gepland op een plaats waar de kust convex is. De waarschijnlijke oorzaak hiervan is de Kelantan rivier. Deze rivier heeft in de loop der jaren een delta gevormd. Zo is het ook zeer waarschijnlijk, dat de Peng Datu rivier vroeger tot het



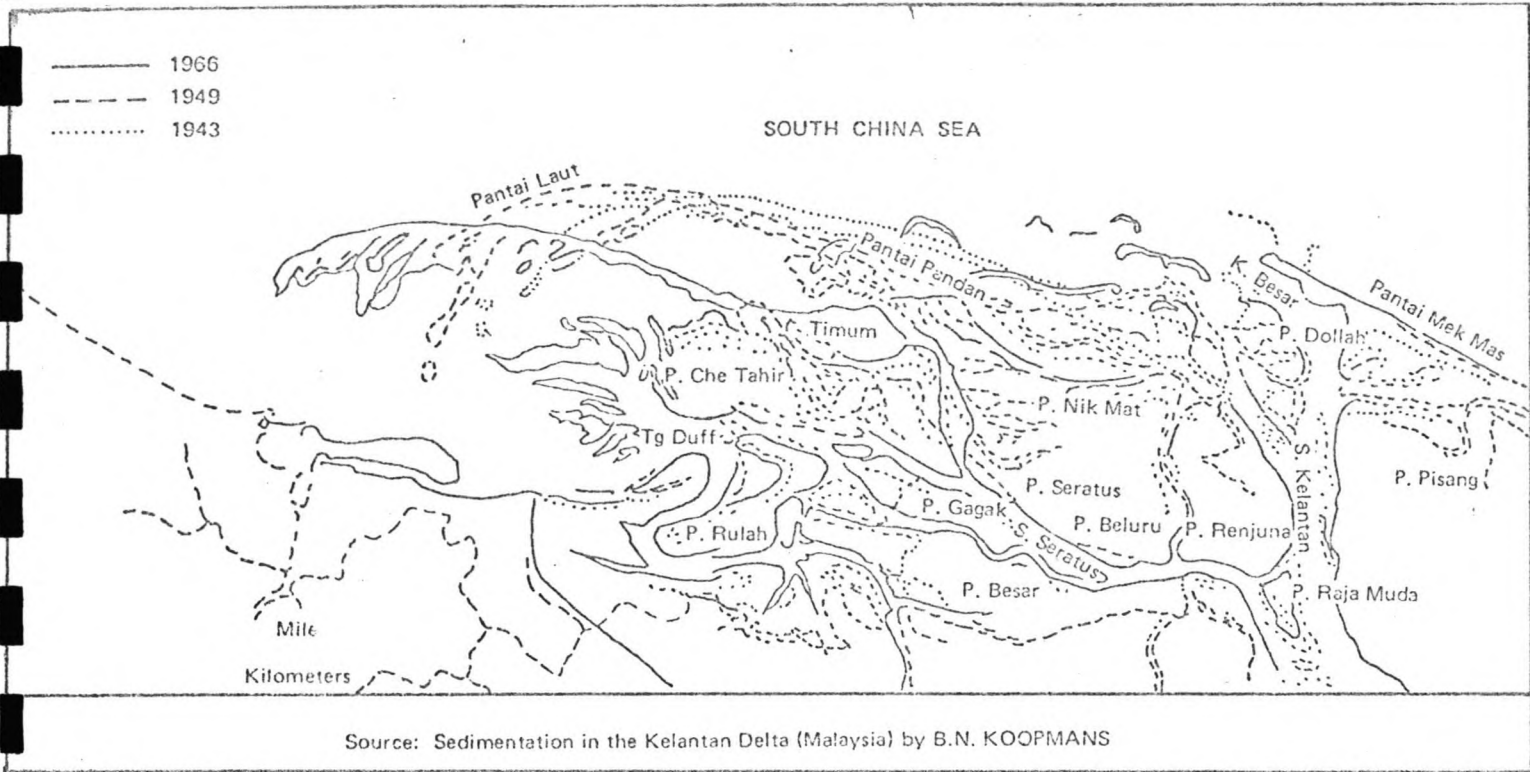
Figuur 9 : schematisatie van de niet evenwijdige aan-
zanding.

stroomgebied van de Kelantan rivier behoorde. Omdat vooral de Kelantan rivier veel sediment vervoert, kon de delta gevormd worden, ook ter plaatse van de Peng Datu rivier. De Peng Datu rivier behoort nu niet meer tot het stroomgebied van de Kelantan rivier en vervoert nu ook veel minder sediment. De verdere uitbouw van de delta geschiedt nu grotendeels bij de monding van de Kelantan rivier. (zie figuur 10).

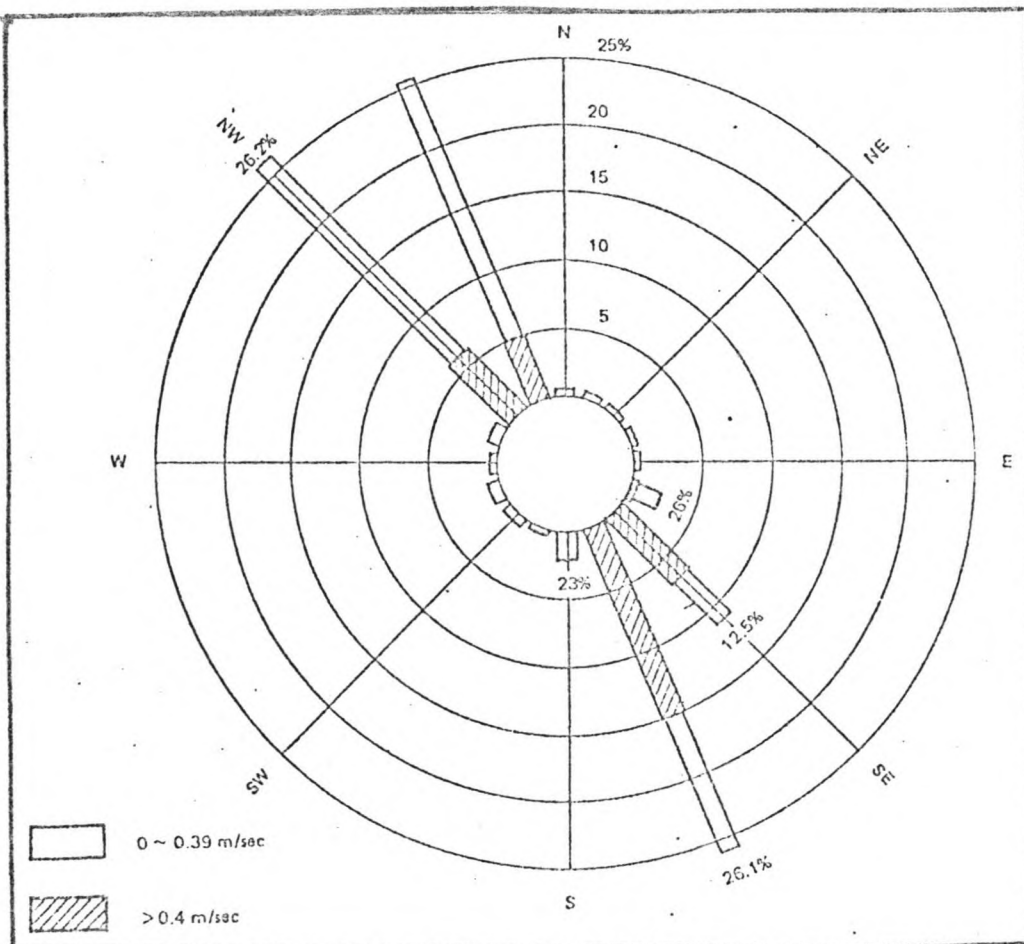
Volgens figuur 11 treedt de stroming voor de kust voornamelijk op evenwijdig aan de kust. De overheersende stromingsrichting is van Z.O. naar N.W. en de overheersende windrichting iets noordelijker dan oost (zie figuur 12). Hierdoor verplaatst het zand zich naar het N.W. Vooral bij de monding van de Kelantan rivier is dit goed waarneembaar, maar ook bij de Peng Datu rivier is dit te zien. (zie figuur 2).

Het aangroeien van de kust bij de monding van de Kelantan rivier (zie ook figuur 10), geschiedt zo snel dat de zee geen kans ziet om al dat zand zo snel af te voeren. Hierdoor ontstaat een toename van de bodemgradiënt. Dit is duidelijk te zien in figuur 2, in de buurt van de monding van de Peng Datu rivier, zowel in het noord-westen als in het zuid-oosten. Op deze plaatsen is de afstand van de kust tot bv. de 6 vadem lijn veel kleiner dan bv. ter hoogte van Bachok, wat verder ten Z.O. van de Peng Datu rivier monding.

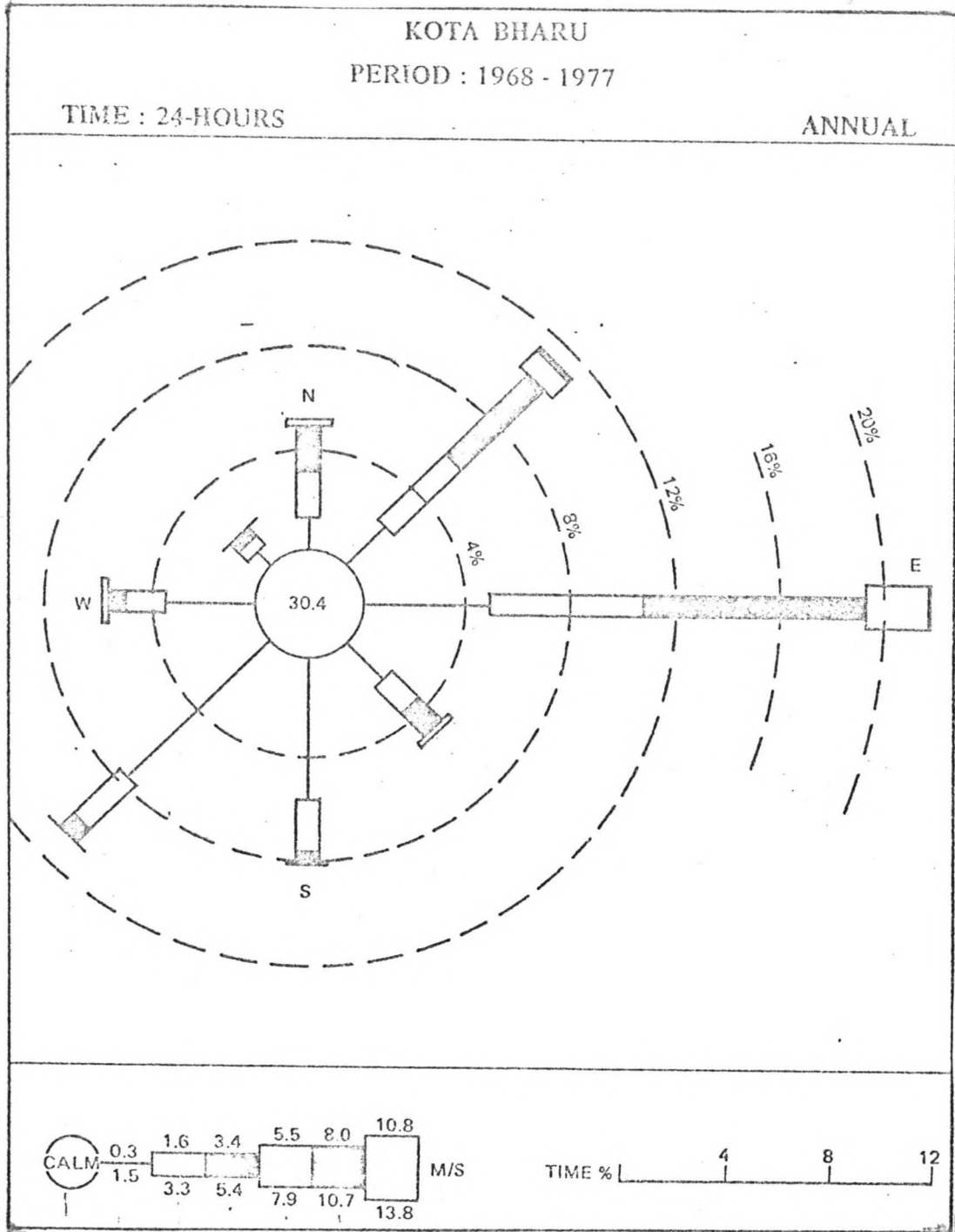
Bij de aanleg van een nieuwe haven met havendammen die in zee steken, zullen deze verschillen zich ook voor kunnen doen. Hierdoor zal het uiteindelijke aanzandingsprofiel steiler worden. Het meest steile profiel in de nabije omgeving ligt juist ten oosten van



Figuur 10 : het aangroeien van de delta van de Kelantan rivier bij Tumpat.



Figuur 11: de frequentie van voorkomen en de richtingen en grootte van de stromingen voor de kust van Kelantan.



Figuur 12: windroos voor de omgeving van Kota Bharu.

de monding van de Kelantan rivier en het heeft een bodemgradiënt van ca. 1 :100. Voor deze nieuwe kustuitbouw wordt nu aangenomen dat het aanzandingsprofiel 1 :100 is. Hoewel het mogelijk is dat door de verre uitbouw in zee het aanzandingsprofiel nog steiler zal worden, is toch gekozen voor de gradiënt van 1 : 100.

Dit betekent dus een niet evenwijdige aanzanding. Volgens figuur 6 geldt dan dat na 14 jaar het zand om de dam heen komt zetten. Dit is een relatief korte periode en het verdient dan ook aanbeveling om andere mogelijkheden te onderzoeken, zoals bv. het bouwen van een lange steiger die in zee steekt. Het zandtransport zou dan ongehinderd onder de steiger door moeten gaan.

Een andere mogelijkheid is om een andere lokatie te zoeken waarbij de kustlijn een wat andere oriëntatie heeft, zodat het langstransport minder zal zijn. (zie figuur II. 2).

Omdat de opzet van de deelstudie was om een havendam te ontwerpen, wordt er gekozen voor de havendam met het besef dat dit misschien niet de meest optimale oplossing is. De locatie is bepaald in de hoofdstudie bij verkeerswaterbouwkunde voordat deze cijfers bekend waren. Ook hier verdient het aanbeveling om met deze cijfers de locatie nog eens uitgebreid te bestuderen. Voor deze deelstudie wordt echter de reeds bepaalde locatie aangehouden.

Het ontwerpen van een rubble mound golfbreker

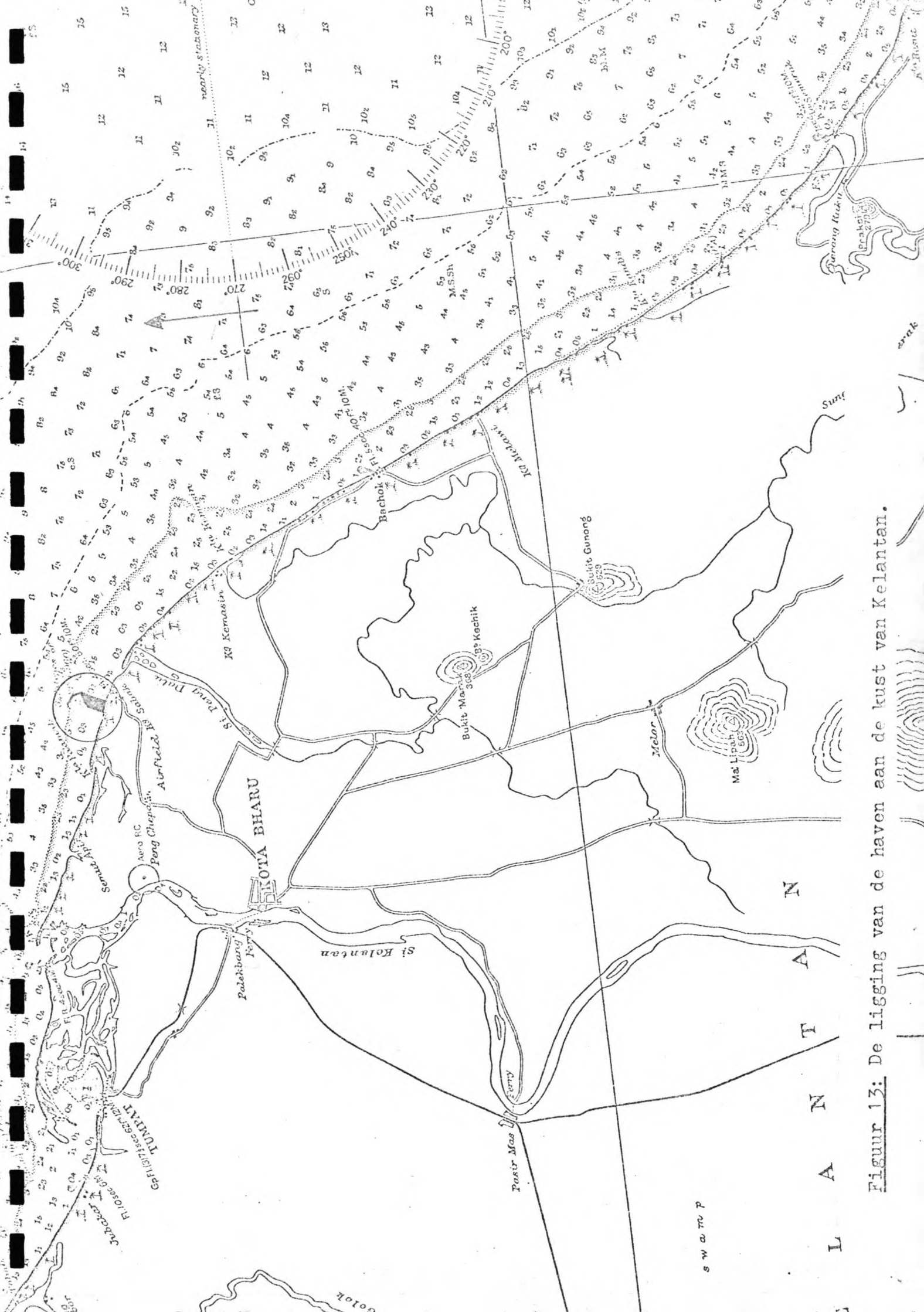
Algemeen

In figuur 13 en in figuur 14 staat nu weergegeven waar en hoe ongeveer de golfbreker gepland is. Om het dwarsprofiel van een rubble mound golfbreker te ontwerpen worden de volgende onderwerpen behandeld:

- Ontwerpgolfhoogte en terugkeerperiode
- Type bekledingselement
- Helling van het talud
- Kruinhoogte
- Blokgewicht

Ontwerpgolfhoogte en terugkeerperiode

Voor het bepalen van de ontwerpgolfhoogte en de bijbehorende terugkeerperiode wordt uitgegaan van de tabellen in bijlage I. Er wordt nu voor de belangrijkste richtingen een overschrijdingslijn bepaald, waar de significante golfhoogte staat uitgezet tegen de terugkeerperiode. Bij het bepalen van de terugkeerperiode is een stormduur van 6 uur verondersteld. Door nu het terugkeerinterval, uitgedrukt in jaren, te vermenigvuldigen met het relatieve aantal uren storm per jaar, $6/(365.24)$, vindt men een overschrijdingsfrequentie. Voor elke belangrijke richtingssector kan nu de bijbehorende golfhoogte opgezocht worden, en zo wordt dan de lijn bepaald die de relatie weergeeft tussen de significante golfhoogte en de terugkeerperiode voor de belangrijkste richtingssectoren op diep water (zie bijlage III).



Figuur 13: De ligging van de haven aan de kust van Kelantan.

Figuur 14:

De geschematiseerde kust met een voorlopige ontwerpschets van de haven.

500m

schaal 1:20000

Noord

land zee

ca. 2600m

toegangseul

havendam

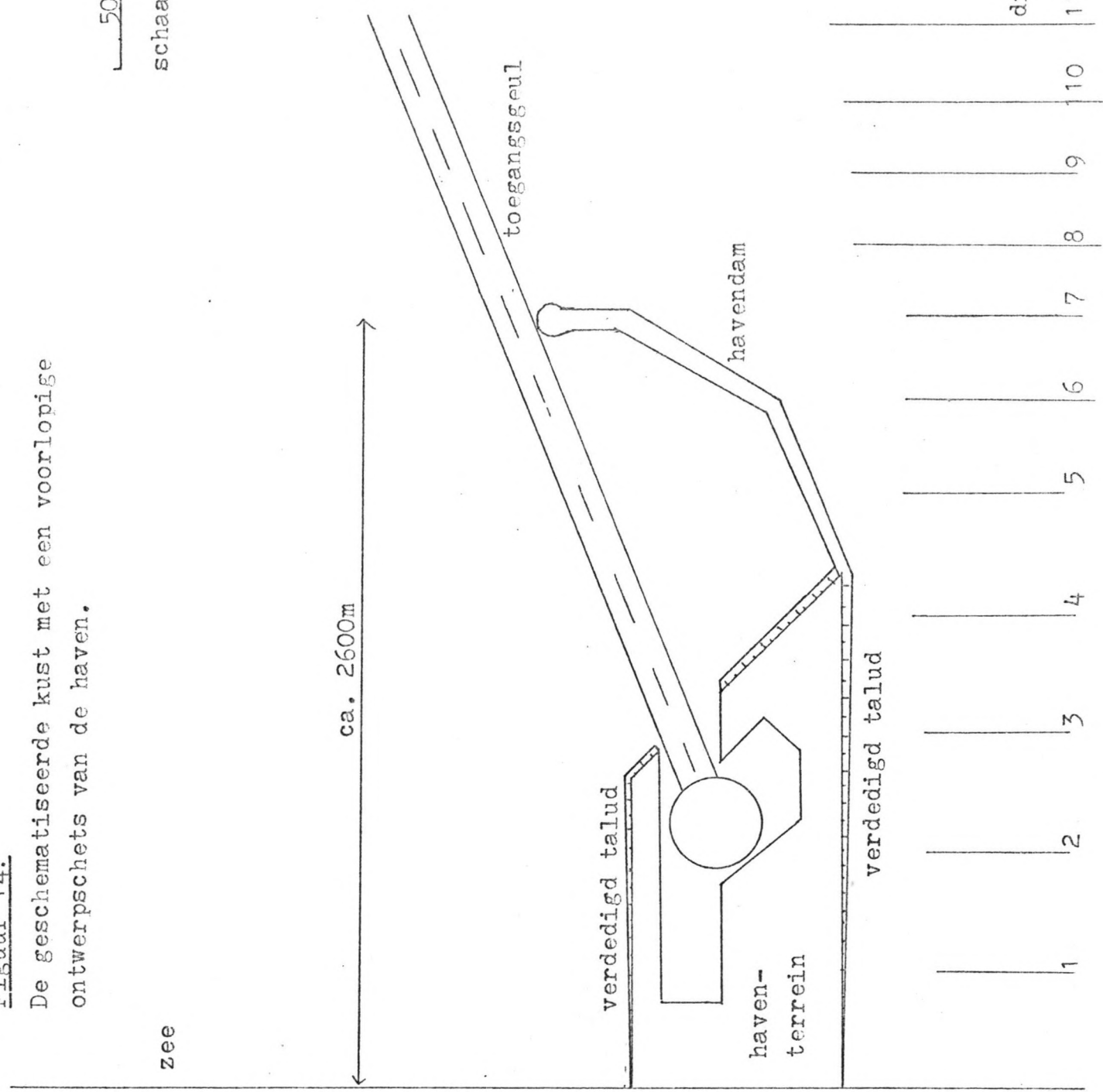
verdedigd talud

haven-
terrein

verdedigd talud

dieptelijnen in m.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11



terugkeerperiode (jaar)	overschrijdings frequentie
0,1	$6,85 \cdot 10^{-3}$
0,5	$1,37 \cdot 10^{-3}$
1	$6,85 \cdot 10^{-4}$
5	$1,37 \cdot 10^{-4}$
20	$3,42 \cdot 10^{-5}$
100	$6,85 \cdot 10^{-6}$

terugkeerperiode (jaar)	golfhoogte H in meters					
	330°	360°	30°	60°	90°	300°
0,1	1,5	1,1	2,4	3,1	2,7	1,2
0,5	1,9	1,4	2,9	3,6	3,3	1,5
1	2,6	2,1	3,7	4,4	4,3	2,1
5	3,9	2,4	4,2	4,9	4,8	2,4
20	4,0	3,3	5,3	6,1	6,2	3,2
100	4,8	4,0	6,3	7,1	7,3	3,9

Tabel 8: De golfhoogten op diep water voor de belangrijkste richtingssectoren.

terugkeerperiode (jaar)	golfhoogte H in meters					
	330°	360°	30°	60°	90°	300°
0,1	0,8	1,0	2,3	2,8	1,8	0,5
0,5	1,5	1,3	2,8	3,3	2,2	0,6
1	2,1	1,9	3,7	4,2	2,9	0,9
5	2,4	2,2	4,2	4,2	3,3	1,0
20	3,4	3,2	4,2	4,2	4,2	1,3
100	4,2	4,0	4,2	4,2	4,2	1,6

Tabel 9 : De golfhoogten op de 7 m dieptelijn voor de belangrijkste richtingssectoren rekening houdend met refractie en shoaling.

In tabel 9 staan nu de golfhoogten weergegeven voor de belangrijkste richtingssectoren op de 7 m dieptelij, waarbij rekening is gehouden met refractie en shoaling. De waarden in tabel 8 hebben hiervoor als uitgangspunt gediend. Voor een nadere toelichting van de berekening wordt ^verwezen naar de bijlage III.

Uit tabel 9 blijkt nu dat de grootste golfhoogte die voor kan komen op een diepte van 7 m, een golfhoogte is van 4,2 m. Dit wordt dan ook als ontwerp-golfhoogte gekozen. Men moet echter wel bedenken dat deze ontwerpgolfhoogte een terugkeerperiode heeft van maar 1 jaar.

De kruinhoogte

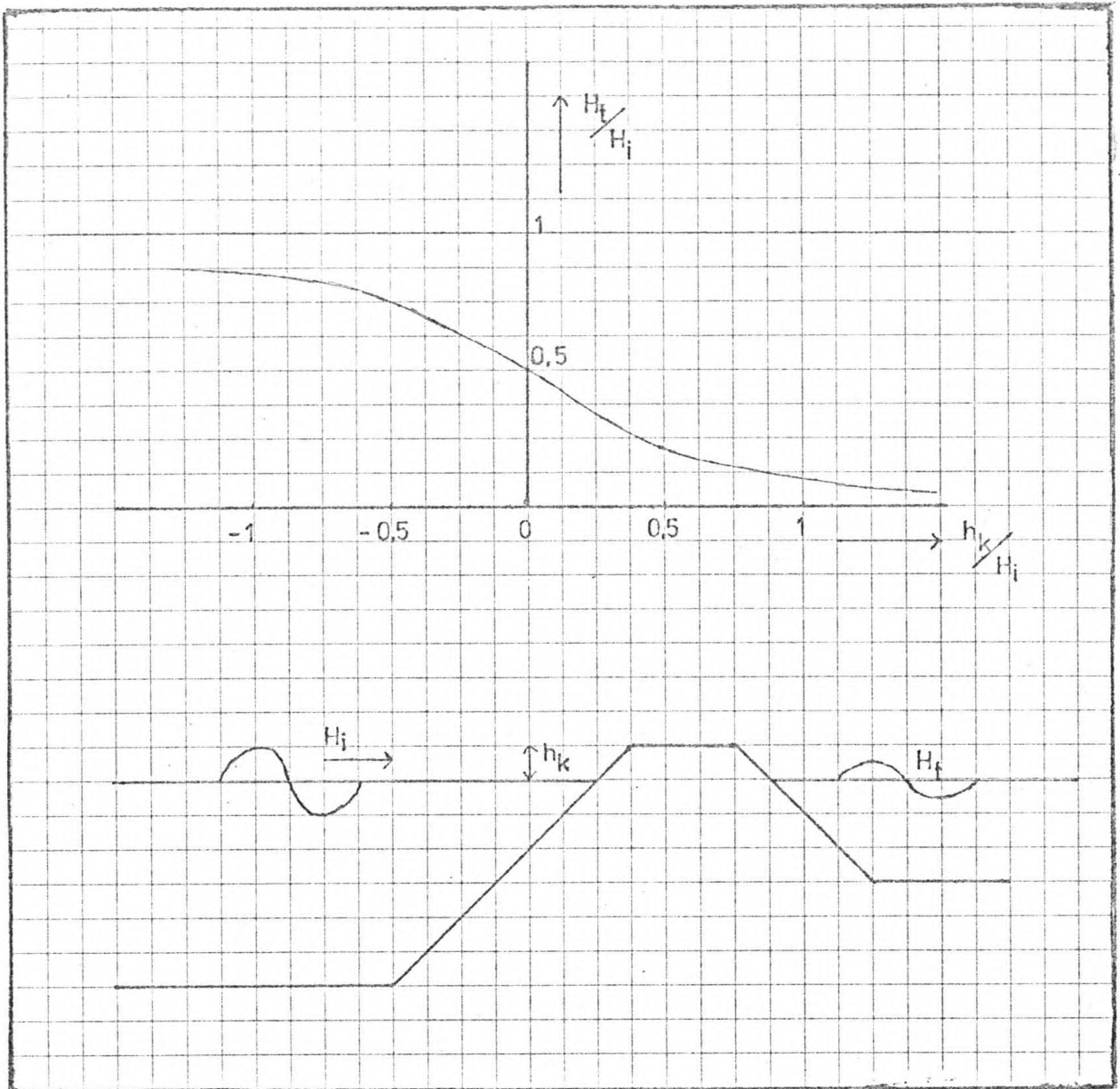
Voor het bepalen van de kruinhoogte moet rekening worden gehouden met het feit dat het hier gaat om één lange dam in zee die bescherming moet bieden aan binnenvarende schepen. Dit stuk dam zal het zwaarst geconstrueerd moeten worden. De stukken dam dichterbij de kust kunnen lichter uitgevoerd worden. Achter de dam ver in zee, vinden geen havenactiviteiten plaats die last zouden kunnen hebben van overslaand water. Het gaat hier meer om het feit dat de schepen beschermd dienen te worden tegen de (brekende) golven.

De mate waarin overslaand water golven opwekt aan de andere kant van de dam welke hinderlijk zouden kunnen zijn voor de scheepvaart, kan bepaald worden aan de hand van een vuistregel die staat weergegeven in figuur 15.

Er wordt vanuit gegaan dat een schip niet binnen zal lopen bij golven groter dan 4,2 m ($=H_i$), omdat de brandingszone dan verder in zee komt te liggen dan tot waar de havendam reikt.

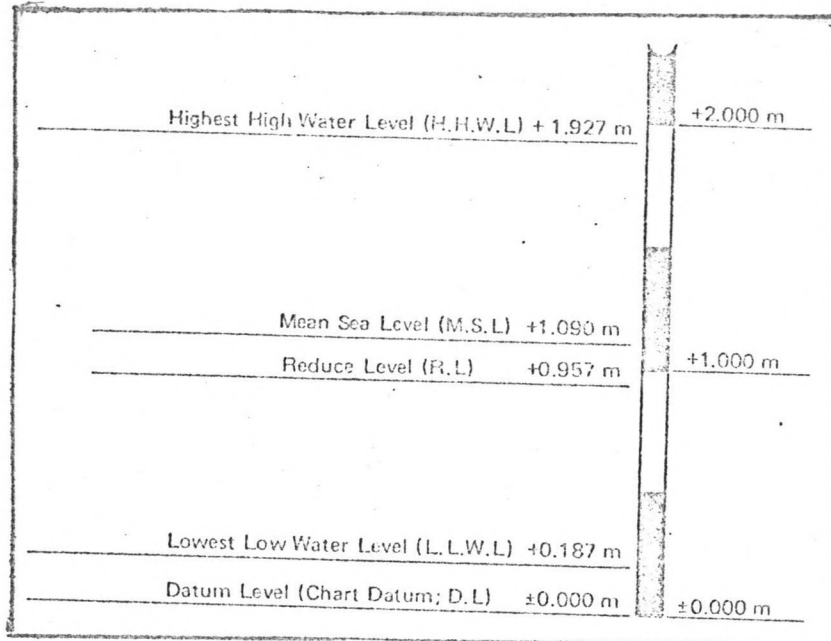
Voor golven lager dan 4,2 m neemt de overschrijdingsfrequentie snel toe tot meerdere malen per jaar. Als eis wordt daarom gesteld dat de havendam binnelopen mogelijk moet maken tot $H_g=4,2$ m. Uit veiligheidsoverwegingen (zichtbaarheid) wordt bovendien de eis gesteld dat de dam in elk geval boven H.W. uitkomt. Dit betekent voor de golfhoogte achter de dam: $H_t \leq 0,5H_i = 2,1$ m.

De vraag in hoeverre voor het meest zeewaartse deel van de havendam verdere reductie van de golfhoogte vereist is, is niet exact te beantwoorden.



- h_k = De hoogte van de kruin boven het waterniveau
 H_i = De hoogte van de inkomende golf
 H_t = De golfhoogte achter de golfbreker

Figuur 15 : De mate waarin overslaand water golven opwekt aan de andere kant van een dam.



Figuur 16 : Het getij. In dit verslag is aangenomen,
 mean sea level = 0 , H.W.= +1,0 m en
 L. W.= -1,0 m.

Dit hangt ondermeer af van de golfbeweging op korte afstand van de aanlegplaatsen. Arbitrair wordt nu een reductie aangenomen tot 1 m door overslag. Dit vraagt een kruinhoogte van 2.0 m boven H.W. of 3 m boven mean sea level. Voor een werkelijke optimalisatie is verder uitgebreid onderzoek nodig.

Bij het ontwerpen van een rubble mound golfbreker wordt gebruik gemaakt van de formule van Hudson:

(volgens Coastal engineering vol.III,ref. 6)

$$W = \frac{\rho_a g H^3}{K_d \Delta^3 \cot \varphi} \quad \text{waarin}$$

W = Het gewicht van één bekledingselement

ρ_a = De massadichtheid van een bekledingselement

H = De maatgevende golfhoogte

K_d = De schadecoëfficiënt

Δ = De relatieve dichtheid van een bekledingselement

$$\Delta = \frac{\rho_a - \rho}{\rho}$$

ρ = De massadichtheid van zeewater (1030 kg/m³).

φ = De hellingshoek van het talud van de dam

Voor brekende golven moet de K_d waarde verlaagd worden. In de Shore Protection Manual (ref.10) wordt dit gedaan door een verlaging van de schadefactor K_d tot 0,87 K_d . Als maatgevende golfhoogte wordt nu 4,2 m aangehouden met een gereduceerde K_d waarde (0.87 K_d) omdat hier sprake is van brekende golven.

Om nu een aantal combinaties met elkaar te vergelijken, is het gewicht van een bekledingselement bepaald met de Hudson formule voor een betonnen kubus en voor natuursteen bij verschillende hellingen.

Opm. Omdat de ontwerpgolfhoogte van 4,2 m een terugkeerperiode heeft van maar 1 jaar, wordt in principe gekozen voor een schadepercentage van 0%. Dit betekent dat er zo min mogelijk reparaties aan de dam uitgevoerd zullen moeten worden (Indien mogelijk geen reparaties).

Voor natuursteen zijn de schadepercentages die horen bij een bepaalde K_d waarde gegeven als een bepaalde klasse met een breedte van 5% :

Natuursteen	Schade (%)	K_d
	0 - 5	4,0
	5 - 10	4,9
	10 - 15	6,6

Voor betonnen kubussen zij deze percentages als volgt gegeven:

Betonnen kubus	Schade (%)	K_d
	0	3,5
	1 - 2	7
	5	≈ 14

(volgens Coastal engineering vol.III,ref. 6)

Voor de kubussen wordt dus het laagste percentage, 0% gekozen met de K_d waarde van 3,5. Om nu voor natuursteen, dat gemiddeld een lagere K_d waarde heeft dan de kubus, hetzelfde criterium te hanteren van 0% schade, wordt een K_d waarde gekozen van 3,2.

Helling van het talud en de primaire bekledingslaag

De helling van het talud zal steeds zo steil mogelijk gekozen worden in verband met de inhoud van het damlichaam. Een steiler talud dan 1 : 1,5 wordt afgeraden. (Dan geldt ook de Hudson formule niet meer.) Er zijn echter factoren waardoor het gunstiger kan zijn het talud minder steil te maken:

- De blokmasa zal minder hoeven te zijn bij een minder steil talud.
- De golfoploop is minder bij een minder steil talud waardoor de kruinhoogte minder wordt, waardoor de inhoud van het damlichaam weer afneemt.
- Het type bekledingsselement. Bij een minder steil talud zal een bekledingsselement nodig zijn met een lager blokgewicht. Dit kan voordelig zijn in verband met de handelbaarheid tijdens de uitvoering. Maar het kan ook voordelig zijn vanwege het feit dat er niet voldoende zware bekledingsselementen aanwezig zijn of dat het moeilijk is zulke zware elementen te maken. Een ander voordeel kan zijn dat het lagere benodigde gewicht gecompenseerd wordt door een ander element te kiezen met een kleinere K_d waarde of een lagere soortelijke massa. Deze elementen moeten dan wel goedkoper zijn.
- De ondergrond. Door een minder steil talud zal de belasting op de ondergrond meer gespreid worden, wat vooral bij slechte ondergrond voordelig of zelfs noodzakelijk kan zijn (zie verderop in dit verslag).

	schade percentage	schadefactor		gewicht in kN bij ver- schillende taludhellingen			
		K _d	gereduceerd K _d	1 : 1,5	1 : 2	1 : 3	1 : 5
betonnen kubus =2400kg/m ³	0	3,5	3,05	162	122	81	49
natuursteen =2700kg/m ³	0	3,2	2,78	110	83	55	33

Natuursteen is in de nabijheid volgens de feasibility studie (ref.1) alleen te krijgen tot gewichten van maximaal 20 kN. Dit zou betekenen een maximale helling van 1 : 8,3. Dit zou een zodanige vergroting van het damlichaam geven dat hieris afgezien van natuursteen als primaire bekledingslaag.

Om nu een keuze te maken uit een hellingshoek zal de dwarsdoorsnede van de primaire laag bepaald worden. Hiervoor worden nu eerst een aantal noodzakelijke waarden bepaald: de kruinbreedte en de laagdikte. De reeds bekende gegevens zijn:

- Ontwerp golfhoogte is 4,2 m.
- Kruinhoogte is 3 m boven mean sea level.
- Aanlegdiepte is 7 m onder mean sea level.
- De helling van het talud met de bij behorende gewichten van de betonnen kubussen (zie hierboven).

De breedte van de kruin volgt uit de volgende formule:

$$B = m \cdot K_{\Delta} \cdot \left(\frac{W}{g \rho_a} \right)^{1/3} \quad \text{waarin}$$

B = de kruinbreedte

m = het aantal elementen op de kruin (hier gesteld op 3).

K_{Δ} = de vormcoëfficiënt (hier 1,10).

W = het gewicht van een bekledingselement in kN.

g = de zwaartekrachtversnelling (9,8 m/s²).

ρ_a = de massadichtheid van een bekledingselement.

Na invullen ontstaan de volgende waarden:

taludhelling	kruinbreedte (m)
1 : 1,5	6,3
1 : 2	5,7
1 : 3	5,0

Voor het berekenen van de laagdikte geldt een soortgelijke formule:

$$t = m' \cdot K_{\Delta} \cdot \left(\frac{W}{g \rho_a} \right)^{1/3} \quad \text{waarin}$$

t = de laagdikte

m' = het aantal elementen per laag (hier 2).

De overige symbolen hebben dezelfde betekenis als hierboven beschreven.

Na invullen ontstaan de volgende waarden:

taludhelling	laagdikte (m)
1 : 1,5	4,2
1 : 2	3,8
1 : 3	3,3

Het aantal bekledings elementen dat nodig is per eenheid van primaire bekledingslaagoppervlakte kan worden geschat aan de hand van de volgende formule:

$$C = m' \cdot K_{\Delta} \cdot (1-n) \cdot \left(\frac{D_R}{W}\right)^{2/3} \quad \text{waarin}$$

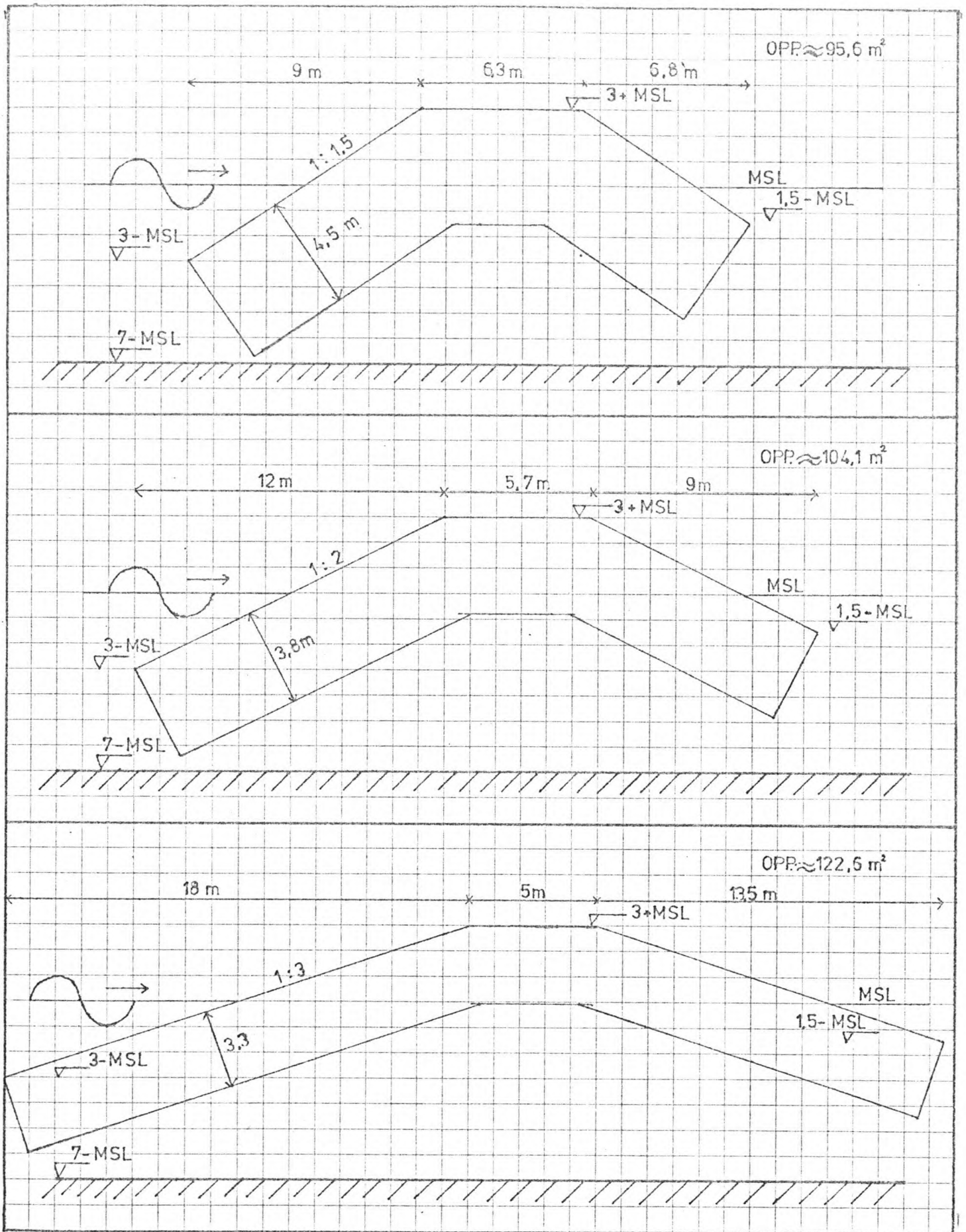
C = het aantal bekledingselementen per eenheid van primaire bekledingslaagoppervlakte.

n = porositeit van de bekledingslaag (hier n=0,47).
(alle drie formules volgens Coastal engineering vol.III, ref.6).

Na invullen ontstaan de volgende waarden:

taludhelling	aantal elementen per opp. (1/m)
1 : 1,5	0,32
1 : 2	0,39
1 : 3	0,51

Om nu te bepalen wat de benodigde hoeveelheid materiaal is voor de primaire laag zal nu voor elke taludhelling de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de primaire laag bepaald worden (zie figuur 17).



Figuur 17 : De oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de primaire laag voor verschillende taludhellingen.

Omdat de primaire laag niet van massief beton is moet het oppervlak vermenigvuldigd worden met 1-n (n = porositeit = 0,47) om de hoeveelheid beton per strekkende meter te krijgen:

taludhelling	hoeveelheid beton per meter dam (m ³ /m)
1 : 1,5	54,5
1 : 2	59,3
1 : 3	69,9

Hieruit blijkt dat ondanks de geringere laagdikte en kruinbreedte voor een flauwere taludhelling meer beton nodig is per strekkende meter dam. Het steilste talud is hier dus in het voordeel. Dit geldt eveneens voor het aantal elementen per oppervlakte. De afmetingen van de kubussen zouden als volgt zijn:

taludhelling	gewicht kubus (kN)	ribbe van de kubus (m)
1 : 1,5	162	1,9
1 : 2	122	1,7
1 : 3	81	1,5

Secundaire laag

De secundaire laag heeft vooral tot doel om de primaire laag te dragen en de belastingen door te geven naar de kern en de ondergrond. Verder zal de secundaire laag het uitspoelen van de kern tegen moeten gaan en zullen de afmetingen van de stenen uit de secundaire laag een minimale grootte moeten hebben om niet door de primaire laag te spoelen. Als criterium wordt wel gehanteerd dat de stenen in een bepaalde laag ongeveer 1/10 moeten wegen van het gewicht van de stenen in een laag erboven. In het hier beschouwde geval leidt dit tot een specifiek gewicht van $162/10=16$ kN.

Tijdens de uitvoering zal ook rekening moeten worden gehouden met golfslag. Hieruit volgt het tweede criterium voor de steengewichten van de secundaire laag. Als uitgangspunt zal worden aangehouden een storm met een frequentie van 10 maal per jaar en een toelaatbaar schadepercentage van 20 -30 %. Volgens tabel 9 levert dat een golfhoogte van 2,8m. Voor de secundaire laag wordt nu natuursteen gekozen ($K_d = 10$, $K_\Delta = 1,1$ en $n = 0,37$, volgens Coastal engineering vol.III , ref.6). Het minimale gewicht dat hieruit voortvloeit voor een bekledingselement is berekend met de Hudson formule:

$$W = \frac{\rho_s H^3}{K_d \Delta^3 \cot \varphi} = \frac{2,7 \cdot 9,8 \cdot 2,8^3}{10 \cdot \left(\frac{2,7-1,03}{1,03}\right)^3 \cdot 1,5} = 9 \text{ kN}$$

Omdat de factor 1/10 van het bovenliggende blokgewicht een zeer veilige benadering is en om te voorkomen dat het kernmateriaal door de secundaire laag spoelt, wordt voor het specifieke gewicht van de secundaire laag een wat lagere waarde gekozen dan de 16 kN. Er wordt gekozen voor natuursteen met een specifiek gewicht van 12 kN. De laagdikte bedraagt:

$$t = m' \cdot K_{\Delta} \cdot \left(\frac{W}{g \rho_s} \right)^{1/3} = 2.1,1 \cdot \left(\frac{12}{9,8 \cdot 2,7} \right)^{1/3} = 1,7\text{m}$$

De kern

Het kernmateriaal zal bestaan uit "grof puin" (quarry run).

Het filter

Om te voorkomen dat de bodem onder de golfbreker uitspoelt, is er een filter nodig. Er kunnen b.v. matten gebruikt worden als basis voor de golfbreker. Deze matten moeten worden verzwaard om te verzekeren dat ze plaatsvast liggen. Op de matten wordt dan fijnkorrelig materiaal gestort (b.v. grind, maar ook quarry run met een voldoende gevarieerde samenstelling kan hiervoor gebruikt worden).

De teenconstructie

De eerste bekledingslaag bestaat uit kubussen van 162 kN. Nu zegt een vuistregel dat deze bekledingslaag onder water door moet lopen, tot ongeveer

1,5 maal de ontwerpgolfhoogte. Hoewel dit een zeer veilige benadering is. Hier zou de laag dan tot $1,5 \cdot 4,2 = 6,3\text{m}$ onder water door moeten lopen. Door de beperkte diepte en de filterconstructie is dit niet mogelijk. Als oplossing hiervoor kan gekozen worden voor een teenconstructie die verzonken ligt in de zeebodem door eerst een diepe gleuf te baggeren.

Dit is echter een kostbare oplossing, zodat hier gekozen is voor een andere teenconstructie. Dit is een teenconstructie van natuursteen met een specifiek gewicht van 20 kN per bekledingselement. Met de Hudson-formule kan dan de maximale helling berekend worden:

$$\cot \varphi = \frac{E \cdot H^3}{W \cdot K_d \cdot \Delta} = \frac{2,7 \cdot 9,8 \cdot 4,2^3}{20 \cdot 4 \cdot \left(\frac{2,7 - 1,03}{1,03} \right)^3} \approx 6$$

Opm. Onderkend wordt dat dit geen juiste toepassing van de Hudson-formule is omdat:

- De Hudson-formule het steengawicht rond de waterlijn geeft.
- De geldigheid bij 1 : 6 twijfelachtig is. Echter omdat de blokgewichten van 20 kN voldoende rond de waterlijn bij een helling van 1 : 6 geeft dit een redelijke aanwijzing dat dit blokgewicht voldoende is voor een teen op 3m onder mean sea level.

Om nu uit te maken tot hoever de eerste bekledingslaag doorloopt naar de kust toe, wordt nu aan de hand van de Hudson-formule en het brekingskriterium de relatie tussen het gewicht van de elementen en de waterdiepte (d) afgeleid :

Hudson-formule:

$$W = \frac{\rho \cdot g \cdot H^3}{K_d \cdot \Delta^3 \cdot \cot \varphi}$$

brekingskriterium:

$$H = \gamma \cdot d = 0,6 d \quad \text{en} \quad K_{d_{br}} \Rightarrow 0,87 K_d$$

$$W = \frac{\rho \cdot g \cdot (0,6)^3 \cdot d^3}{0,87 \cdot K_d \cdot \Delta^3 \cdot \cot \varphi}$$

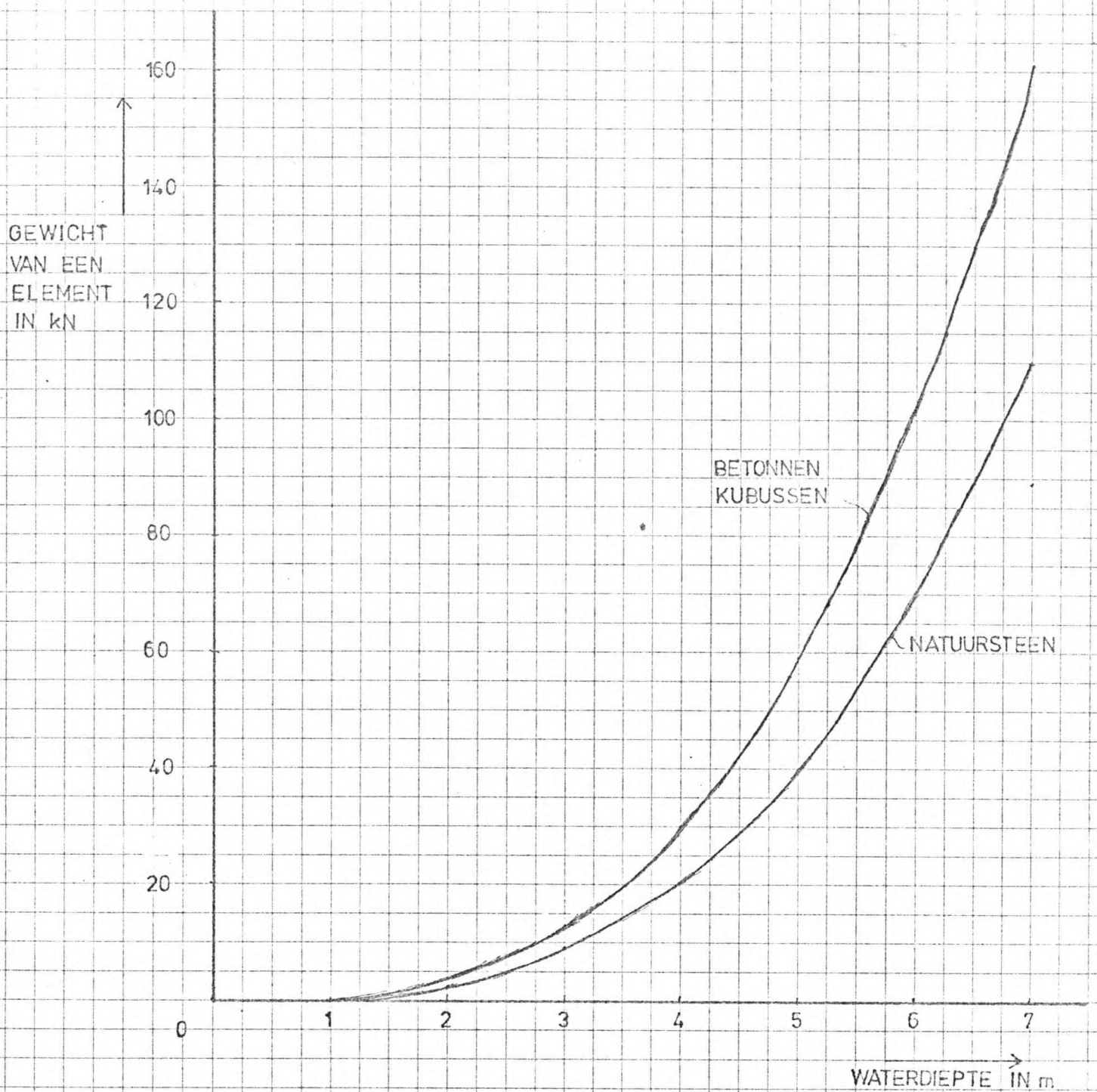
Voor de betonnen kubussen geldt:

$$W = \frac{2,4 \cdot 9,81 \cdot (0,6)^3}{3,05 \cdot \left(\frac{2,7-1,03}{1,03}\right)^3 \cdot 1,5} \cdot d^3 = 0,4724 \cdot d^3$$

Voor natuursteen geldt:

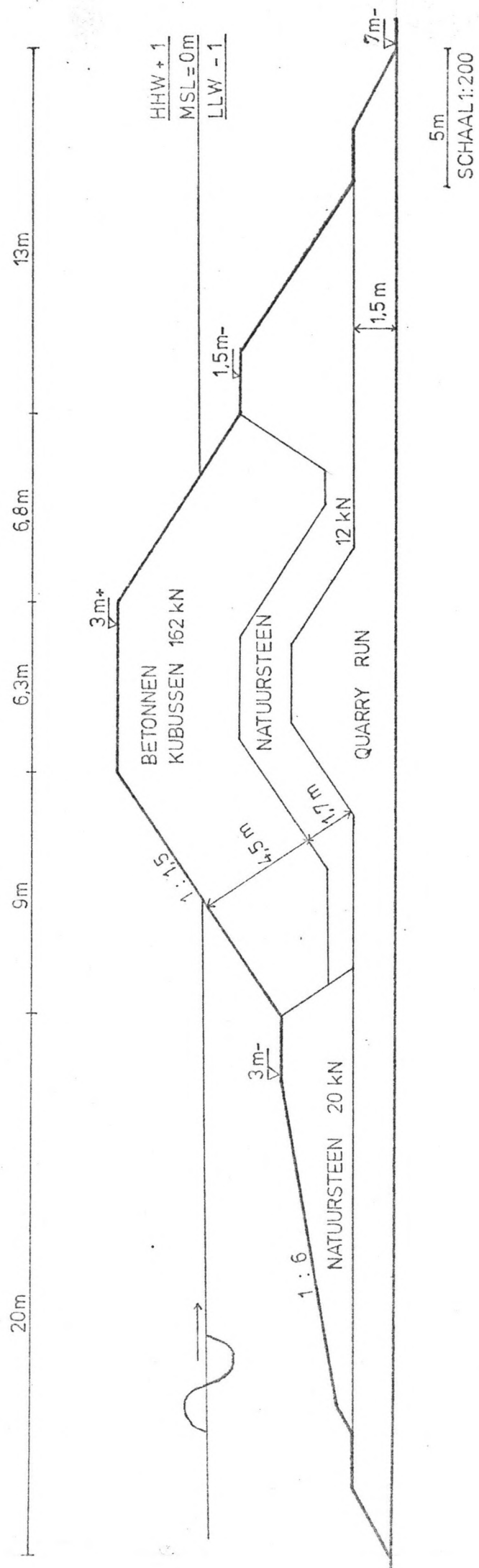
$$W = \frac{2,7 \cdot 9,81 \cdot (0,6)^3}{2,78 \cdot \left(\frac{2,7-1,03}{1,03}\right)^3 \cdot 1,5} \cdot d^3 = 0,3219 \cdot d^3$$

Beide vergelijkingen staan weergegeven in figuur 18.



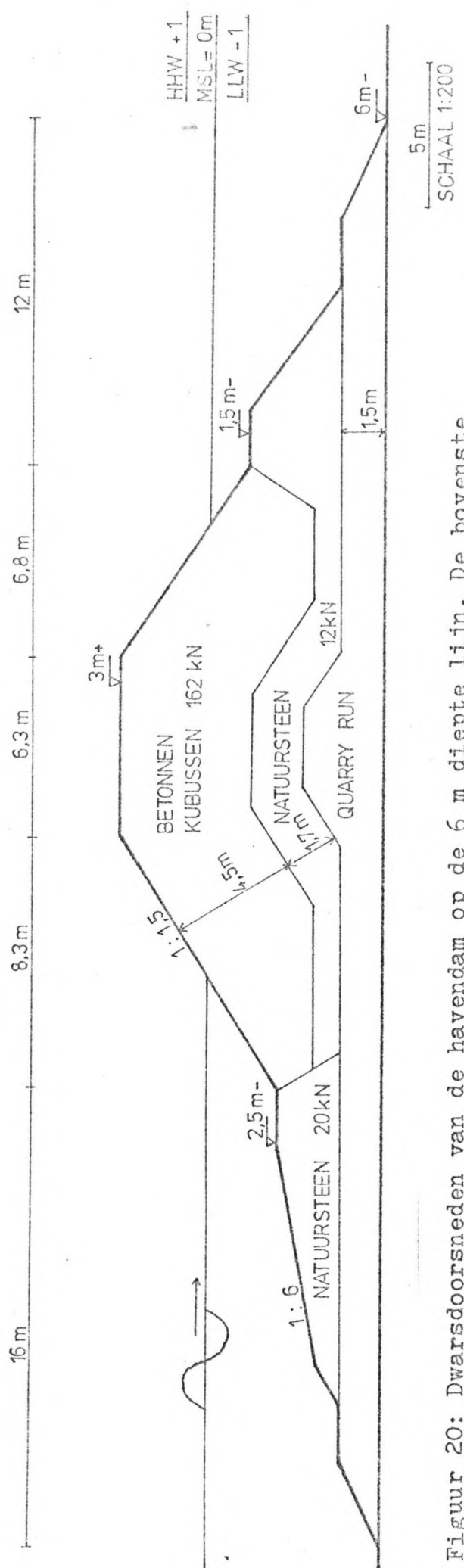
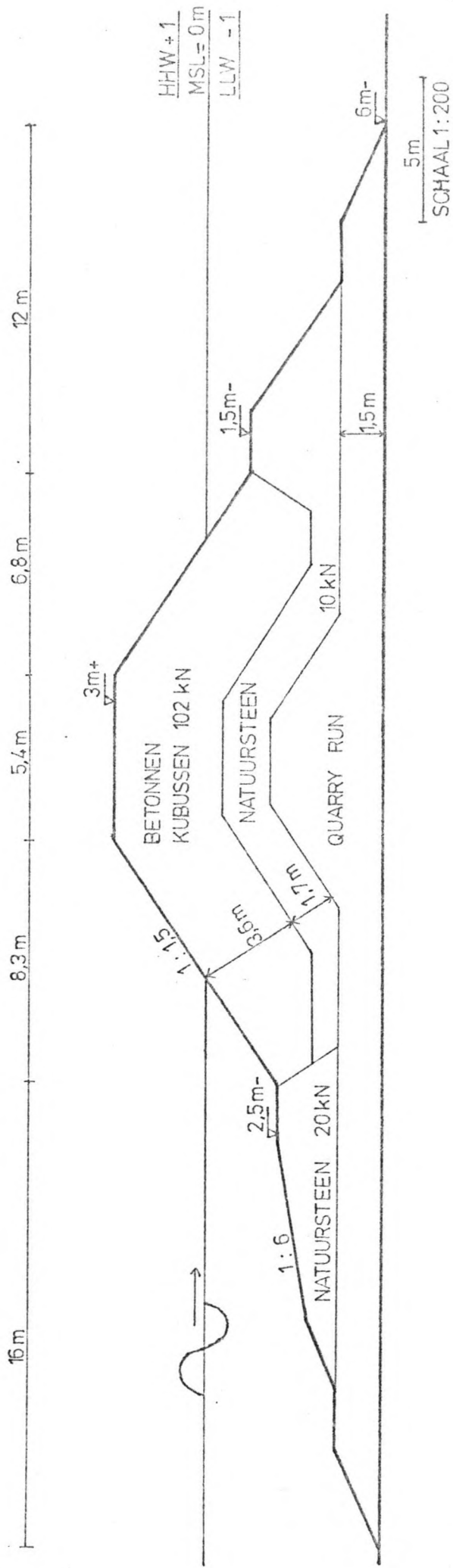
Figuur 18 : Het minimaal benodigde gewicht van een bekledingselement uitgezet tegen de waterdiepte voor betonnen kubussen en natuursteen.

Uit figuur 18 valt af te lezen dat op wat dieper water bij het afnemen van de diepte het benodigde gewicht relatief snel afneemt. Daarom is ervoor gekozen om reeds ter hoogte van de 6 m dieptelijn over te gaan op een andere primaire bekledingslaag. Deze laag zal dan doorgezet worden tot de 4 m diepte-lijn vanwaar met natuursteen verder gewerkt kan worden. (Dit is immers pas vanaf 20 kN verkrijgbaar.) In de figuren 19, 20 en 21 zijn enkele schetsontwerpen getekend bij verschillende dieptes.



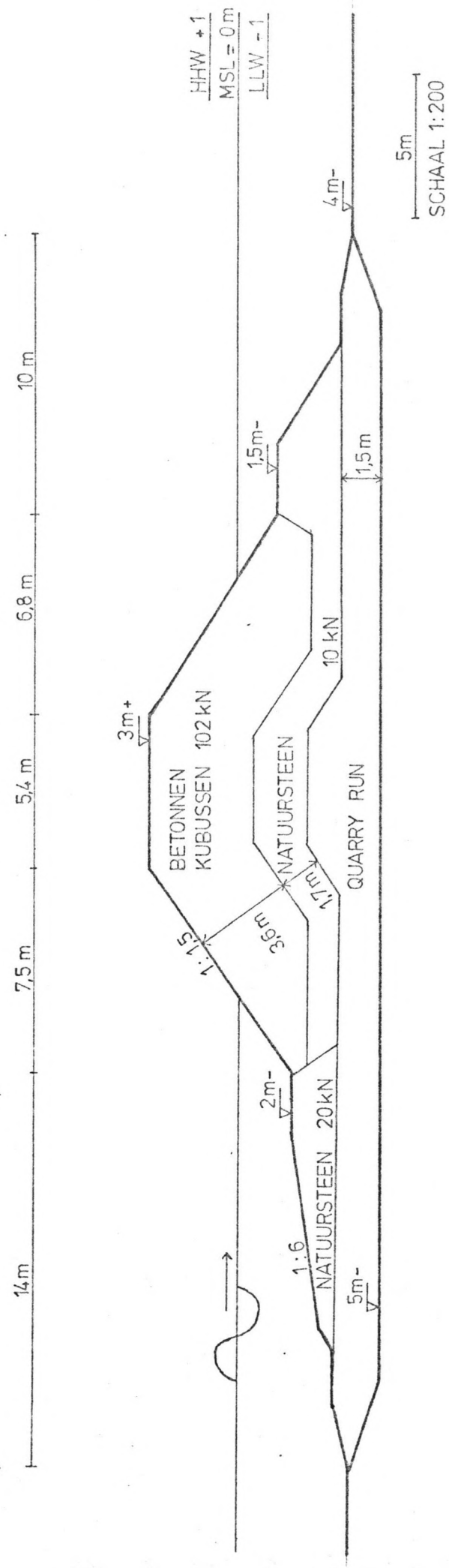
5 m
 SCHAAL 1:200

Figuur 19: Dwarsdoorsnede van de havendam op de 7 m dieptelijn.



Figuur 20: Dwarsdoorsneden van de havendam op de 6 m diepte lijn. De bovenste

figuur is gericht naar de landzijde met de kleinere kubussen (102 kN) tot de 4 m dieptelijn, en de onderste figuur naar de zeezijde met de grote kubussen (162 kN) tot de 7 m dieptelijn.



Figuur 21: Dwarsdoorsnede van de havendam op de 4 m dieptelijn.

Alternatief ontwerp bij een slappe laag in de ondergrond

Tot nu toe is steeds verondersteld dat de onderliggende grondlagen van goede samenstelling waren voor een voldoende draagkracht. Bij het ontwerpen van de dam is tot nu toe geen rekening gehouden met de ondergrond.

Van de plaats waar de dam gepland is zijn geen bodemgegevens voorhanden. Wel van een gebied zo'n 8 km zuidoostelijk. Figuur 22 geeft een beeld van de bodemsamenstelling zoals die daar gemeten is. Omdat het vermoeden bestaat dat de bodem ter plaatse van de geplande dam een soortgelijke samenstelling zal hebben, wordt nu bij gebrek aan betere gegevens uitgegaan van figuur 22 voor de bodemsamenstelling om een indruk te krijgen wat hiervan de invloed is op het ontwerp van de havendam.

Sterk geschematiseerd ziet de bodem er als volgt uit (zie ook figuur 23):

1^e laag : \approx 14 m dikke laag zand met een hoog watergehalte.

2^e laag : \approx 9 m dikke laag van silt en wat klei.

3^e laag : Stijve zandlaag met weinig water en en verder een grote draagkracht.

Indien op deze grond een bovenbelasting rust is het mogelijk dat de lagen bezwijken. Hierbij wordt niet alleen gedacht aan bezwijken via schuifvlakken, maar ook aan een vorm van bezwijken die "squeezing"

Drilling Log

No. B - 3

Location Sabak ~ Kemasin Area

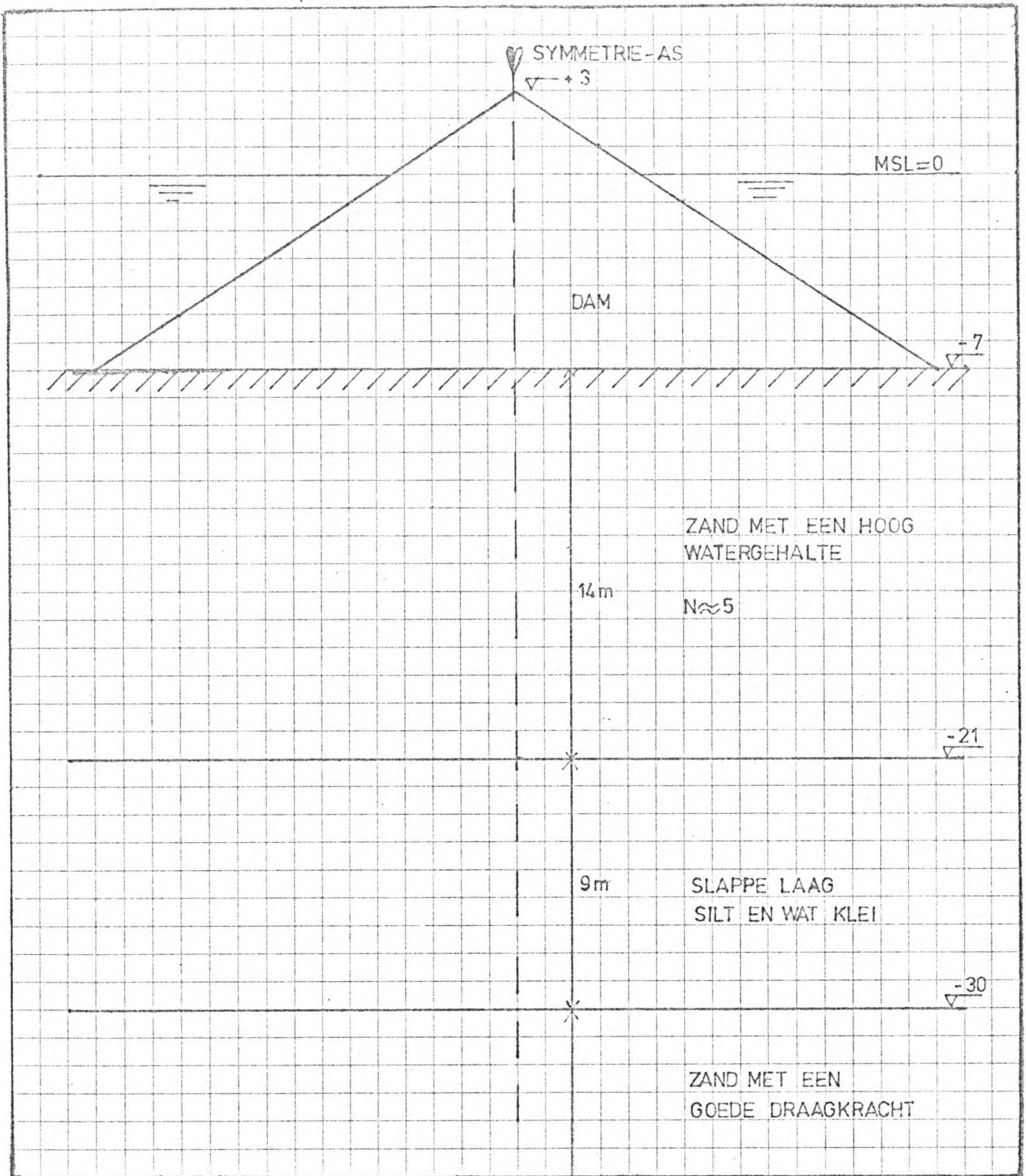
Elevation p.L. - 4.94 m

Date 27 1980 ~ 7 8 1980

Water Table m

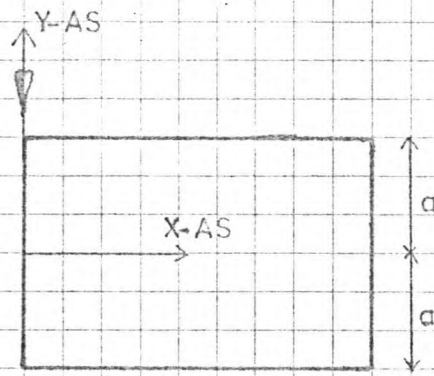
Scale in m	Elevation in m	Depth in m	Thickness	Legend	Colour	Type of soil	General Remarks	Relative Density or Consistency	Standard Penetration Test				Sampling Depth in m	In-situ Test Depth in m	
									Depth in m	N-Value Blows/30 cm	Blows Per Each 10 cm	N-Value			
					grey	fine sand	very loose sand layer with shell fragments and high water contents. clayey at a depth of 2m.								
	254	260	260						115	2 ₃₀	1 1 1				
									145	3 ₃₀	1 1 1				
									245	3 ₃₀	1 1 1				
	844	350	050		grey	coarse sand with gravels	with high water content and shell fragment with quartz pebble		245	3 ₃₀	1 1 1				
									315	3 ₃₀	1 1 1				
									345	3 ₃₀	1 1 1				
									415	3 ₃₀	1 1 1				
	899	505	153		grey	silty fine sand	with high water content with shell fragments and biotite flakes		445	3 ₃₀	1 1 1				
	1044	550	043		grey	silty medium sand	with shell fragment		515	3 ₃₀	1 1 1				
									545	3 ₃₀	1 1 1				
									515	5 ₃₀	1 2 2				
									645	3 ₃₀	1 1 1				
									715	3 ₃₀	1 1 1				
									745	5 ₃₀	1 2 2				
									815	5 ₃₀	1 2 2				
									845	4 ₃₀	1 1 2				
									915	4 ₃₀	1 1 2				
	1179	985	435		grey	fine to medium sand	with high water content with shell fragment and pebble of quartz with biotite flakes pebble is 3mm in maximum diameter		845	7 ₃₀	2 3 3				
									1015	8 ₃₀	2 3 3				
									1045	8 ₃₀	2 3 3				
									1115	8 ₃₀	2 3 3				
									1145	8 ₃₀	2 3 3				
									1215	6 ₃₀	2 2 2				
									1245	6 ₃₀	2 2 2				
									1315	6 ₃₀	2 2 2				
	1309	1415	430		grey	organic silt	with much organic matters		1345	4 ₃₀	2 1 1				
	1354	1460	045		grey	silt	with organic matters and mica flakes very soft layer with high water content		1415	4 ₃₀	2 1 1				
									1445	1 ₃₀	1 1 2				
									1515	1 ₃₀	1 1 2				
									1545	6 ₃₀	2 2 2				
									1615	6 ₃₀	2 2 2				
									1645						
									1915	2 ₃₀	0 0 2				
									1945	0 ₃₀					
									2015	0 ₃₀					
									2045	0 ₃₀					
	2054	2160	700		light grey	clay	with less water content. medium stiff clay layer		2115	0 ₃₀					
									2145	5 ₃₀	1 2 2				
	2204	2310	150		light grey	fine to coarse sand	with less water content. very stiff layer with pebble of quartz		2245	50 ₂₅	17 30 13				
									2315	50 ₂₅	17 30 13				
									2345	50 ₂₅	17 30 13				
									2400	50 ₂₅	17 30 13				
	3009	2515	205		light grey	fine to coarse sand	with less water content. very stiff layer with pebble of quartz		2415	70 ₄₅	28 25				
									2500	70 ₄₅	28 25				
									2515						

Figuur 22 : De bodemsamenstelling van een gebied zo'n 8 km zuidoostelijk van de locatie (ref.1).

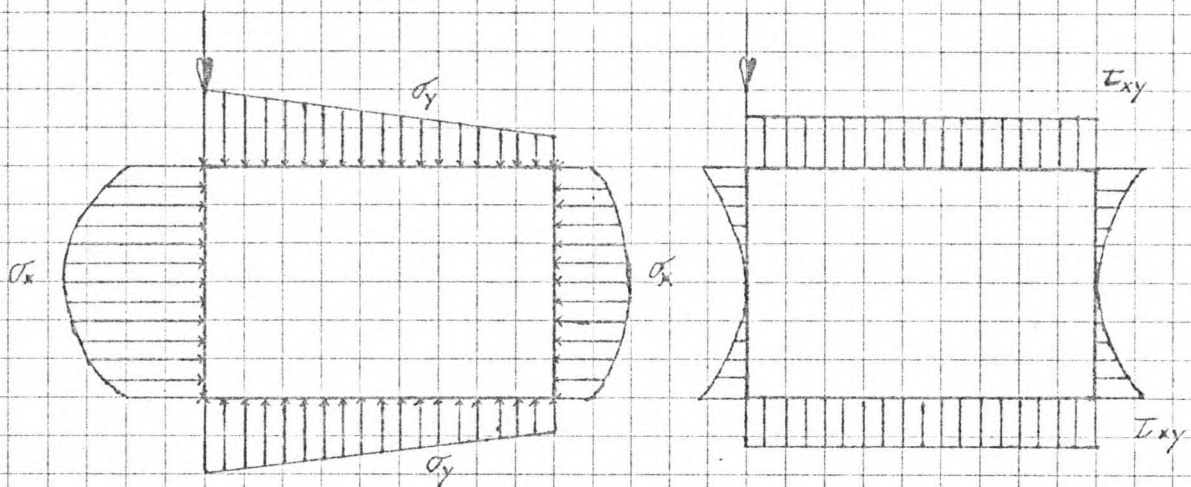


Figuur 23 : Schematisatie van de dam met de onderliggende grondlagen.

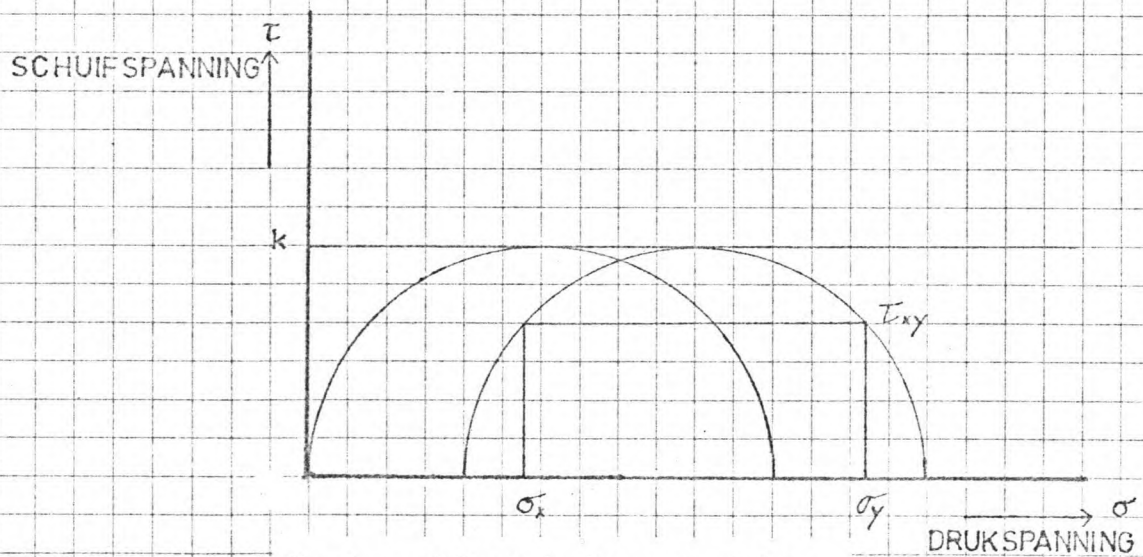
N = de waarde die hoort bij de standaard penetratie test (STP), zie figuur 22.



De oriëntatie van de coördinaatassen in de slappe laag.



Spanningsverdeling in de slappe laag.



De bezwijkcirkels van Mohr.

Figuur 24 : De squeezing benadering.

genoemd wordt. Bij squeezing wordt verondersteld dat een slappe laag bezwijkt door te vloeien. Er treden geen schuifvlakken op maar de toelaatbare schuifspanning wordt overal overschreden. Om zich een voorstelling te maken kan men het verschijnsel vergelijken met het samenknijpen van een slagroomwafel. Indien men de wafels naar elkaar toebeweegt zal de slagroom naar alle zijden uitvloeien, zonder dat schuifvlakken optreden.

Er wordt nu wat nader ingegaan op dit verschijnsel en een rekenmethode zoals deze is beschreven door ir. A Nadaï in "Theory of flow and fracture of solids" hoofdstuk 37 (ref.13).

Nadaï gaat in zijn berekeningen uit van twee in principe stijve lagen waartussen zich een slappe laag bevindt. Door een driehoekige belasting op de bovenste laag aan te brengen ontstaat een spanningsverdeling welke met eenvoudige formules te benaderen is. (zie ook figuur 24)

Bij de hier beschouwde benadering wordt uitgegaan van een verband tussen de toelaatbare druk- en schuifspanningen waarbij de cirkels van Mohr worden begrensd door een horizontale lijn welke de maximaal toelaatbare schuifspanning aangeeft (zie figuur 24). Een belangrijke consequentie van deze benadering is dat de toelaatbare schuifspanningen niet toenemen bij grotere drukspanningen.

De formule voor het verband tussen schuif- en drukspanning is :

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4k^2 \quad \text{waarin}$$

σ_x = De horizontale component van de drukspanning.

σ_y = De verticale component van de drukspanning.

τ_{xy} = De schuifspanning (= $\frac{ky}{a} \rightarrow |\tau_{xy}| \leq k$).

k = Een constante, afhankelijk van de grondsoort (de cohesie-constante).

Als randvoorwaarde geldt dat aan de bovenzijde en onderzijde van de plastische laag, de spanningsverdeling gelijk is aan de belasting.

Uitgegaan wordt van de volgende randvoorwaarden:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = -\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \frac{k}{a} \quad \sigma_x = \frac{kx}{a} + f(y) \quad \text{en}$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = -\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0 \quad \sigma_y = g(x)$$

Gecombineerd met het verband tussen schuif- en drukspanning, kunnen de beide functies $f(y)$ en $g(x)$ opgelost worden en dus ook de spanningen.

De door Nadai afgeleide formules zijn nu:

$$\sigma_y = c_1 + \frac{kx}{a}$$

$$\sigma_x = c_1 + \frac{kx}{a} \pm 2k \sqrt{1 - \frac{y^2}{a^2}}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{ky}{a}$$

waarin:

c_1 = Een constante welke uit de randvoorwaarde volgt.

x = De horizontale afstand tot de symmetrie-as.

y = De verticale afstand tot de X-as.

a = De halve laagdikte.

(zie figuur 24)

De cohesie-constante k , wordt nu afgeleid uit de N -waarde van de standaard penetratie test. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit een onnauwkeurige benadering is, maar helaas zijn hier nu geen andere methoden voorhanden. Er wordt gebruik gemaakt van tabel 10:

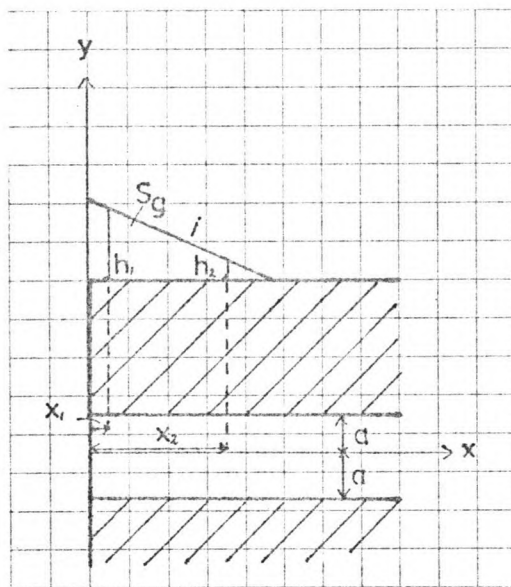
Relation of Consistency of Clay, Number of Blows N on Sampling Spoon, and Unconfined Compressive Strength

Con- sistency	q_u in tons/ ft ²					
	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
N	<2	2-4	4-8	8-15	15-30	>30
q_u	<0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-4.00	>4.00

Tabel 10 (Uit "Soil Mechanics in Engineering Practice"
door Terzaghi en Peck, ref. 12)

De q_u uit de tabel komt overeen met $2k$. Zo wordt bij een $N \approx 3$ van de slappe laag een k gevonden van $0,02 \text{ N/mm}^2$.

Indien nu wordt aangenomen dat de bovenbelasting gevormd wordt door een dam met een bepaald soortelijk gewicht S_g , dan is het mogelijk om met behulp van de formule voor de verticale spanningen een maximaal toelaatbaar talud af te leiden:



γ = een veiligheidsfactor

$$\begin{aligned} \gamma(\sigma_{y1} - \sigma_{y2}) &= c_1 + \frac{kx_1}{a} - c_1 - \frac{kx_2}{a} \\ &= \frac{k}{a} (x_1 - x_2) \end{aligned}$$

$$\sigma_{y1} = S_g \cdot h_1$$

$$\sigma_{y2} = S_g \cdot h_2$$

$$i = \frac{h_1 - h_2}{x_1 - x_2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \rightarrow i = \frac{k}{\gamma a S_g} \quad \text{of} \quad \gamma \delta_\sigma < \frac{k}{a}$$

$\delta_\sigma =$ belasting-
variatie

Hier zou gelden:

$$k = 0,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma = 2$$

$$a = 4,5 \text{ m}$$

$$S_g = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$i \approx 1 : 5 \quad \text{of} \quad \gamma \delta_\sigma < 4,4 \text{ kN/m}^2/\text{m}^1$$

In de bovenstaande beschouwing is uit de N -waarde een maat voor het maximaal toelaatbare talud afgeleid.

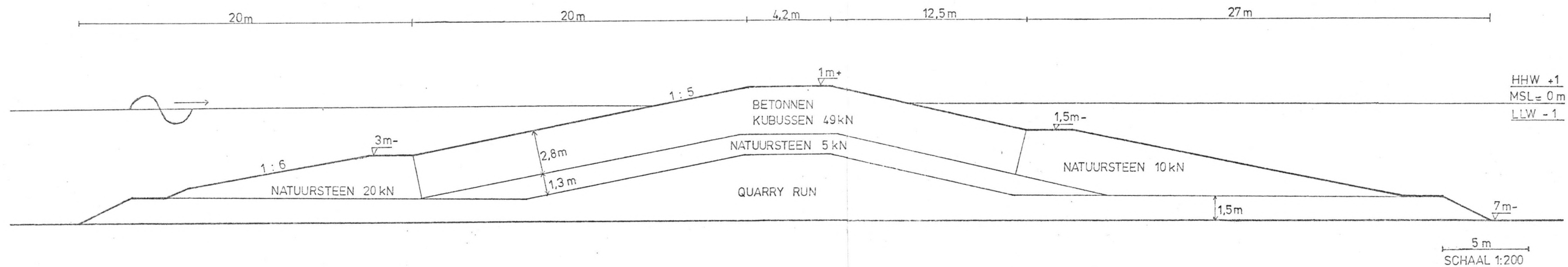
Uit deze beschouwing blijkt dat de bodem eisen stelt aan de variatie van de belasting (in het horizontale vlak) en dit leidt tot een maat voor het toelaatbare talud.

De betrouwbaarheid van de uitkomsten wordt nadelig beïnvloed door de volgende factoren:

- Geen juiste gegevens van de plaats waar de dam gepland is.
- De belasting is zonder herverdeling doorgegeven gedacht aan de beschouwde laag.
- De beschouwde laag is consistent van samenstelling gedacht.
- De schatting van de cohesie aan de hand van de N-waarde is erg onnauwkeurig.

Toch laat deze beschouwing goed zien wat de invloed is van de bodemsamenstelling op het ontwerp van de havendam.

Indien nu wordt aangenomen dat de bodem ook nog weinig belast dient te worden in verband met de toelaatbare draagkracht, dan betekent dit voor het ontwerp van de dam dat de kruinhoogte zo laag mogelijk dient te worden gekozen. Hiervoor is de kruinhoogte bepaald aan de hand van de golfhoogte achter de dam en de hinder die dit opleverde voor de scheepvaart. Voor een goede optimalisatie van de kruinhoogte zouden alle aspecten gekwantificeerd dienen te worden. In dit geval wordt voor de eenvoud uitgegaan van het feit dat de kruin van de dam bij hoogwater juist zichtbaar moet zijn voor de scheepvaart. Dit levert een kruinhoogte van 1 m boven mean sea level. De golfhoogte achter de dam wordt dan ongeveer met de helft gereduceerd (zie figuur 15). Voor het schetsontwerp wordt verwezen naar figuur 25.



Figuur 25 : Dwarsdoorsnede van de havendam op de 7 m dieptelijn bij een slechte ondergrond.

Enkele aanbevelingen voor nadere onderzoeken en studies.

- De gegevens van het gebied ter plaatse zullen aangevuld en of uitgebreid moeten worden. Hiervoor is het nodig om ter plaatse metingen te verrichten op onder meer de volgende gebieden:
 - . Golfmetingen ter plaatse voor de kust.(o.a. rond de 7 m dieptelijn)
 - . De diepteligging voor de kust moet in kaart gebracht worden.
 - . De plaatselijke stroomsnelheden zullen gemeten moeten worden.
 - . Bodemonderzoek zal verricht moeten worden. Zowel te land als ter zee.
 - . Windmetingen zullen verricht moeten worden.

- Het zandtransport voor de kust zal meer in detail bekeken moeten worden. Aan de hand van metingen zal o.a. bekeken moeten worden in welk gebied het zandtransport zich afspeelt.

- Voor de golfbreker zullen modelproeven gedaan moeten worden met betrekking tot:
 - . De stabiliteit van de golfbreker.
 - . Het zandtransport.
 - . De golfdoordringing en diffractie.

Referenties

- 1 - The feasibility study report for Kelantan Port development project in Malaysia.
Japan International Cooperation Agency. Feb. '81
- 2 - Preliminary Technical proposal for Kelantan minor port. Nedeco, mei '82
- 3 - Yearbook far east shipping '80/'81.
- 4 - Design and construction of Kelantan minor port.
Volume 3. Gouvernement of Malaysia. Sept. '82
- 5 - Verschillende afstudeerverslagen.
- 6 - College-dictaten f11a, f11b, f12, f13c, b76.
- 7 - Zeekaart, Malaysia-East coast, Trengganu to Tumpat
April '81
- 8 - Frequency tables, sea and swell, area $5,5^{\circ}$ N - $6,9^{\circ}$ N , $101,5^{\circ}$ E - $103,4^{\circ}$ E , K.N.M.I. '61 - '80.
- 9 - Port Engineering. Per Bruun, 1973
- 10- Shore Protection Manual. U.S. Army, Coastal Engineering Research Center. Department of the army corps of engineers, 1977.
- 11- Ocean Wave Statistics. N. Hogben Ph.D. ,
F.E. Lumb M.Sc.

- 12- Soil Mechanics in Engineering Practice.
K. Terzaghi and R.B. Peck
2nd. edition, John Wiley and Sons, Inc. 1967

- 13- Theory of Flow and fracture of solids.
A. Nádai, volume I, 2nd. edition,
McGraw-Hill Book company, Inc. 1950

Bijlage I

In deze bijlage is voor elke richtingssector aan de hand van de K.N.M.I. gegevens (ref.8) een tabel gemaakt waarin het aantal waarnemingen staat weergegeven voor een bepaalde golfhoogte met een bepaalde periode. Achter elke rij van een bepaalde golfklasse staat het totale aantal per golfklasse dan vermeld en de percentages van voorkomen. Voor die rictingen waarvoor dat nodig bleek, de belangrijke rictingen (zie figuur 7), is een tabel gemaakt voor de golfhoogte en de overschrijdingsfrequentie.

30°

T(s) \ H(m)		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
0	-0,25	7						7	0,68
	0,25-0,75	41	2					43	4,16
	0,75-1,25	14	10				1	25	2,42
	1,25-1,75	10		7				17	1,64
	1,75-2,25	1	3	4	5			13	1,26
	2,25-2,75		2	4	1	1		8	0,77
	2,75-3,25		1	1				2	0,19
totaal								115	11,12

overschr. freq.	H _s (m)
0,1112	0
0,1044	0,25
0,0628	0,75
0,0386	1,25
0,0222	1,75
0,0096	2,25
0,0019	2,75
0	3,25

60°

		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
H(m)									
	0	-0,25	10						10
	0,25-0,75	63	4	1				68	6,58
	0,75-1,25	53	23	7	1			84	8,12
	1,25-1,75	21	22	11	1			55	5,32
	1,75-2,25	2	12	17	4			35	3,38
	2,25-2,75	3	5	3				11	1,06
	2,75-3,25		2	2				4	0,39
	3,75-4,25			1	1			2	0,19
	totaal							269	26,01

overschr.	H _s (m)
freq.	
0,2601	0
0,2504	0,25
0,1846	0,75
0,1034	1,25
0,0502	1,75
0,0164	2,25
0,0058	2,75
0,0019	3,25
0,0019	3,75
0	4,25

90°

T(s) \ H(m)		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
0	-0,25	13						13	1,26
	0,25-0,75	55	2					57	5,51
	0,75-1,25	38	9					47	4,55
	1,25-1,75	4	12	2	1			19	1,84
	1,75-2,25		7	4				11	1,06
	2,25-2,75	1	1	3				5	0,48
	2,75-3,25			2				2	0,19
	3,75-4,25			1				1	0,10
totaal								155	14,99

overschr. freq.	H _S (m)
0,1499	0
0,1373	0,25
0,0822	0,75
0,0367	1,25
0,0184	1,75
0,0077	2,25
0,0029	2,75
0,0010	3,25
0,0010	3,75
0	4,25

120°

H(m) \ T(s)		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
0	-0,25	8						8	0,77
	0,25-0,75	45						45	4,35
	0,75-1,25	8	3					11	1,06
	1,25-1,75	2		1				3	0,29
	1,75-2,25			1				1	0,10
	2,25-2,75			1				1	0,10
	totaal							69	6,67

150°

H(s) \ T(s)		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
0	-0,25	4					4	0,39	
	0,25-0,75	36	2	1			39	3,77	
	0,75-1,25	17	8			1	26	2,52	
	1,25-1,75	10	1				11	1,06	
	1,75-2,25		1			1	2	0,19	
	totaal						82	7,93	

180°

H(m) \ T(s)		T(s)					totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13		
0	-0,25	5					5	0,48
	0,25-0,75	36					36	3,48
	0,75-1,25	15	2				17	1,65
	1,25-1,75	1	1				2	0,19
	1,75-2,25			1			1	0,10
	totaal						61	5,90

210°

T(s) \ H(m)		T(s)					totaal	%	
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13			
0	-0,25	4					4	0,39	
	0,25-0,75	31					31	2,99	
	0,75-1,25	6	1				7	0,68	
	1,25-1,75	2		1			3	0,29	
	5,75-6,25						1	1	0,10
	totaal						46	4,45	

300°

H(m) \ T(s)		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
0	-0,25	13						13	1,26
	0,25-0,75	25	2					27	2,61
	0,75-1,25	11	6	1				18	1,74
	1,25-1,75	2	1	1				4	0,39
	totaal							62	6,00

overschr.	H _s (m)
freq.	
0,0600	0
0,0474	0,25
0,0213	0,75
0,0039	1,25
0	1,75

330°

H(m) \ T(s)		T(s)						totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13	>13		
0	-0,25	8						8	0,77
	0,25-0,75	19						19	1,84
	0,75-1,25	10	4					14	1,36
	1,25-1,75	3	1					4	0,39
	1,75-2,25	2	2	1				5	0,48
	totaal							50	4,84

overschr. freq.	H _s (m)
0,0484	0
0,0407	0,25
0,0223	0,75
0,0087	1,25
0,0048	1,75
0	2,25

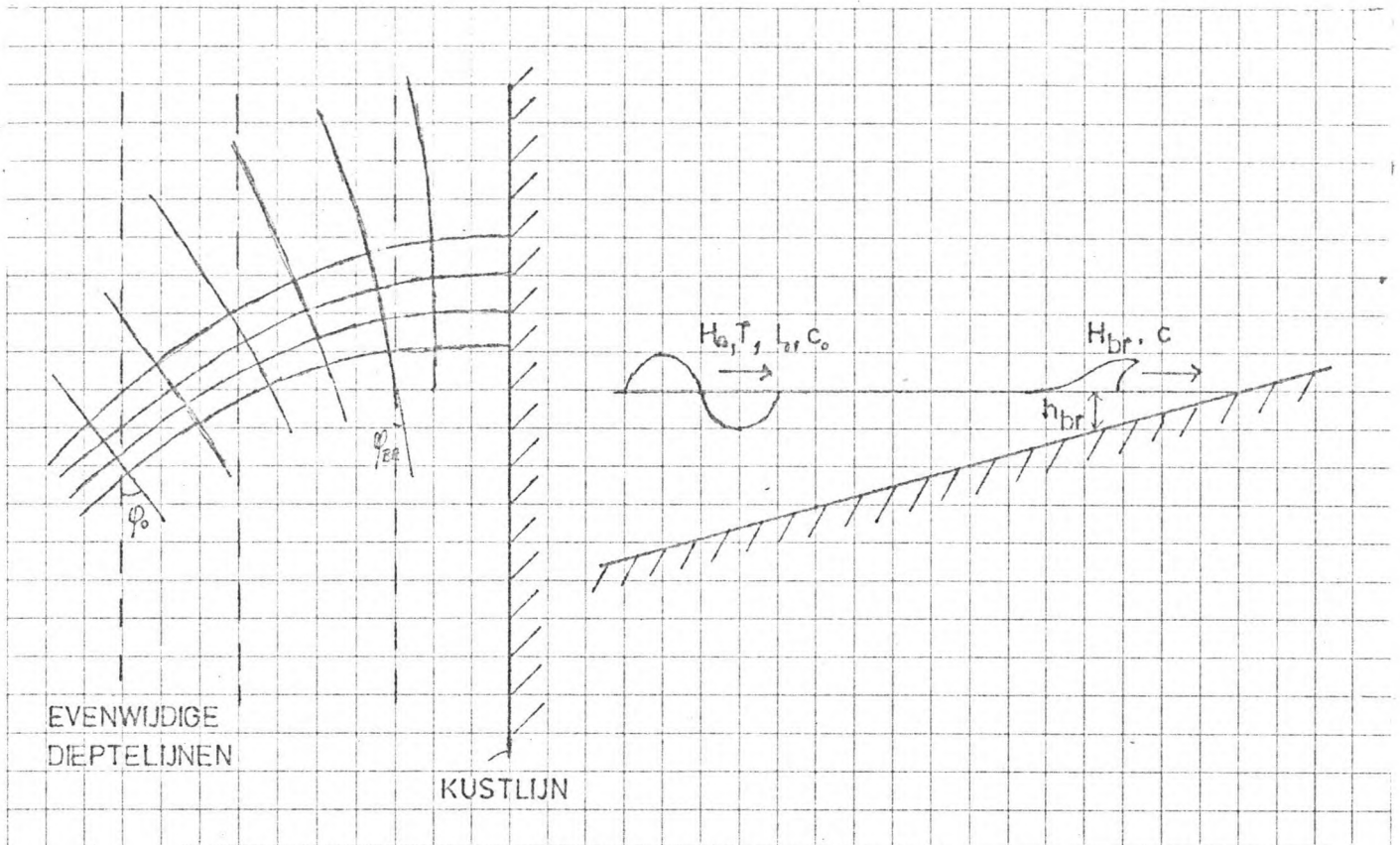
360°

T(s) \ H(m)		T(s)					totaal	%
		<5	6/7	8/9	10/11	12/13		
0	-0,25	4					4	0,39
	0,25-0,75	11	2				13	1,26
	0,75-1,25	8					8	0,77
	1,25-1,75	2	4				6	0,58
totaal							31	3,00

overschr. freq.	H _s (m)
0,0300	0
0,0261	0,25
0,0135	0,75
0,0058	1,25
0	1,75

Bijlage II

Bepaling van het netto zandtransport en de evenwichtshoek



Figuur II.1: Schematisatie van de kust voor het bepalen van het zandtransport.

- H_0 = De golfhoogte op diep water in meters
- T = De golfperiode in seconden.
- L_0 = De golflengte op diep water in meters.
- φ_0 = De invalshoek van de golven op diep water in graden.
- H_{br} = De golfhoogte vlak voor het breken in meters.
- h_{br} = De diepte waarbij de golf breekt in meters.
- c_0 = De loopsnelheid van de golf op diep water in m/s.
- c = De loopsnelheid van de brekende golf in m/s.
- φ_{br} = De invalshoek van de brekende golf in graden.
- K_{sh} = De shoaling coëfficiënt.
- K_r = De refractie coëfficiënt.

De tabellen zijn als volgt bepaald:

- Schat een waarde voor H_{br} .
- Bepaal h_{br} met $\gamma = 0,6$: $h_{br} = H_{br} / \gamma$.
- Bepaal h_{br} / L_0 en zoek deze op in tabel C-1 van de Shore Protection Manual vol. III, ref. 10.
- Lees uit deze tabel af: h/L en $K_{sh} = H/H'_0$.
- Bepaal c/c_0 volgens: $c/c_0 = (2\pi h) / L$.
- Bepaal ϕ_{br} volgens: $\phi_{br} = \arcsin(c/c_0 \sin \phi_0)$.
- Bepaal K_r volgens: $K_r = \sqrt{(\cos \phi_0 / \cos \phi_{br})}$.
- Bepaal H_{br} volgens: $H_{br} = H_0 \cdot K_{sh} \cdot K_r$.
- Controleer of H_{br} welke zojuist bepaald is, overeenkomt met de geschatte waarde.
- Indien dit niet het geval is wordt een andere schatting voor H_{br} gekozen.

Tabel voor de oorspronkelijke kustlijn voor het bepalen van φ_b

H_o (m)	T (s)	L_o (m)	φ_o	H_{br} (m)	h_{br} (m)	h_{br}/L_o	h/L	K_{sh}	c/c_o	φ_{br}	K_r	H_{br} (m)
0,375	4,6	33	82°	0,3	0,5	0,01515	0,04989	1,304	0,3037	17,5°	0,382	0,19
1,00	5,2	42	82°	0,7	1,17	0,02778	0,06849	1,143	0,4056	23,7°	0,390	0,44
1,00	5,2	42	82°	0,5	0,83	0,01984	0,05739	1,228	0,3457	20,0°	0,385	0,47
0,375	4,6	33	82°	0,2	0,33	0,01010	0,04042	1,432	0,2499	14,3°	0,379	0,20
1,50	6,0	56	82°	0,8	1,33	0,02381	0,06313	1,180	0,3772	21,9°	0,387	0,69
				0,7	1,17	0,02083	0,05887	1,215	0,3538	20,5°	0,385	0,70
0,375	4,6	33	52°	0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	15,9°	0,800	0,37
1,00	5,2	42	52°	0,9	1,5	0,03571	0,07839	1,090	0,4555	21,0°	0,812	0,88
1,50	6,0	56	52°	1,3	2,17	0,03869	0,08179	1,070	0,4730	21,9°	0,815	1,31
2,00	6,7	70	52°	1,8	3,0	0,04286	0,08648	1,051	0,4956	23,0°	0,818	1,72
				1,7	2,83	0,04048	0,08383	1,062	0,4829	22,4°	0,816	1,73
0,375	4,6	33	22°	0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	7,5°	0,967	0,44
1,00	5,2	42	22°	1,0	1,67	0,03968	0,08293	1,066	0,4785	10,3°	0,971	1,03
1,50	6,0	56	22°	1,5	2,5	0,04464	0,08844	1,043	0,5047	10,9°	0,972	1,52
0,375	4,6	33	-8°	0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	-2,8°	0,996	0,46
				0,5	0,83	0,02525	0,06512	1,175	0,3877	-3,1°	0,996	0,44
1,00	5,2	42	-8°	1,1	1,83	0,04365	0,08736	1,047	0,4997	-4,0°	0,996	1,04
				1,0	1,67	0,03968	0,08293	1,066	0,4785	-3,8°	0,996	1,06
1,50	6,0	56	-8°	1,6	2,67	0,04762	0,09164	1,032	0,5196	-4,1°	0,996	1,54
2,00	6,7	70	-8°	2,1	3,5	0,05000	0,09416	1,023	0,5310	-4,2°	0,996	2,04
				2,0	3,33	0,04762	0,09164	1,032	0,5196	-4,1°	0,996	2,06
2,50	7,4	85	-8°	2,6	4,33	0,05098	0,09518	1,019	0,5356	-4,3°	0,997	2,54
				2,5	4,17	0,04902	0,09313	1,026	0,5264	-4,2°	0,996	2,56
3,00	8,0	100	-8°	3,1	5,17	0,05167	0,09589	1,017	0,5388	-4,3°	0,997	3,04
				3,0	5	0,05000	0,09416	1,032	0,5196	-4,1°	0,996	3,08

H_o (m)	T (s)	L_o (m)	φ_o	H_{br} (m)	h_{br} (m)	h_{br}/L_o	h/L	K_{sh}	c/c_o	φ_{br}	K_r	H_{br} (m)
0,375	4,6	33	-38°	0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	-12,4°	0,898	0,41
1,00	5,2	42	-38°	1,0	1,67	0,03968	0,08293	1,066	0,4785	-17,1°	0,908	0,97
1,50	6,0	56	-38°	1,4	2,33	0,04167	0,08516	1,056	0,4893	-17,5°	0,909	1,44
2,00	6,7	70	-38°	1,9	3,17	0,04524	0,08909	1,041	0,5078	-18,2°	0,911	1,90
2,50	7,4	85	-38°	2,4	4,0	0,04706	0,09004	1,034	0,5227	-18,8°	0,912	2,36
3,00	8,0	100	-38°	2,9	4,83	0,04833	0,09240	1,029	0,5231	-18,8°	0,912	2,82
				2,8	4,67	0,04667	0,09063	1,035	0,5150	-18,5°	0,912	2,83
4,00	9,5	141	-38°	3,8	6,33	0,04492	0,08874	1,042	0,5062	-18,2°	0,912	3,80
0,375	4,6	33	-68°	0,3	0,5	0,01515	0,04989	1,304	0,3037	-16,4°	0,625	0,31
1,00	5,2	42	-68°	0,7	1,17	0,02778	0,06849	1,143	0,4056	-22,1°	0,636	0,73
1,50	5,2	56	-68°	1,1	1,83	0,03274	0,07475	1,100	0,4380	-24,0°	0,640	1,06
2,00	6,7	70	-68°	1,4	2,33	0,03333	0,07548	1,102	0,4416	-24,2°	0,641	1,41
2,50	7,4	85	-68°	1,8	3,0	0,03529	0,07783	1,090	0,4534	-24,9°	0,643	1,75
3,00	8,0	100	-68°	2,1	3,5	0,03500	0,07748	1,092	0,4517	-24,8°	0,642	2,10
4,00	9,5	141	-68°	2,8	4,67	0,03310	0,07519	1,104	0,4402	-24,1°	0,641	2,83

Tabel voor de denkbeeldig 20° gedraaide kustlijn voor het bepalen van φ_{br} .

H_0 (m)	T (s)	L (m)	φ_0	H_{br} (m)	h_{br} (m)	h_{br}/L_0	h/L	K_{sh}	c/c_0	φ_{br}	K_r	H_{br} (m)
0,375	4,6	33	62°	0,3	0,5	0,01515	0,04989	1,304	0,3037	$15,7^\circ$	0,698	0,34
1,00	5,2	42	62°	0,5	0,83	0,01984	0,05739	1,228	0,3457	$17,8^\circ$	0,702	0,86
				0,8	1,33	0,03175	0,07354	1,113	0,4317	$22,4^\circ$	0,713	0,79
1,50	6,0	56	62°	1,2	2,0	0,03571	0,07832	1,088	0,4559	$23,7^\circ$	0,716	1,17
0,375	4,6	33	32°	0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	$10,6^\circ$	0,929	0,43
1,00	5,2	42	32°	1,0	1,67	0,03968	0,08293	1,066	0,4785	$14,7^\circ$	0,936	1,00
1,50	6,0	56	32°	1,5	2,5	0,04464	0,08844	1,043	0,5047	$15,5^\circ$	0,938	1,47
2,00	6,7	70	32°	2,0	3,33	0,04762	0,09164	1,032	0,5196	$16,0^\circ$	0,939	1,94
				1,9	3,17	0,04524	0,08909	1,041	0,5078	$15,6^\circ$	0,938	1,95
0,375	4,6	33	2°	0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	$0,7^\circ$	1,000	0,46
				0,5	0,83	0,02525	0,06512	1,175	0,3877	$0,8^\circ$	1,000	0,44
1,00	5,2	42	2°	1,1	1,83	0,04365	0,08736	1,047	0,4997	$1,0^\circ$	1,000	1,05
1,50	6,0	56	2°	1,6	2,67	0,04762	0,09164	1,032	0,5196	$1,0^\circ$	1,000	1,56
0,375	4,6	33	-28°	0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	$-9,4^\circ$	0,946	0,43
1,00	5,2	42	-28°	1,1	1,83	0,04365	0,08736	1,047	0,4997	$-13,6^\circ$	0,953	1,00
				1,0	1,67	0,03968	0,08293	1,066	0,4785	$-13,0^\circ$	0,952	1,01
1,50	6,0	56	-28°	1,5	2,5	0,04464	0,08844	1,043	0,5047	$-13,7^\circ$	0,953	1,49
2,00	6,7	70	-28°	2,0	3,33	0,04762	0,09164	1,032	0,5196	$-14,1^\circ$	0,954	1,97
2,50	7,4	85	-28°	2,5	4,17	0,04902	0,09313	1,026	0,5264	$-14,3^\circ$	0,955	2,45
3,00	8,0	100	-28°	2,9	4,83	0,04833	0,09240	1,029	0,5231	$-14,2^\circ$	0,954	2,95
				3,0	5,0	0,05000	0,09416	1,032	0,5196	$-14,1^\circ$	0,954	2,95

H_o (m)	T (s)	L (m)	φ_o	H_{br} (m)	h_{br}	h_{br}/L_o	h/L	K_{sh}	c/c_o	φ_{br}	K_r	H_{br} (m)
0,375	4,6	33	-58°	0,3	0,5	0,01515	0,04989	1,304	0,3037	$-14,9^\circ$	0,741	0,36
				0,4	0,67	0,02020	0,05793	1,223	0,3487	$-17,2^\circ$	0,744	0,34
1,00	5,2	42	-58°	0,8	1,33	0,03175	0,07354	1,113	0,4317	$-21,5^\circ$	0,755	0,84
1,50	6,0	56	-58°	1,2	2,0	0,03571	0,07832	1,088	0,4559	$-22,7^\circ$	0,758	1,24
2,00	6,7	70	-58°	1,7	2,83	0,04048	0,08383	1,062	0,4829	$-24,2^\circ$	0,762	1,62
				1,6	2,67	0,03810	0,08111	1,075	0,4697	$-23,5^\circ$	0,760	1,63
2,50	7,4	85	-58°	2,0	3,33	0,03922	0,08240	1,068	0,4760	$-23,8^\circ$	0,761	2,03
3,00	8,0	100	-58°	2,4	4,0	0,04000	0,08329	1,064	0,4802	$-24,0^\circ$	0,762	2,43
4,00	9,5	141	-58°	3,3	5,5	0,03901	0,08216	1,069	0,4748	$-23,7^\circ$	0,761	3,25
0,375	4,6	33	-88°	0,2	0,33	0,01010	0,04042	1,432	0,2499	$-14,5^\circ$	0,190	0,10
				0,1	0,17	0,00505	0,02850	1,688	0,1772	$-10,2^\circ$	0,188	0,12
1,00	5,2	42	-88°	0,6	1,0	0,02381	0,06313	1,180	0,3772	$-22,1^\circ$	0,194	0,23
				0,4	0,67	0,01587	0,05110	1,290	0,3106	$-18,1^\circ$	0,192	0,25
				0,3	0,5	0,01190	0,04407	1,378	0,2700	$-15,7^\circ$	0,190	0,26
1,50	6,0	56	-88°	0,4	0,67	0,01190	0,04407	1,378	0,2700	$-15,7^\circ$	0,190	0,39
2,00	6,7	70	-88°	0,5	0,83	0,01190	0,04407	1,378	0,2700	$-15,7^\circ$	0,190	0,52
				0,7	1,17	0,01373	0,04743	1,333	0,2895	$-16,8^\circ$	0,191	0,64
2,50	7,4	85	-88°	0,6	1,0	0,01176	0,04380	1,382	0,2685	$-15,6^\circ$	0,190	0,66
				0,8	1,33	0,01333	0,04671	1,335	0,2854	$-16,6^\circ$	0,191	0,76
3,00	8,0	100	-88°	0,8	1,33	0,01333	0,04671	1,335	0,2854	$-16,6^\circ$	0,191	0,76
4,00	9,5	141	-88°	1,0	1,66	0,01182	0,04391	1,380	0,2692	$-15,6^\circ$	0,190	1,05
				1,1	1,83	0,01300	0,04612	1,350	0,2819	$-16,4^\circ$	0,191	1,03

Aanvullende tabel voor de denkbeeldig 30° en 60° gedraaide kustlijn voor het bepalen van φ_{br} (aanvulling bij de tabel voor de oorspronkelijke kustlijn).

H_o (m)	T (s)	L_o (m)	φ_o	H_{br} (m)	h_{br} (m)	h_{br}/L_o	h/L	K_{sh}	c/c_o	φ_{br}	K_r	H_{br} (m)
2,50	7,4	85	52°	2,2	3,67	0,04314	0,08679	1,049	0,4971	$23,1^\circ$	0,818	2,15
3,00	8,0	100	52°	2,6	4,33	0,04333	0,08700	1,049	0,4980	$23,1^\circ$	0,818	2,57
2,00	6,7	70	22°	2,0	3,33	0,04762	0,09164	1,032	0,5196	$11,2^\circ$	0,972	2,01
2,50	7,4	85	22°	2,5	4,17	0,04902	0,09313	1,026	0,5264	$11,4^\circ$	0,972	2,49
3,00	8,0	100	22°	3,0	5	0,05000	0,09416	1,032	0,5196	$11,2^\circ$	0,972	3,01
4,00	9,5	141	22°	4,0	6,67	0,04728	0,09128	1,033	0,5180	$11,2^\circ$	0,972	4,02
4,00	9,5	141	-8°	4,1	6,83	0,04846	0,09254	1,028	0,5237	$-4,2^\circ$	0,996	4,10
2,00	6,7	70	82°	0,9	1,5	0,02143	0,05974	1,208	0,3587	$20,8^\circ$	0,386	0,93

Het netto zandtransport is berekend volgens:

$$S = 0,02 \cdot H_0^2 \cdot c_0 \cdot \sin \varphi_{br} \cdot \cos \varphi_0 \cdot P_{\text{voork.}}$$

waarin:

S = Het gemiddelde zandtransport (m^3/s).

H_0 = De significante golfhoogte op diep water.
Hier is genomen het klasse-midden (m).

c_0 = De voortplantingssnelheid van de golven
op diep water (m/s).

φ_0 = De invalshoek van de golven op diep water.

φ_{br} = De invalshoek van de brekende golven.

$P_{\text{voork.}}$ = De kans van voorkomen van een bepaalde
golfklasse in een bepaalde richtingssector.

Per golfklasse en richtingssector is zo het totale zandtransport bepaald voor de oorspronkelijke kustlijn en voor de denkbeeldig 30° , 60° en -20° gedraaide kustlijn.

De evenwichtshoek is nu grafisch bepaald in figuur II.2. In deze figuur staat het netto zandtransport uitgezet tegen de hoek waarover de kustlijn gedraaid is. Door de uitgezette punten zo goed mogelijk met elkaar te verbinden wordt de evenwichtshoek geschat door de hoek af te lezen daar waar de lijn de φ -as snijdt, dus daar waar het netto zandtransport nul is.

Uit de figuur II.2 is te zien dat het absolute netto zandtransport naar een maximum toegaat bij een oriëntatie die dicht ligt bij die van de oorspronkelijke oriëntatie van de kustlijn.

Tabellen voor het bepalen van het netto zandtransport voor de oorspronkelijke kustlijn.

H _o (m)	T (s)	c _o (m/s)	sector 300° φ _o = 82°			sector 330° φ _o = 52°			sector 360° φ _o = 22°			
			φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	
0	-0,75	4,6	7,2	14,3°	0,0387	0,03	15,9°	0,0261	0,09	7,5°	0,0165	0,04
0,75-1,25	5,2	8,1	20,0°	0,0174	0,13	21,0°	0,0136	0,49	10,3°	0,0077	0,21	
1,25-1,75	6,0	9,3	20,5°	0,0039	0,08	21,9°	0,0039	0,37	10,9°	0,0058	0,43	
1,75-2,25	6,7	10,4	—	—	—	22,4°	0,0048	0,94	—	—	—	
totaal				0,0600	0,24		0,0484	1,89		0,0300	0,68	

H _o (m)	T (s)	c _o (m/s)	sector 30° φ _o = -8°			sector 60° φ _o = -38°			sector 90° φ _o = -68°			
			φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	
0	-0,75	4,6	7,2	-3,0°	0,0484	-0,05	-12,4°	0,0755	-0,26	-16,4°	0,0677	-0,14
0,75-1,25	5,2	8,1	-3,9°	0,0242	-0,26	-17,1°	0,0812	-3,05	-22,1°	0,0455	-1,04	
1,25-1,75	6,0	9,3	-4,1°	0,0164	-0,49	-17,5°	0,0532	-5,28	-24,0°	0,0184	-1,17	
1,75-2,25	6,7	10,4	-4,2°	0,0126	-0,76	-18,2°	0,0338	-6,92	-24,2°	0,0106	-1,35	
2,25-2,75	7,4	11,5	-4,2°	0,0077	-0,80	-18,8°	0,0106	-3,87	-24,9°	0,0048	-1,09	
2,75-3,25	8,0	12,5	-4,2°	0,0019	-0,31	-18,5°	0,0039	-2,19	-24,8°	0,0019	-0,67	
3,75-4,25	9,5	14,8	—	—	—	-18,2°	0,0019	-2,21	-24,1°	0,0010	-0,72	
totaal				0,1112	-2,67		0,2601	-23,78		0,1499	-6,18	

$$S_{\text{totaal}} = (0,24 + 1,89 + 0,68 - 2,67 - 23,78 - 6,18) \cdot 10^{-3} = -29,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= -0,94 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

Tabellen voor het bepalen van het netto zandtransport voor de denkbeeldig 30° gedraaide kustlijn.

H _o (m)	T (s)	c _o (m/s)	sector 330° φ _o = 82°			sector 360° φ _o = 52°			sector 30° φ _o = 22°		
			φ _{br}	P _{voork.}	S. 10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S. 10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S. 10 ⁻³ (m ³ /s)
0 -0,75	4,6	7,2	14,3°	0,0261	0,02	15,9°	0,0165	0,06	7,5°	0,0484	0,12
0,75-1,25	5,2	8,1	20,0°	0,0136	0,10	21,0°	0,0077	0,28	10,3°	0,0242	0,65
1,25-1,75	6,0	9,3	20,5°	0,0039	0,08	21,9°	0,0058	0,56	10,9°	0,0164	1,20
1,75-2,25	6,7	10,4	20,8°	0,0048	0,20				11,2°	0,0126	1,89
2,25-2,75	7,4	11,5							11,4°	0,0077	2,03
2,75-3,25	8,0	12,5							11,2°	0,0019	0,77
totaal				0,0484	0,40		0,0300	0,90		0,1112	6,66

H _o (m)	T (s)	c _o (m/s)	sector 60° φ _o = -8°			sector 90° φ _o = -38°			sector 120° φ _o = -68°		
			φ _{br}	P _{voork.}	S. 10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S. 10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S. 10 ⁻³ (m ³ /s)
0 -0,75	4,6	7,2	-3,0°	0,0755	-0,09	-12,4°	0,0677	-0,23	-16,4°	0,0512	-0,11
0,75-1,25	5,2	8,1	-3,9°	0,0812	-0,89	-17,1°	0,0455	-1,71	-22,1°	0,0106	-0,24
1,25-1,75	6,0	9,3	-4,1°	0,0532	-1,58	-17,5°	0,0184	-1,82	-24,0°	0,0029	-0,18
1,75-2,25	6,7	10,4	-4,2°	0,0338	-2,04	-18,2°	0,0106	-2,17	-24,2°	0,0010	-0,13
2,25-2,75	7,4	11,5	-4,2°	0,0106	-1,11	-18,8°	0,0048	-1,75	-24,9°	0,0010	-0,23
2,75-3,25	8,0	12,5	-4,2°	0,0039	-0,64	-18,5°	0,0019	-1,07			
3,75-4,25	9,5	14,8	-4,2°	0,0019	-0,65	-18,2°	0,0010	-1,17			
totaal				0,2601	-7,00		0,1499	-9,92		0,0667	-0,89

$$S_{\text{totaal}} = (0,40 + 0,90 + 6,66 - 7,00 - 9,92 - 0,89) \cdot 10^{-3} = -9,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= -0,31 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

Tabellen voor het bepalen van het netto zandrtransport voor de denkbeeldig 60° gedraaide kustlijn.

H _o (m)	T (s)	c _o (m/s)	sector 360° φ _o = 82°			sector 30° φ _o = 52°			sector 60° φ _o = 22°		
			φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)
0 -0,75	4,6	7,2	14,3°	0,0165	0,01	15,9°	0,0484	0,17	7,5°	0,0755	0,19
0,75-1,25	5,2	8,1	20,0°	0,0077	0,06	21,0°	0,0242	0,86	10,3°	0,0812	2,18
1,25-1,75	6,0	9,3	20,5°	0,0058	0,12	21,9°	0,0164	1,58	10,9°	0,0532	3,90
1,75-2,25	6,7	10,4				22,4°	0,0126	2,46	11,2°	0,0338	5,06
2,25-2,75	7,4	11,5				23,1°	0,0077	2,67	11,4°	0,0106	2,79
2,75-3,25	8,0	12,5				23,1°	0,0019	1,03	11,2°	0,0039	1,58
3,75-4,25	9,5	14,8							11,2°	0,0019	1,62
totaal				0,0300	0,19		0,1112	8,77		0,2601	17,32

H _o (m)	T (s)	c _o (m/s)	sector 90° φ _o = -8°			sector 120° φ _o = -38°			sector 150° φ _o = -68°		
			φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)	φ _{br}	P _{voork.}	S.10 ⁻³ (m ³ /s)
0 -0,75	4,6	7,2	-3,0°	0,0677	-0,07	-12,4°	0,0512	-0,18	-16,4°	0,0416	-0,09
0,75-1,25	5,2	8,1	-3,9°	0,0455	-0,50	-17,1°	0,0106	-0,40	-22,1°	0,0252	-0,58
1,25-1,75	6,0	9,3	-4,1°	0,0184	-0,55	-17,5°	0,0029	-0,29	-24,0°	0,0106	-0,68
1,75-2,25	6,7	10,4	-4,2°	0,0106	-0,64	-18,2°	0,0010	-0,20	-24,2°	0,0019	-0,24
2,25-2,75	7,4	11,5	-4,2°	0,0048	-0,50	-18,8°	0,0010	-0,37			
2,75-3,25	8,0	12,5	-4,2°	0,0019	-0,31						
3,75-4,25	9,5	14,8	-4,2°	0,0010	-0,34						
totaal				0,1499	-2,36		0,0667	-1,44		0,0793	-1,59

$$S_{\text{totaal}} = (0,19 + 8,77 + 17,32 - 2,36 - 1,44 - 1,59) \cdot 10^{-3} = 20,89 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

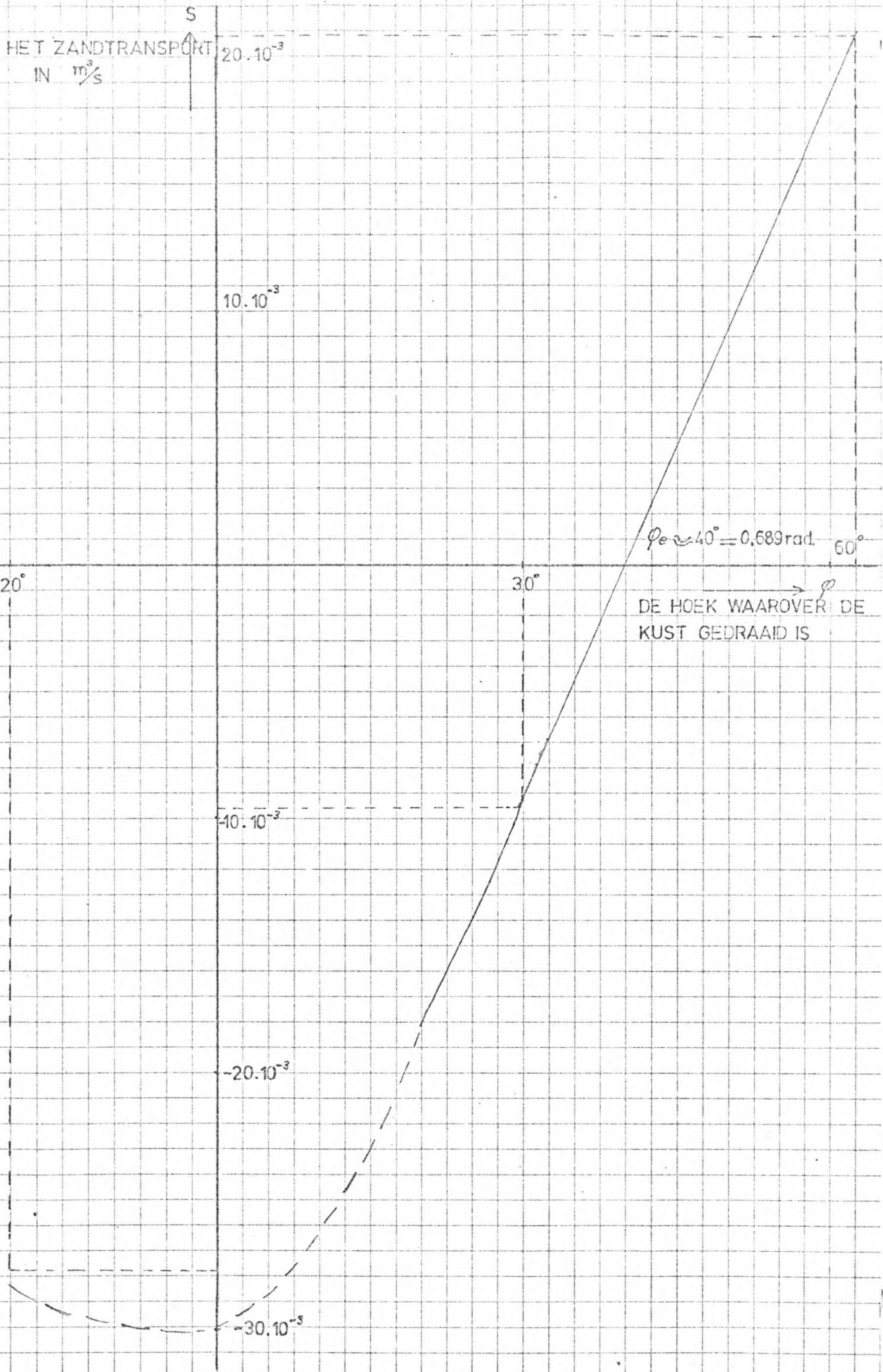
$$= 0,66 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

Tabellen voor het bepalen van het netto zandtransport voor de denkbeeldig -20° gedraaide kustlijn.

H_o (m)	T (s)	c_o (m/s)	sector 300° $\varphi_o = 62^\circ$			sector 330° $\varphi_o = 32^\circ$			sector 360° $\varphi_o = 2^\circ$			
			φ_{br}	$P_{voork.}$	$S \cdot 10^{-3}$ (m^3/s)	φ_{br}	$P_{voork.}$	$S \cdot 10^{-3}$ (m^3/s)	φ_{br}	$P_{voork.}$	$S \cdot 10^{-3}$ (m^3/s)	
0	-0,75	4,6	7,2	$15,6^\circ$	0,0387	0,10	$10,6^\circ$	0,0261	0,08	$0,7^\circ$	0,0165	0,00
0,75-1,25	5,2	8,1	$22,4^\circ$	0,0174	0,50	$14,7^\circ$	0,0136	0,05	$1,0^\circ$	0,0077	0,02	
1,25-1,75	6,0	9,3	$23,7^\circ$	0,0039	0,31	$15,5^\circ$	0,0039	0,04	$1,0^\circ$	0,0058	0,04	
1,75-2,25	6,7	10,4				$15,8^\circ$	0,0048	0,09				
totaal				0,0600	0,91		0,0484	0,26		0,0300	0,06	

H_o (m)	T (s)	c_o (m/s)	sector 30° $\varphi_o = -28^\circ$			sector 60° $\varphi_o = -58^\circ$			sector 90° $\varphi_o = -88^\circ$			
			φ_{br}	$P_{voork.}$	$S \cdot 10^{-3}$ (m^3/s)	φ_{br}	$P_{voork.}$	$S \cdot 10^{-3}$ (m^3/s)	φ_{br}	$P_{voork.}$	$S \cdot 10^{-3}$ (m^3/s)	
0	-0,75	4,6	7,2	$-9,4^\circ$	0,0484	-0,14	$-16,1^\circ$	0,0755	-0,22	$-10,2^\circ$	0,0677	-0,01
0,75-1,25	5,2	8,1	$-13,0^\circ$	0,0242	-0,78	$-21,5^\circ$	0,0812	-2,55	$-15,7^\circ$	0,0455	-0,07	
1,25-1,75	6,0	9,3	$-13,7^\circ$	0,0164	-1,44	$-22,7^\circ$	0,0532	-4,55	$-15,7^\circ$	0,0184	-0,07	
1,75-2,25	6,7	10,4	$-14,1^\circ$	0,0126	-2,25	$-23,5^\circ$	0,0338	-5,94	$-15,7^\circ$	0,0106	-0,08	
2,25-2,75	7,4	11,5	$-14,3^\circ$	0,0077	-2,41	$-23,8^\circ$	0,0106	-3,26	$-16,2^\circ$	0,0048	-0,07	
2,75-3,25	8,0	12,5	$-14,1^\circ$	0,0019	-0,92	$-24,0^\circ$	0,0039	-1,89	$-16,6^\circ$	0,0019	-0,04	
3,25-4,25	9,5	14,8				$-23,7^\circ$	0,0019	-1,92	$-16,0^\circ$	0,0010	-0,05	
totaal				0,112	-7,94		0,2601	-20,33		0,1499	-0,39	

$$\begin{aligned} \text{totaal} &= (0,91 + 0,26 + 0,06 - 7,94 - 20,33 - 0,39) \cdot 10^{-3} = -27,43 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= -0,87 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar} \end{aligned}$$



Figuur II.2

Bijlage III

In deze bijlage zijn de golfhoogten berekend op een gemiddelde diepte van 7 m, uitgaande van de diep-water golfhoogten, rekening houdend met refractie en shoaling. Er is uitgegaan van bijlage I waar van de belangrijkste richtingssectoren (30° , 60° , 90° , 300° , 330° en 360°) de overschrijdingsfrequenties bepaald zijn voor de golfhoogten. Deze waarden worden uitgezet in een grafiek en er wordt een zo goed mogelijk passende rechte doo getrokken die de relatie weergeeft tussen de significante golfhoogte en de overschrijdingsfrequentie en dus ook de terugkeerperiode (zie figuur III.1 - III.6).

Bij elke richtingssector wordt nu per bepaalde terugkeerperiode de golfhoogte afgelezen, en dit vormt het uitgangspunt voor de berekening van de golfhoogte op 7 m gemiddelde diepte (zie tabel III.1 - III.6). De tabellen III.1 - III.6 zijn als volgt bepaald:

- De golflengte L_0 wordt bepaald aan de hand van figuur 5 waar de periode T wordt afgelezen bij de golfhoogte H_0 . De golflengte is dan: $L_0 = 1,56T^2$.
- Dan wordt bepaald de gemiddelde diepte $d=7$ m gedeeld door L_0 , en deze waarde d/L_0 wordt opgezocht in tabel C-1 van de Shore Protection Manual, vol III, ref.10.
- Dan wordt afgelezen H/H_0' ($=K_{sh}$, de shoaling coëfficiënt) en $\tanh(2\pi d/L)$ ($=c/c_0$).
- Vervolgens wordt φ bepaald volgens $\varphi = \arcsin(c/c_0 \sin\varphi_0)$
- Dan wordt K_r (de refractiecoëfficiënt) bepaald volgens: $K_r = \sqrt{(\cos\varphi_0/\cos\varphi)}$

- Dan wordt de theoretische golfhoogte bepaald volgens: $H_{th} = K_{sh} \cdot K_r \cdot H_0$. De golfhoogte rond de 7 m dieptelijn wordt echter beperkt door de waterdiepte. Omdat $\gamma = 0,6$ aan de hoge kant is, wordt nu gekozen voor $\gamma = 0,52$. De nu maximaal optredende mogelijke golf is: $(7\text{m (diepte)} + 1\text{m (getij, H.W.)}) \cdot 0,52 = 4,2\text{m}$. De theoretisch hogere golven zullen dus al gebroken zijn voor deze bij de 7m dieptelijn aankomen.

De gevonden waarden worden nu ook uitgezet in de figuren III.1 - III.6.

Tabellen voor het bepalen van de golfhoogte op de 7 m dieptelijn
rekening houdend met shoaling en refractie.

terugkeer periode (jaar)	H_o (m)	L_o (m)	d/L_o	d/L	K_{sh}	c/c_o	φ	K_r	H_{th} (m)
0,1	1,5	56	0,1250	0,1624	0,9186	0,7697	$37,3^\circ$	0,880	0,81
0,5	1,9	68	0,1029	0,1435	0,9305	0,7170	$34,4^\circ$	0,864	1,5
1	2,6	92	0,07609	0,1196	0,9605	0,6362	$30,1^\circ$	0,844	2,1
5	3,0	100	0,07000	0,1139	0,9713	0,6145	$29,0^\circ$	0,839	2,4
20	4,0	141	0,04965	0,09379	1,024	0,5294	$24,6^\circ$	0,823	3,4
100	4,8	182	0,03846	0,08153	1,072	0,4717	$21,8^\circ$	0,814	4,2

Tabel III.1: Richtingssector 330° ($\varphi_o = 52^\circ$)

terugkeer periode (jaar)	H_o (m)	L_o (m)	d/L_o	d/L	K_{sh}	c/c_o	φ	K_r	H_{th} (m)
0,1	1,1	44	0,1591	0,1909	0,9130	0,8334	$18,2^\circ$	0,988	0,99
0,5	1,4	52	0,1346	0,1705	0,9157	0,7894	$17,2^\circ$	0,985	1,3
1	2,1	72	0,09722	0,1387	0,9351	0,7009	$15,2^\circ$	0,980	1,9
5	2,4	83	0,08434	0,1272	0,9489	0,6631	$14,4^\circ$	0,978	2,2
20	3,3	110	0,06364	0,1080	0,9845	0,5893	$12,8^\circ$	0,975	3,2
100	4,0	141	0,04965	0,09379	1,024	0,5294	$11,4^\circ$	0,973	4,0

Tabel III.2: Richtingssector 360° ($\varphi_o = 22^\circ$)

terugkeer periode (jaar)	H_o (m)	L_o (m)	d/L_o	d/L	K_{sh}	c/c_o	φ	K_r	H_{th} (m)
0,1	2,4	83	0,08434	0,1272	0,9489	0,6631	$-5,3^\circ$	0,997	2,3
0,5	2,9	97	0,07216	0,1160	0,9673	0,6221	$-5,0^\circ$	0,997	2,8
1	3,7	126	0,05556	0,09986	1,005	0,5564	$-4,4^\circ$	0,997	3,7
5	4,2	150	0,04667	0,09063	1,035	0,5150	$-4,1^\circ$	0,996	4,3 → br.
20	5,3	225	0,03111	0,07268	1,117	0,4280	$-3,4^\circ$	0,996	5,9 → br.
100	6,3	297	0,02357	0,06280	1,184	0,3753	$-3,0^\circ$	0,996	7,4 → br.

Tabel III.3: Richtingssector 30° ($\varphi_o = -8^\circ$)

terugkeer periode (jaar)	H_o (m)	L_o (m)	d/L_o	d/L	K_{sh}	c/c_o	φ	K_r	H_{th} (m)
0,1	3,1	102	0,06863	0,1126	0,9740	0,6095	$-22,0^\circ$	0,922	2,8
0,5	3,6	121	0,05785	0,1019	0,9995	0,5677	$-20,5^\circ$	0,917	3,3
1	4,4	162	0,04321	0,08687	1,049	0,4973	$-17,8^\circ$	0,910	4,2
5	4,9	196	0,03571	0,07832	1,090	0,4559	$-16,3^\circ$	0,906	4,8 → br.
20	6,1	293	0,02389	0,06325	1,179	0,3777	$-13,4^\circ$	0,900	6,5 → br
100	7,1	342	0,02047	0,05833	1,220	0,3509	$-12,5^\circ$	0,898	7,8 → br

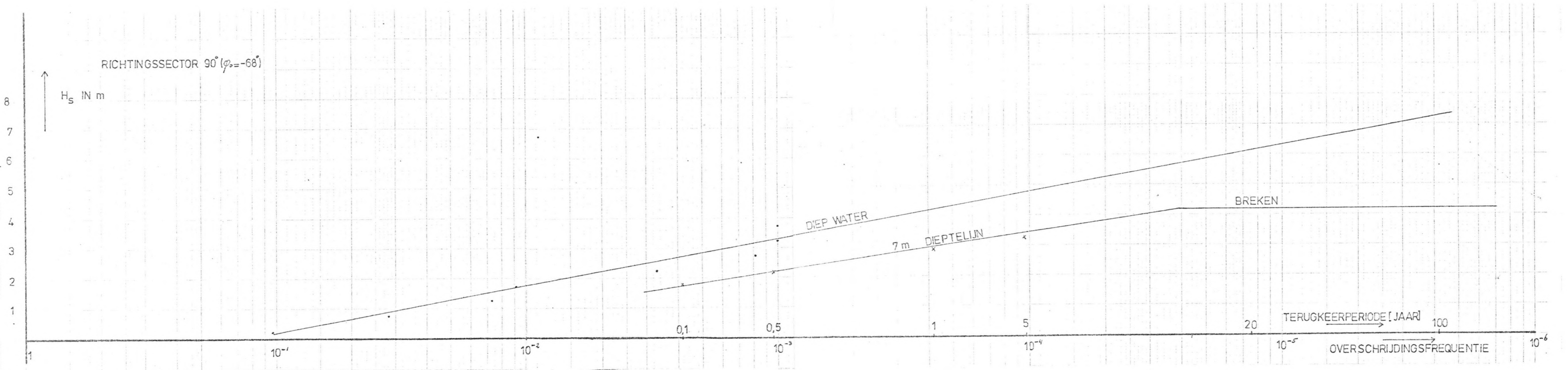
Tabel III.4: Richtingssector 60° ($\varphi_o = -38^\circ$)

terugkeer periode (jaar)	H_o (m)	L_o (m)	d/L_o	d/L	K_{sh}	c/c_o	φ	K_r	H_{th} (m)
0,1	2,7	90	0,07778	0,1212	0,9597	0,6417	$-36,5^\circ$	0,683	1,8
0,5	3,3	110	0,06364	0,1080	0,9845	0,5893	$-33,1^\circ$	0,669	2,2
1	4,3	153	0,04575	0,08964	1,039	0,5104	$-28,2^\circ$	0,652	2,9
5	4,8	182	0,03846	0,08153	1,072	0,4717	$-25,9^\circ$	0,645	3,3
20	6,2	295	0,02373	0,06302	1,181	0,3765	$-20,4^\circ$	0,632	4,6 → br.
100	7,3	375	0,01867	0,05560	1,245	0,3358	$-18,1^\circ$	0,628	5,7 → br.

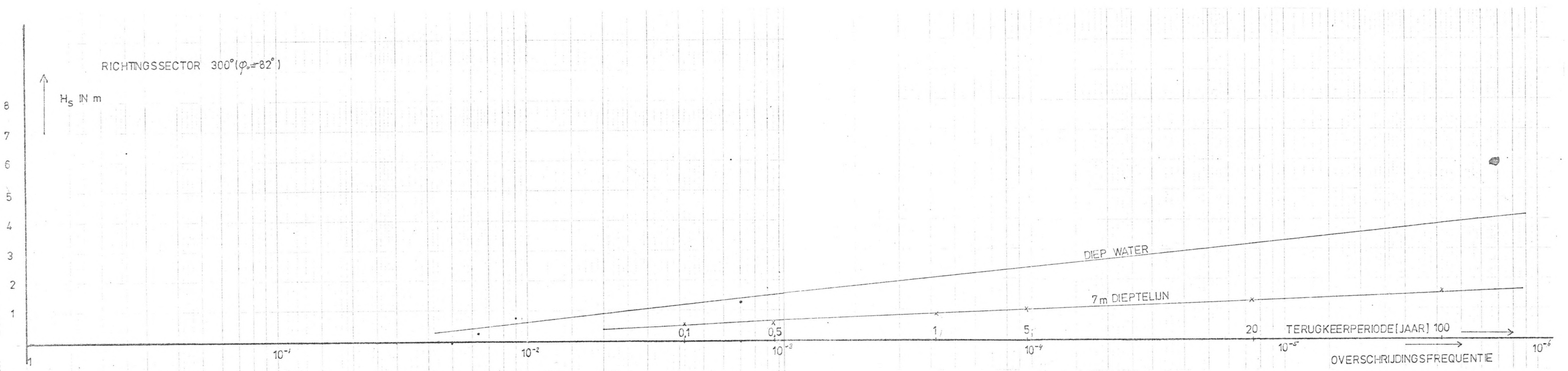
Tabel III.5: Richtingssector 90° ($\varphi_o = -68^\circ$)

terugkeer periode (jaar)	H_o (m)	L_o (m)	d/L_o	d/L	K_{sh}	c/c_o	φ	K_r	H_{th} (m)
0,1	1,2	47	0,1489	0,1824	0,9134	0,8163	$-53,9^\circ$	0,486	0,53
0,5	1,5	56	0,1250	0,1624	0,9186	0,7697	$-49,7^\circ$	0,464	0,64
1	2,1	72	0,09722	0,1387	0,9351	0,7009	$-44,0^\circ$	0,440	0,86
5	2,4	83	0,08434	0,1272	0,9489	0,6631	$-41,0^\circ$	0,430	1,0
20	3,2	107	0,06542	0,1096	0,9806	0,5969	$-36,2^\circ$	0,415	1,3
100	3,9	135	0,05185	0,09608	1,016	0,5397	$-32,3^\circ$	0,406	1,6

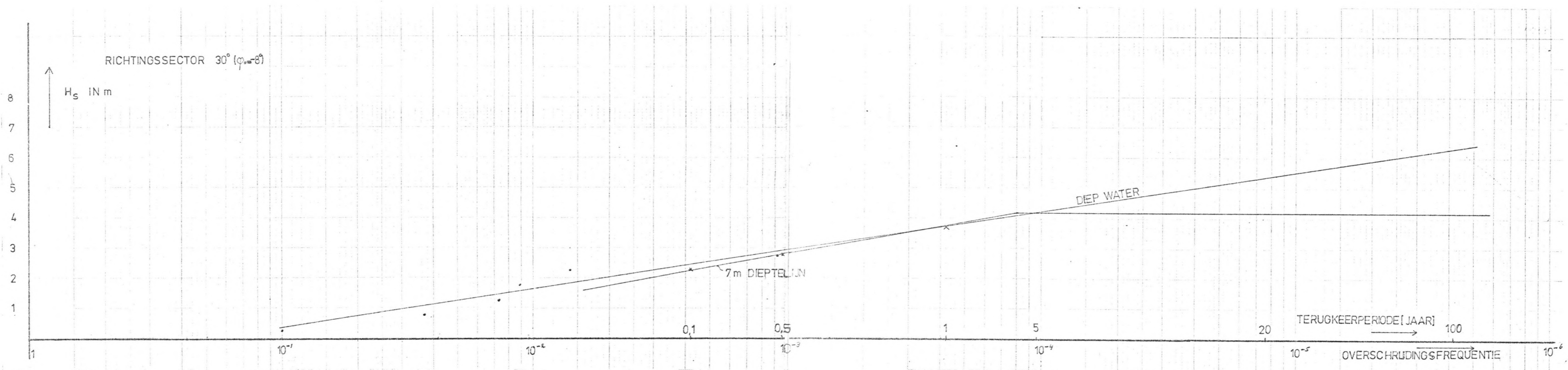
Tabel III.6: Richtingssector 300° ($\varphi_o = 82^\circ$)



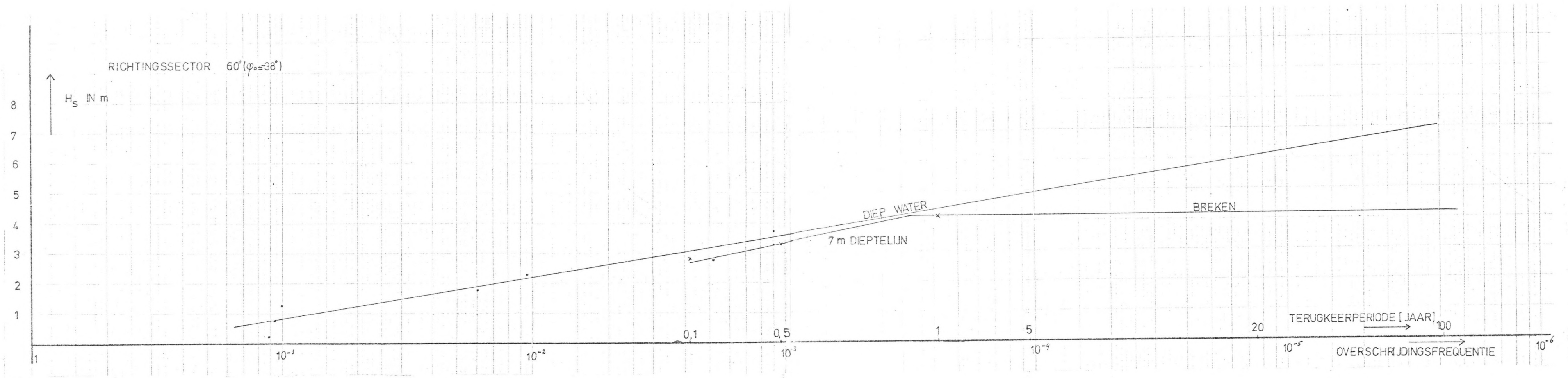
Figuur III.1



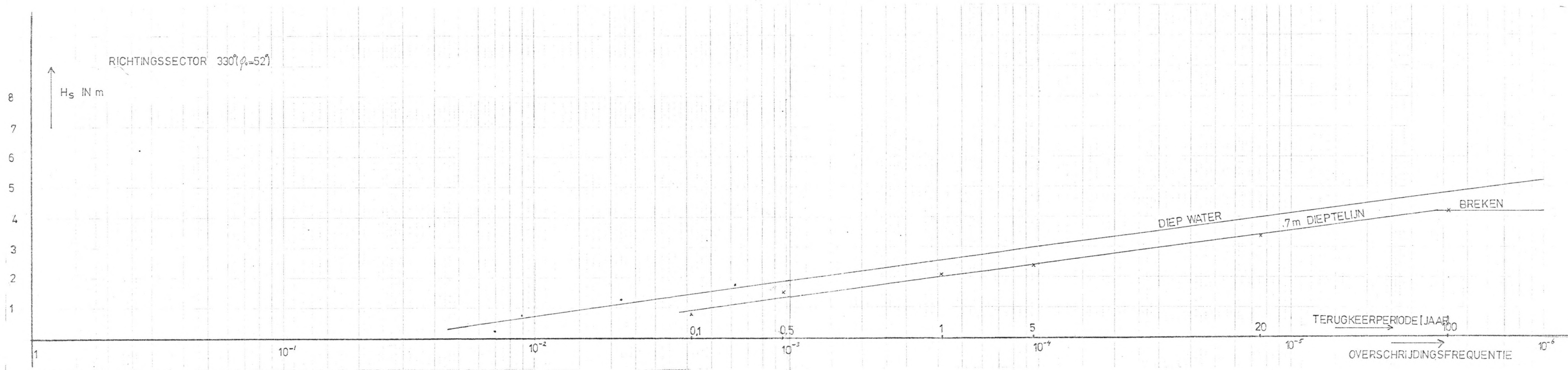
Figuur III.2



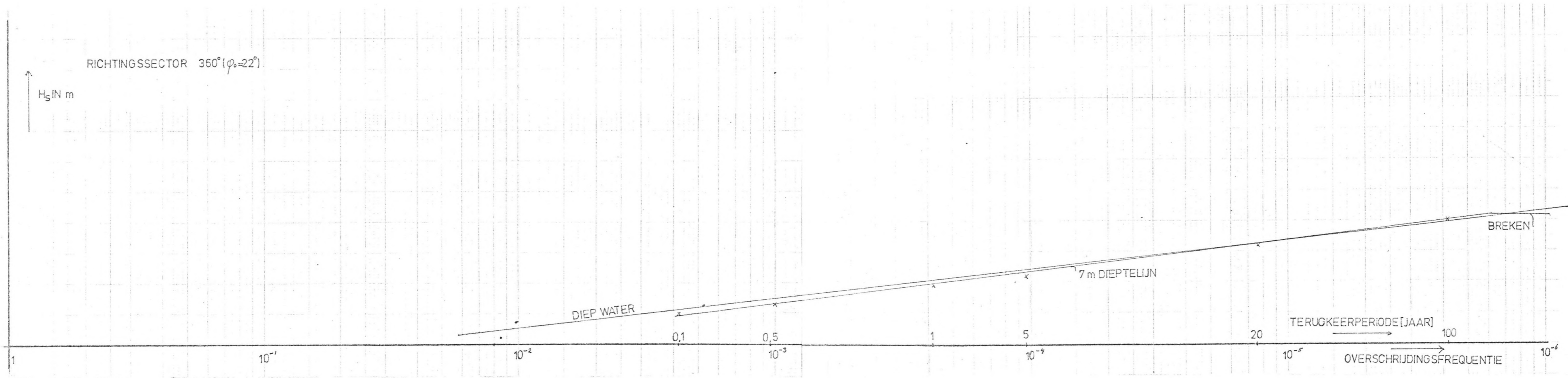
Figuur III.3



Figuur III.4



Figuur III.5



Figuur III.6

