

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee
adviesdienst vliissingen

nota WWKZ-81.V002

Golfbelasting op de keermuur
van de Boulevards Bankert en
Evertsen te Vlissingen tij-
dens superstormvloedomstandig-
heden.

projectcode							

auteur(s) : Ir. C. Visser

datum : Mei 1981

bijlagen : 10

samenvatting : In deze nota wordt de grootte van de golfbelasting aangegeven welke tijdens superstormvloedcondities op de keermuren van de Boulevards Bankert en Evertsen te Vlissingen kan optreden. Aan de hand van vroeger modelonderzoek naar de golfbelasting op de Boulevard de Ruyter te Vlissingen is een formule voor de golfbelasting afgeleid. Met het doen van literatuuronderzoek is deze formule op betrouwbaarheid getoetst. Vervolgens is aan de hand van deze formule een ontwerpbelastingsdiagram opgesteld voor de keermuur van de Boulevards Bankert en Evertsen te Vlissingen.

rijkswaterstaat

behoort bij: nota WWKZ nr. 81.V002
datum: mei 1981
bladnr: i

Inhoudsopgave

	<u>blz</u>
1. Inleiding.	1
2. Analyse meetresultaten modelonderzoek M 1366 en vergelijking van deze resultaten met gangbare berekeningsmethoden.	3
2.1 Analyse meetresultaten M 1366.	3
2.2 Toetsing van de uit modelproeven afgeleide, maximale piekbelasting aan divers berekenings- methoden.	10
3. Golfbelasting Boulevard Bankert/Evertsen.	16
3.1 Keermuur zonder berm.	16
3.2 Keermuur met berm.	22
4. Samenvatting en discussie.	25
 Literatuur.	 26
Lijst van symbolen.	28
Lijst van bijlagen.	29

behoort bij: nota WWKZ nr: 81.V002
 datum: mei 1981
 bladnr: 1

. 1. Inleiding.

In het kader van de voorbereiding van het op deltasterkte brengen van de waterkeringen te Zeeland zijn door het Waterloopkundig Laboratorium modelproeven uitgevoerd voor de boulevards Bankert en Evertsen te Vlissingen. Rapport Modelserie M 1161, lit [1].

Het doel hiervan was het onderzoeken van verschillende mogelijke zeeweringprofielen (doorsneden van de keermuur) waarbij de volgende criteria werden gesteld:

- 1^o De overslag ter plaatse van de achter de bebouwing gelegen dijk mocht niet meer bedragen dan 2 l/ m s.
- 2^o De 1% kracht¹⁾ op de bebouwing mag niet meer bedragen dan 8000 N/m².

De keermuurhoogten van de uit deze modelproeven resulterende profielen was echter dusdanig, dat het uitzicht van de bewoners van de boulevards zou worden gereduceerd. Besloten werd daarom dit bezwaar van de bewoners sterk te laten wegen. In 1978 werd daartoe aan het W.L. opdracht gegeven tot het uitvoeren van aanvullende modelproeven met een keermuur voorzien van een parapet, waarbij alleen aan het onder 1^o genoemde criterium moest worden voldaan. Dit nu heeft geleid tot een ontwerp, waarbij ter plaatse van de bebouwing, de hoogte van de keermuur met parapet werd bepaald op N.A.P. +7,50 m.

Tevens zijn in hetzelfde kader door het W.L. onderzoeken verricht betreffende de profielen van een derde boulevardgedeelte: de boulevard de Ruyter. Bij deze modelproeven werd tevens de golfbelasting op de verticale muur gemeten. De resultaten van dit modelonderzoek staan vermeld in het W.L. rapport M 1366, lit [2].

Het doel van de voorliggende nota is de gemeten golfbelasting op de keermuur van de boulevards Bankert en Evertsen te berekenen aan de hand van de modelproefresultaten met betrekking tot boulevard de Ruyter. De situatie van deze boulevards te Vlissingen wordt in bijlage 1 weergegeven.

- Daartoe -

1) 1%-kracht = de meest waarschijnlijke maximum belasting gedurende 100 golfperioden.

behoort bij: nota WWKZ nr. 81.V002
datum: mei 1981
bladnr: 2

. Daartoe worden eerst in hoofdstuk 2 de proefresultaten uit M 1366 geanalyseerd.

 Vervolgens zal in hoofdstuk 3 een zo nauwkeurig mogelijke schatting worden gegeven van de golfbelasting op de keermuur van de boulevards Bankert en Evertsen aan de hand van de analyse in hoofdstuk 2.

 In hoofdstuk 4 volgt een samenvatting en discussie.

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 3

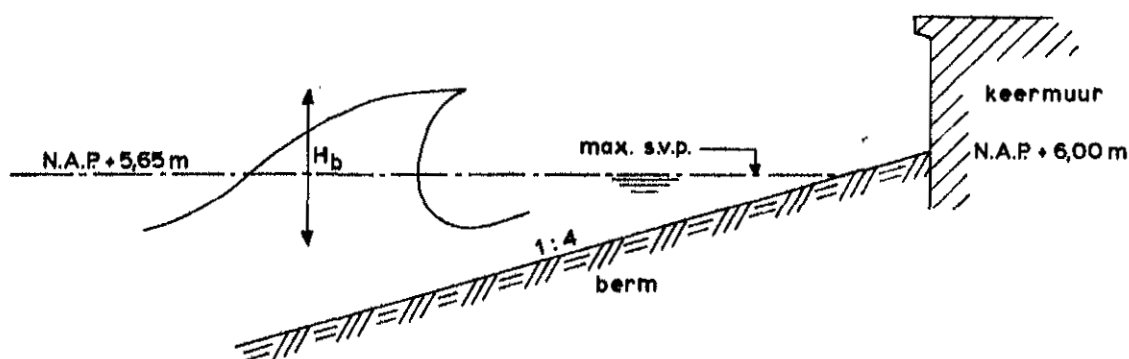
2. Analyse meetresultaten modelonderzoek M 1366 en vergelijking van deze resultaten met gangbare berekeningsmethoden.

2.1 Analyse meetresultaten M 1366.

Het modelonderzoek M 1366 met betrekking tot de boulevard de Ruyter heeft plaatsgevonden in augustus en september 1975 in de windgoot van het Laboratorium te Delft. Uitgangspunt van dit modelonderzoek was het bepalen van de golfbelasting op de keermuur en de bebouwing hierachter gelegen alsmede de mate van golfoverslag, bij diverse ontwerpvarianten.

Het merendeel van de proevenserie had betrekking op een keermuur met voorgelegen berm, waarbij de aansluiting tussen berm en keermuur was gelegen op N.A.P. +6,00 m. Deze aansluiting lag dus boven het maximum stormvloedpeil bij superstormvloed. Dat stormvloedpeil (= ontwerppeil) ligt op N.A.P. +5,65 m. Eén en ander wordt in figuur 1 toegelicht.

Figuur 1: maten in prototype-waarden.

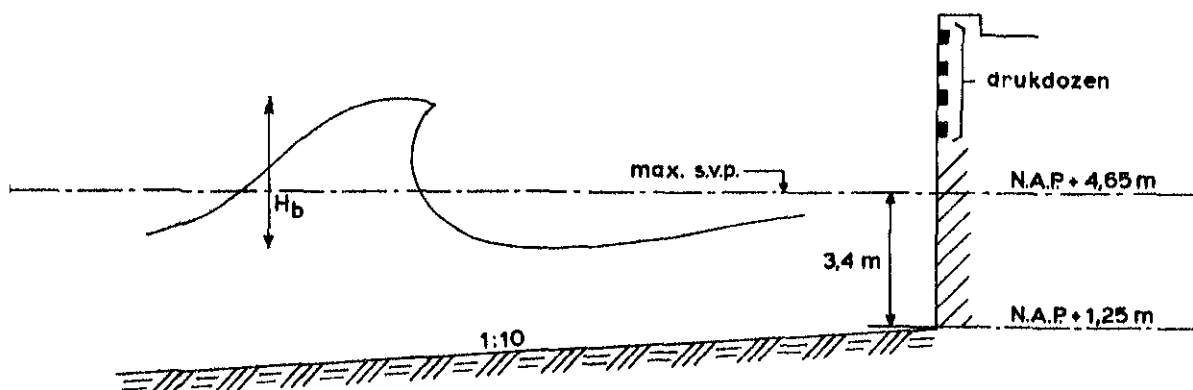


Er is in bovenstaande situatie sprake van een gedeeltelijk op de berm slaande golf. De golfbelasting op de muur zal het gevolg zijn van een watermassa welke deels over de berm oploopt en deels direct op de keermuur slaat.

behoort bij: nota WWKZ nr: 81.V002
 datum: mei 1981
 bladnr: 4

Echter, in deze modelproevenserie is een ijking van het model uitgevoerd met de situatie van de stormvloed van 1 februari 1953. Een doorsnede van het model (keermuur zonder berm) is weergegeven in figuur 2, waarin tevens de plaats van de drukdozen is weergegeven. In de figuur zijn prototype-waarden ingevuld.

Figuur 2



M 1366, modelproef no. 8
 situatie stormvloed 1 februari 1953
 $H_{1/3} = 3,65$ m $T = 9,3$ sec.

plaats drukdozen: N.A.P. +9,06 m
 N.A.P. +7,86 m
 N.A.P. +7,11 m
 N.A.P. +6,36 m

In deze situatie is er wèl sprake van een direct op de keermuur slaande golf, zodat de resultaten van deze modelproef gebruikt kunnen worden om een relatie tussen de hoogte van de op de keermuur brekende golf H_b en de optredende golfbelasting vast te kunnen stellen. Evenals in de presentatie van M 1366 wordt in dit hoofdstuk verder gerekend met prototype waarden, welke uit de modelwaarden zijn afgeleid.

In bijlage 3 is een cumulatieve golfhoogteverdeling gegeven met betrekking tot deze modelproef. De significante golfhoogte $H_{1/3} = 3,12$ m werd door golfhoogte-meter 1 op een diepte van 21 m gemeten. De significante golfhoogte op een diepte van 5,65 m ter plaatse van golfhoogtemeter 2 bedroeg $H_{1/3} = 3,65$ m. Voor de situatie: zie bijl. 2.

In bijlage 4 zijn de drukdoosregistraties weergegeven. De plaats van deze drukdozen is vermeld in figuur 2 van dit hoofdstuk.

behoort bij: nota WWKZ nr. 81.V002
 datum: mei 1981
 bladnr: 5

Bij de analyse van de modelresultaten worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

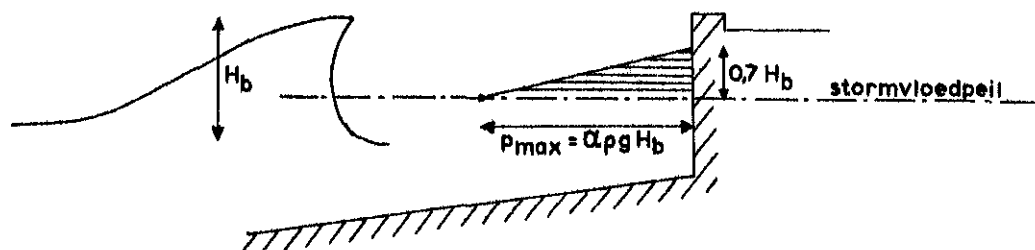
- 1° De in de modelproeven geregistreeerde belasting is de som van de dynamische belasting en de quasi-statische belasting;
- 2° De plaats van de maximaal optredende piekbelasting ligt ter hoogte van de momentane waterstand tijdens de golfaanval;
- 3° De dynamische piekbelasting is evenredig met de hoogte H_b van de op de keermuur brekende golf;
- 4° De drukverdeling van de dynamische piekbelasting heeft boven het waterstandsniveau een lineair verloop. Op $0,7 \cdot H_b$ boven het waterstandsniveau geldt $p_d = 0$.

Uit voorgaande punten volgt nu dat de totale piekbelasting, p_{tot} , welke is samengesteld uit de dynamische belasting en de quasi-statische belasting, evenredig is met H_b en er op het waterstandsniveau zal gelden:

$$p_{tot(max)} = \alpha \rho g H_b \quad [N/m^2] \quad (1)$$

Hierin is α een nog nader vast te stellen konstante. Bovenstaande is verduidelijkt in figuur 3.

Figuur 3



ad 2° Dit uitgangspunt is gebaseerd op de gegevens uit geraadpleegde literatuur. Zowel Plakida (lit [3]), Goda (lit [4]), Minikin (lit [9]) als Lundgren (lit [10]) hanteren dit uitgangspunt op grond van modelonderzoek en studie.

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 6

. ad 3^o Bij een stationaire waterstraal op een plat vlak is de maximale stuwdruk bij een stroomsnelheid v te schrijven als

$$p_{\max} = \frac{v^2}{2g} = \text{konstant} \quad [\text{m.w.k.}] \quad (2)$$

Bij een op het platte vlak slaande waterstraal zal gelden:

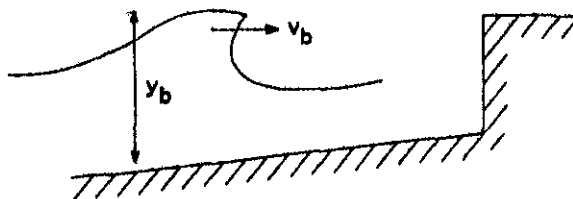
$$p_{\max} = \lambda \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ met } \lambda > 1 \quad [\text{m.w.k.}] \quad (3)$$

Tevens speelt hierbij het tijdseffect een rol. Beperke men zich tot $p_{\max} :: \frac{v_b^2}{2g}$ (waarin v_b de snelheid van de water-massa in de golf-kam op het moment van breken voorstelt) dan kan een evenredigheid tussen golfhoogte en maximale golfdruk worden afgeleid. In de kam geldt:

$$v_b :: \sqrt{g \cdot y_b} \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

Hierin is y_b de afstand tussen de kam en de bodem ter plaatse, zie figuur 4.

Figuur 4



Indien nu een lineaire relatie tussen H_b en y_b wordt aangehouden, dan geldt

$$v_b^2 :: H_b \quad (5)$$

en uit (3) en (5) volgt dan

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 7

$$p_{\max} :: H_b \quad (6)$$

Bagnold, Irribarren, Nagai e.a. leggen een relatie vast tussen p_{\max} en $\frac{v^2}{2g}$, alhoewel hun inzicht omtrent het ontstaan van de drukstoot (al of niet luchtinsluiting) nog wel verschillend is.

Plakida, lit [3] en Goda [4] gebruiken bij de door hen gepresenteerde ontwerpformules voor verticale golfbrekers de volgende relatie:

$$p_{\max} = \alpha \cdot \rho \cdot g H_b \quad [N/m^2] \quad (7)$$

Plakida geeft α de waarde $1\frac{1}{2}$ (uit modelonderzoek verkregen) en Goda laat deze waarde een functie zijn van zowel de golfeigenschappen als van de situatie ter plaatse van de golfbreker (bodembelling, waterdiepte en type). De α -waarde berekend met de methode van Goda [4] zal (globaal) liggen tussen 1,0 en 1,5.

ad 4^o Dit is gedaan ter schematisering. Ook Plakida [3] en Goda [4] nemen een lineair verloop aan van de drukverdeling boven de momentane waterstand.

Plakida neemt tijdens de proeven waar, dat op het moment van de golfklap, het waterniveau ter plaatse van de verticale muur, reikt tot $0,5 H_b$ à $0,8 H_b$ boven MSL de momentane waterstand..

ad 5^o Doordat gesteld is dat op maximum stormvloedpeil de quasi-statische druk gelijk is aan $0,7 \cdot H_b$ kan dit, mede gelet op 3^o en 4^o eenvoudig worden afgeleid.

Bij modelproef no. 8 van M 1366 (ijkingsmodel) was de laagst geplaatste drukdoos gesitueerd op N.A.P. +6,36 m. Dit was gedaan met het oog op de later uit te voeren modelproeven bij superstorm-

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 8

- condities, waarbij een berm op de keermuur aansluit ter hoogte van N.A.P. +6,00 m. Het onder 2^o genoemde uitgangspunt leidt ertoe, dat de resultaten uit deze modelproef no. 8 in de eerste plaats worden gebruikt om de waarde van de maximale golfbelasting op max. stormvloedpeil vast te stellen.

Gezien de ligging van de drukdozen ten opzichte van maximum stormvloedpeil zal een registratie van de piekbelasting optreden bij de hogere golven uit het golfveld. In dat geval liggen de drukdozen minder dan $0,7 \cdot H_b$ boven het maximum stormvloedpeil. Daarom zijn enkele karakteristieke golfhoogten uit het golfveld gekozen om tot een relatie te kunnen komen tussen de maximale piekbelasting en de hoogte H_b van de brekende golf. Indien nu wordt verondersteld dat voor de hoge golven uit een golfveld ($H > H_s$) geldt, dat de belasting welke n% van de tijd wordt overschreden, behoort bij de golfhoogte welke door n% van het aantal golven wordt overschreden, kan aan de hand van bijlage 5 de tabel 1 worden opgesteld.

Tabel 1	P_{tot} in 10^4 N/m ² (= m waterkolom)			
hoogte drukdoos →	NAP +6,36 m	NAP +7,11 m	NAP +7,86 m	NAP +9,06 m
$H_{13\%} = 3,65$ m	2,40	-	-	-
$H_{5\%} = 4,40$ m	4,30	2,45	-	-
$H_{1\%} = 5,45$ m	8,50	5,00	3,10	-
$H_{0,2\%} = 6,10$ m	11,0	8,20	5,10	-

- In de tabel stelt $H_{n\%}$ de golfhoogte voor welke door n% van het aantal golven wordt overschreden. Tevens zijn slechts die registraties in de tabel vermeld waarbij geldt dat de afstand van drukdoos tot maximum stormvloedpeil kleiner is dan $0,7 \cdot H_b$. De registraties, waarbij de afstand van drukdoos tot maximum stormvloedpeil groter is dan $0,7 \cdot H_b$, worden geacht de drukken weer te geven welke veroorzaakt worden door de oplopende watermassa, en worden niet bij de

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 9

. berekening van de maximale piekbelasting betrokken.

Het gaat nu in het volgende om het vaststellen van de maximale dynamische belasting, waarbij wordt uitgegaan van een lineair verband tussen de dimensieloze grootheden $\frac{p_d}{\rho g H_b}$ en $\frac{z}{H_b}$. Met behulp van tabel 1 en na aftrek van het quasi-statische deel van de belasting in de in tabel 1 vermelde waarden, kan tabel 2 worden opgesteld (p_d = dynamische piekbelasting en z = hoogte boven max. stormvloedpeil).

Tabel 2:

Plaats drukdoos	NAP +6,36 m		NAP +7,11 m		NAP +7,86 m	
	z/H_b	$p_d/\rho g H_b$	z/H_b	$p_d/\rho g H_b$	z/H_b	$p_d/\rho g H_b$
$H_b = 3,65$ m	0,47	0,43				
$H_b = 4,40$ m	0,39	0,67	0,56	0,42		
$H_b = 5,45$ m	0,31	1,17	0,45	0,67	0,59	0,46
$H_b = 6,10$ m	0,28	1,38	0,40	1,04	0,53	0,67

De hoogste waarde voor z/H_b in tabel 2 is 0,59 en de kleinste waarde voor z/H_b is 0,28. Op de in tabel 2 staande gegevens is een regressieanalyse toegepast, uitgaande van een lineair verband tussen $p_d/\rho g H_b$ en z/H_b volgens:

$$p_d/\rho g H_b = \beta (z/H_b) + \gamma \quad (8)$$

Men zie hiertoe bijlage 5.

De beste schatting van β en γ geeft de volgende waarden:

$$\beta = -2,85$$

$$\gamma = +2,03$$

Extrapolatie naar het snijpunt van de regressielijn met de z/H_b -as geeft als beste schatting de waarde $z/H_b = 0,71$ wat de aanname zoals gedaan onder 4^o rechtvaardigt.

- Extrapolatie -

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei .. 1981

bladnr: 10

. Extrapolatie naar $z/H_b = 0$ geeft de volgende beste schatting:

$$z/H_b = 0 \rightarrow \frac{p_d}{\rho g H_b} = 2,03 \quad (9)$$

Wordt nu de standaardafwijking als nauwkeurigheidsmarge beschouwd ten aanzien van deze schatting, dan volgt voor deze waarde

$$\sigma_o = 0,278 \quad (10)$$

Gezien de onzekerheid ten aanzien van de relatie tussen $H_{n\%}$ en $P_{n\%}$ (bij een regelmatig golfveld met constante golfhoogte treedt er spreiding op in de grootte van de golfklap) wordt de bovengrenswaarde $\frac{p_d}{\rho g H_b} (o) + \sigma_o$ aangehouden:

$$p_{d(max)} = 2,3 \rho g H_b \quad [N/m^2] \quad (11)$$

en dus op $z/H_b = 0$:

$$p_{tot(max)} = 3,0 \rho g H_b \quad [N/m^2] \quad (12)$$

$$(p_{tot} = p_d + p_{stat})$$

en voor

$$z/H_b = 0,7 : p_{tot} = 0 \quad (13)$$

N.B.: 1 m.w.k. $\approx 10^4 N/m^2$.

2.2 Toetsing van de uit modelproeven afgeleide, maximale piekbelasting aan diverse berekeningsmethoden.

Vele modelonderzoeken naar de grootte van golfklappen zijn er in het verleden reeds verricht. Bagnold [5] ging uit van de hypothese dat een drukstoot slechts mogelijk was als er sprake was van een tussen golf en muur ingesloten luchtkussen (impact-pressure) en komt tot een relatie volgens :

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 11

$$p_{d(max)} = \alpha \frac{v^2}{2g} \quad [m.w.k.] \quad (14)$$

v = de snelheid van de golfkam van de brekende golf

α = konstante, welke de invloed van het ingesloten luchtkussen naar voren brengt

Hayashi en Hattori [6] wijzen erop dat de druk bij een plotselinge implosie van het ingesloten luchtkussen bij luchtdoorbraak oplopen kan tot:

$$p_{d(max)} = \frac{4v^2}{2g} \quad [m.w.k.] \quad (15)$$

Meerdere auteurs hebben de maximale dynamische druk weergegeven met de formule

$$p_{d(max)} = \alpha \frac{v^2}{2g} \quad [m.w.k.]$$

In tabel 3 volgt een opsomming, overgenomen uit gegevens van Führbötter [7] e.a.

Tabel 3:

auteur		α
Kandiba -Toukholta	UDSSR (1926)	1,6
Djouwkovski-Bojitch	UDSSR (1949)	1,7
Richter	UDSSR	2,0
Hansen	DLD (1950)	2,0
Engels	DLD	2,0
Hiroi	JAPAN (1907)	2,0
Latham	ENGLD	2,45
Bagnold	USA (1939)	2,7
Molitor	USA (1935)	3,6
Gaillard	USA (1904)	3,6
Trenjukhinn	UDSSR (1926)	3,92
Lira	CHILI (1927)	4,0
Hayaski/Hattori	JAPAN (1958)	4,0
Nagai	JAPAN (1961)	4,0

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 12

. Volgens Iversen [8] kan de snelheid in de top van de golfkam worden beschreven volgens

$$v_b = \sqrt{g y_b} \quad [\text{m/s}] \quad (16)$$

waarin y_b het hoogteverschil is tussen golfkam en de bodem ter plaatse van het breekpunt (zie figuur 4). Wordt nu gesteld dat $y_b = 2 H_b$, dan volgt uit (14) en (15) dat

$$p_{\max} = \alpha \cdot H_b \quad [\text{m.w.k.}] \quad (17)$$

De gegevens uit tabel 3 wijzen dan op

$$1,6 < \alpha < 4,0 \quad (18)$$

Uit vgl (11) -met een max. schatting afgeleid uit de modelproefresultaten- blijkt:

$$\alpha = 2,3 \quad (19)$$

De waarde van α welke uit de modelproeven afgeleid is, valt binnen het kader van de uit tabel 3 voortvloeiende waarden voor α .

Plakida [3] komt tot de formule:

$$p_{\max} = 1,5 \rho g H_b \quad [\text{N/m}^2] \quad (20)$$

Aangenomen mag worden dat het hier de dynamische piekbelasting betreft, zodat de totale piekbelasting bij de door hem voorgestelde belastingdiagram, reikend tot een hoogte H_b boven de momentane waterstand, gelijk zal zijn aan:

$$p_{\text{tot max}} = 2,5 \rho g H_b \quad [\text{N/m}^2] \quad (21)$$

Dit komt in orde van grootte overeen met de vergelijking (12) welke uit de modelresultaten van M 1366 is afgeleid.

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 13

Goda [4] heeft een formule ontwikkeld om de golfbelasting op verticale golfbrekers te berekenen. Niet duidelijk is hierbij in hoeverre de quasi-statische belasting in rekening gebracht dient te worden. Indien het hier de dynamische belasting alleen betreft, dan luidt zijn formule:

$$p_{a_{max}} = \alpha \rho g H_b \quad [N/m^2]$$

waarin de waarde van α tussen 1,0 en 1,5 zal liggen, afhankelijk van de golfkarakteristieken en de situatie ter plaatse van de golfbreker. De berekende waarde zal lager liggen dan die volgens vgl (11).

In de "Shore Protection Manual" 1977 vol II lit [9] wordt een door Minikin ontwikkelde formule gepresenteerd voor de berekening van de golfbelasting op een verticale muur ten gevolge van de brekende golf. Door het CERC wordt hierbij een opmerking geplaatst waaruit blijkt dat het berekeningsresultaat, gezien de hoge uitkomsten, met reserve moet worden bekeken.

$$\text{Minikin: } \frac{P}{\rho g H_b} = 101 \frac{d_s}{L_D} \left(1 + \frac{d_s}{L_D} \right) + \frac{1}{2} \quad (22)$$

H_b = hoogte brekende golf

d_s = waterdiepte ter plaatse van keermuur

L = golflengte ter plaatse van keermuur

D = waterdiepte op afstand L van de keermuur

L_D = golflengte op afstand L van de keermuur

Voor de situatie bij boulevard de Ruyter worden de betreffende grootheden in figuur 5 weergegeven.

behoort bij: nota

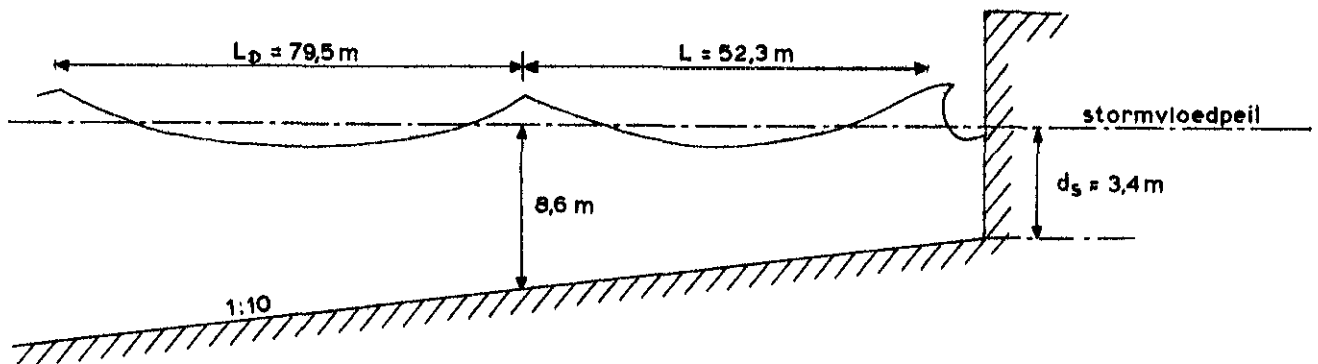
WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 14

~ 2/5 sec

Figuur 5



De formule van Minikin resulteert voor bovenstaande situatie in

$$\frac{p_{\text{tot(max)}}}{\rho g H_b} = 6,5 \quad (23)$$

Deze waarde is aanmerkelijk groter dan die volgens vergelijking (12).

Bij toetsing door Goda van de door hem gepresenteerde berekeningsmethode en van andere berekeningsmethoden aan de (in)stabiliteit van een twintig-tal golfbrekers tijdens diverse stormen, bleek de totale kracht uitgeoefend op de golfbreker, berekend met de formule van Minikin ongeveer 2-4 maal zo hoog was als de totale kracht berekend met de door Goda ontwikkelde formule.

Bovenstaande geeft aanleiding tot het handhaven van de volgende vergelijkingen, gebaseerd op modelproefresultaten

$$\underline{a} \text{ op } z/H_b = 0 : p_{\text{tot max}} = 3,0' H_b \quad [\text{m.w.k.}] \quad (24)$$

$$\underline{b} \text{ op } z/H_b = 0,7 : p_{\text{tot}} = 0 \quad " \quad (25)$$

Het drukverloop op de keermuur boven maximum stormvloedpeil is lineair gedacht.

- Een -

rijkswaterstaat

behoort bij: nota WWKZ **nr.** 81.V002
datum: mei 1981
bladnr: 15

- Een vergelijking met de gemten waarden in het model is gegeven op bijlage 7.

behoort bij: nota WWKZ nr: 81.V002
 datum: mei 1981
 bladnr: 16

3. Golfbelasting Boulevard Bankert/Evertsen.

De maximale golfbelasting welke op stormvloedpeil optreedt, kan bepaald worden uit de vergelijking (24):

$$p_{\text{tot}(\text{max})} = 3,0 H_b \quad [\text{m.w.k.}] \quad (26)$$

Deze maximale waarde volgt uit hoofdstuk 2. Zij $z = 0$ het niveau van het maximum stormvloedpeil, dan is de drukverdeling boven dit stormvloedpeil, voor $0 < z/H_b < 0,7$ weer te geven volgens de vergelijking:

$$p_{\text{tot}}/H_b = -4,3 (z/H_b) + 3,0 \quad [\text{m.w.k.}] \quad (27)$$

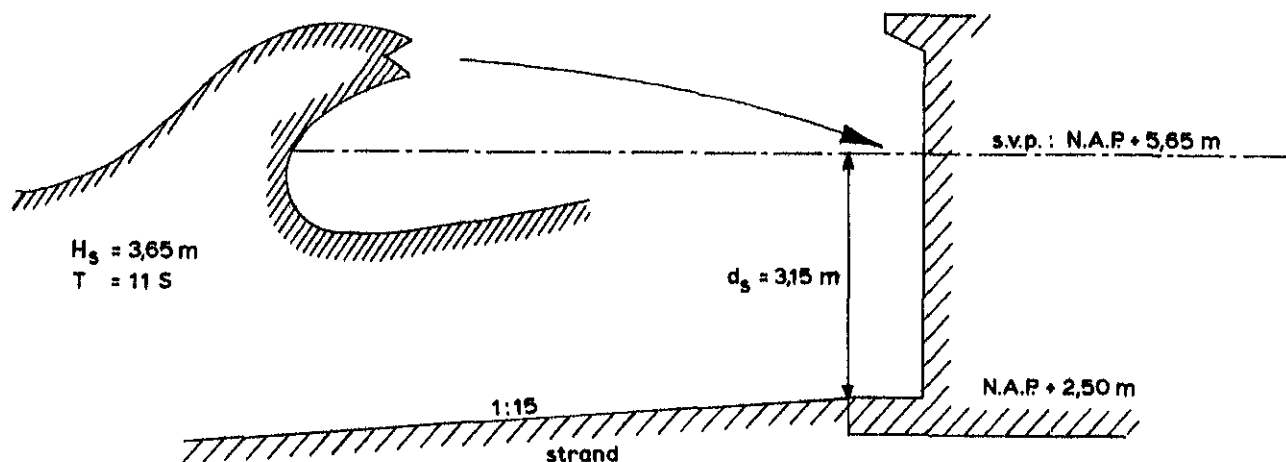
Deze formule (27) geldt voor een verticale keermuur zonder parapetconstructie. In M 1366 wordt de konklusie getrokken dat de aanwezigheid van de parapet een drukverhogend effect heeft op de constructie. De drukverhoging bedraagt ter plaatse van de parapet ongeveer 50% van de druk welke bij een verticale constructie zou optreden. Ter plaatse van het stormvloedpeil is deze verhoging tot nul gereduceerd. Tevens dient rekening gehouden te worden met het feit dat deze druk ter plaatse van de parapet ook in verticale richting werkt. Voor wat betreft de boulevards Bankert/Evertsen zijn twee typen waterkeringen te onderscheiden:

- 1 keermuur zonder berm
- 2 keermuur met voorgelegen berm, welke op de keermuur aansluit ter hoogte van N.A.P. +5,65 m.

3.1 Keermuur zonder berm.

In figuur 6 is de situatie tijdens stormvloedcondities schematisch weergegeven.

. Figuur 6



Golfhoogtemeter ^{*)} gaf in modelproef 8 van M 1366 (stormvloed feb. '53) een Rayleighverdeling van de golfhoogte weer met $H_s = 3,65 \text{ m}$ en $T = 9,5 \text{ s}$. De afstand tot de keermuur bedroeg 30 m.

Om nu voor boulevard Bankert/Evertsen (voor de situatie: zie fig. 6) een ontwerp golfhoogte te kunnen bepalen, zijn twee berekeningsmethoden getoetst aan de situatie bij modelproef 8 van M 1366 (zie fig. 2).

a Shore Protection Manual lit [9].

Gebruik wordt gemaakt van de grafiek gebaseerd op onderzoeken van Weggel. (zie bijlage 8).

$$\frac{d_s}{gT^2} = \frac{3,4}{885} = 0,0038 \Rightarrow \frac{H_b}{d_s} = 1,75 \text{ (bodempelling: } m = \frac{1}{10} \text{)}$$

$$\Rightarrow H_b = 1,75 \times 3,4 = 5,95 \text{ meter}$$

b Goda lit [4].

De brekerdiepte van de ontwerpgolf is volgens Goda:

$$d_b = d_s + 5 \cdot \frac{H_1}{3} \cdot m = 3,4 + \frac{5 \cdot 3,65}{10} = 5,225 \text{ meter}$$

bodem helling $m = 1/10$

- Uit -

* Zie bijlage 2.

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 18

- Uit grafiek op bijlage 9 volgt nu dat bij $d_b/L_o = \frac{5,225}{141} = 0,037$ de ontwerpgolfhoogte H_b is:

$$H_b = 1,18 \times d_b = 1,18 \times 5,225 \text{ m} = 6,17 \text{ m}$$

De waarden onder a en b berekend komen goed overeen met de waarde van $H_{0,2\%}$ uit M 1366 op een afstand van 30 m van de keermuur¹⁾.

Dit geeft reden om de ontwerpgolfhoogte ter plaatse van de Boulevard Bankert/Evertsen zoals in figuur 6 geschetst met behulp van de onder a en b gepresenteerde methodes te bepalen.

a Shore Protection Manual:

$$d_s = 3,15 \text{ m}; T = 11 \text{ s} \Rightarrow \frac{d_s}{gT^2} = 0,0026 \Rightarrow \frac{H_b}{d_s} = 1,45$$

$$H_b = 4,47 \text{ m} \quad (\text{bijlage 8})$$

b Goda :

$$d_s = 3,15 \text{ m}; d_b = 3,15 + 5 \cdot \frac{3,65}{15} = 4,37 \text{ m}$$

$$d_b/L_o = \frac{4,37}{189} = 0,023 \Rightarrow H_b/h_b = 1,05 \text{ voor}$$

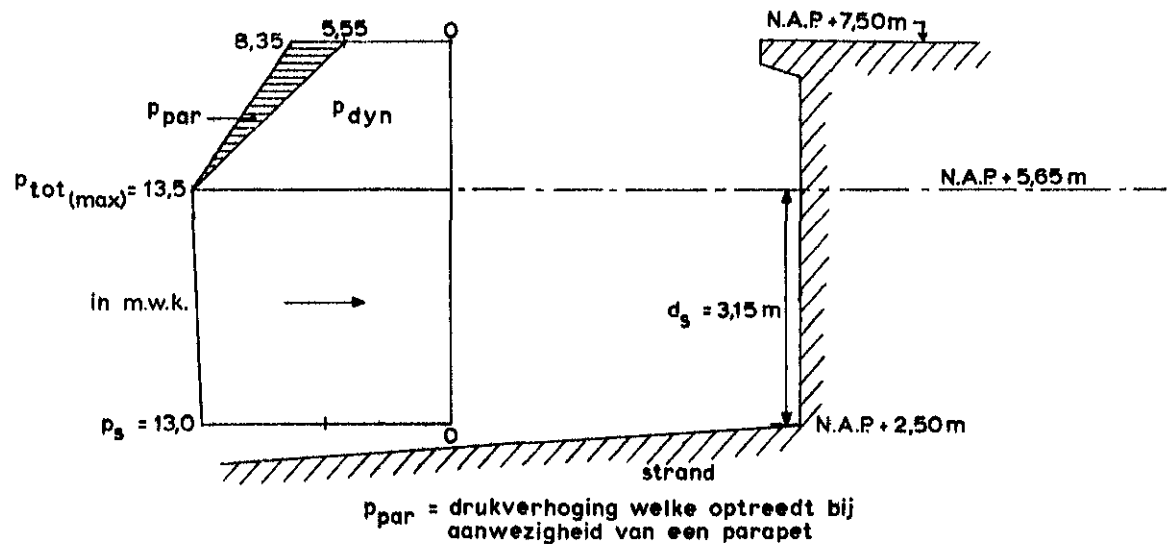
$$\text{bodempelling } 1 : 15 \Rightarrow H_b = 1,05 \cdot 4,37 = 4,59 \text{ m}$$

Dit leidt tot een ontwerpgolfhoogte $H_b = 4,5 \text{ m}$ ter plaatse van de dwarsdoorsnede 3 van de boulevards Bankert/Evertsen (bijlage 10).

- Met dit gegeven is aan de hand van vergelijkingen (24) en (25) een belastingsdiagram voor de keermuur op te stellen boven stormvloedpeil, zie figuur 7.

¹⁾ $H_{0,2\%}$ is een golfhoogte welke op dit waterstandsniveau in orde van grootte eens per $1\frac{1}{2}$ uur wordt overschreden.

. Figuur 7: Dwarsprofiel 3.



Voor wat betreft het belastingsdiagram beneden s.v.p. wordt uitgegaan van de formules gepresenteerd door Goda [3] en Plakida [4]. Ter plaatse van de teen van de constructie is de druk p_s :

$$p_s = \frac{p_{tot(max)}}{\cosh \frac{2\pi d_s}{L_b}} \quad [\text{m.w.k.}] \quad (28)$$

De drukverdeling tussen p_{max} en p_s verloopt lineair over de hoogte.

$$p_s = \frac{13,5}{\cosh \frac{2\pi \cdot 3,15}{L_b}} \quad [\text{m.w.k.}] \quad (29)$$

$$\frac{d_b}{L_o} = \frac{4,37}{189} = 0,0231 \Rightarrow \frac{d_b}{L_b} = 0,062 \quad (\text{tabel Shore Protection Manual})$$

$$\Rightarrow L_b = \frac{0,023}{0,062} \cdot 189 = 70 \text{ m}$$

$$p_s = \frac{13,5}{\cosh 0,2827} = \frac{13,5}{1,04} = 13,0 \text{ m.w.k.} \quad (30)$$

behoort bij: nota WWKZ nr: 81. V002
 datum: mei 1981
 bladnr: 20

De verticale druk op de parapet bedraagt

$$p_{\text{tot}} \approx 8,35 \text{ m.w.k.} \quad (31)$$

N.B. 1 m waterkolom $\approx 10^4 \text{ N/m}^2$

De tijd waarin deze piekbelasting optreedt is bij benadering

$$t_p = 0,2 \frac{H_b}{c} \quad [\text{s}] \quad (32)$$

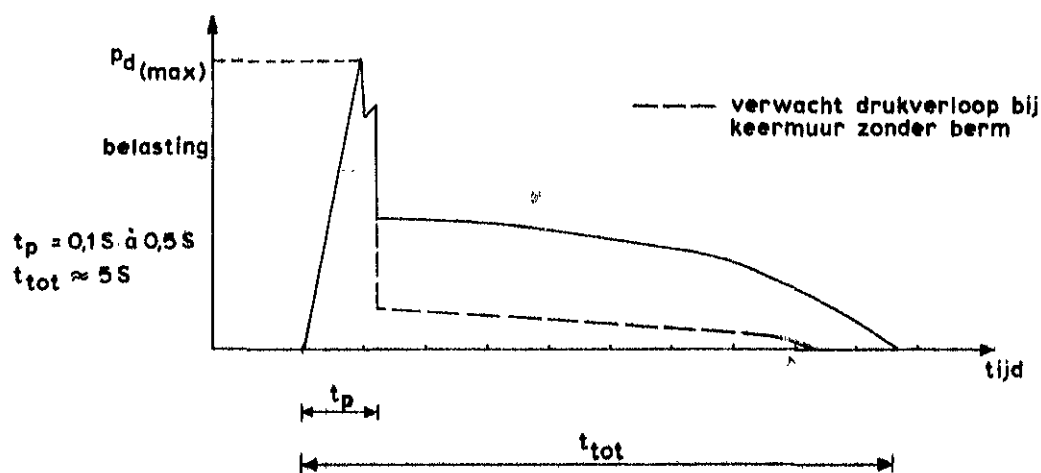
c = voortplantingssnelheid golf.

Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de lucht uiteindelijk kan ontsnappen (Lundgren lit [10]).

$$t_p = \frac{0,2 \cdot 4,5}{\sqrt{2gH_b}} = 0,1 \quad [\text{s}] \quad (33)$$

Het berekeningsresultaat uit vergelijking (33) komt in orde van grootte overeen met de in het model gemeten piekperiode (vertaald naar prototype-waarden). Bij de modelproef, waarin superstormcondities ter plaatse van de Boulevard de Ruyter werden gesimuleerd, vertoonde de belasting op de drukdozen in het algemeen het in figuur 8 geschetste beeld. De piekbelasting wordt veroorzaakt door de direct op de keermuur brekende watermassa, terwijl het

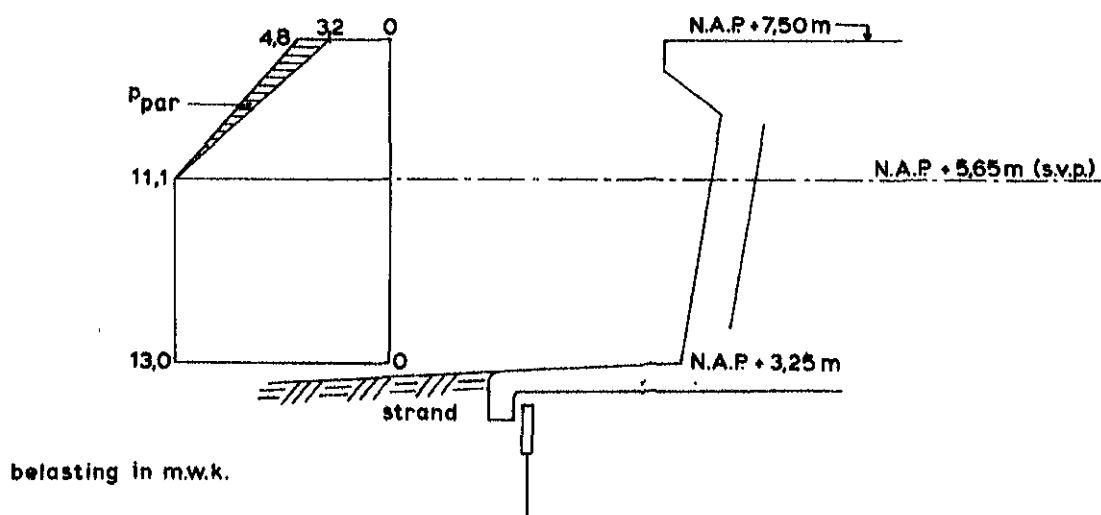
Figuur 8



behoort bij: nota WWKZ nr. 81.V002
 datum: mei 1981
 bladnr: 21

belastingverloop ná het optreden van de piekbelasting veroorzaakt wordt door de watermassa welke na oplopen over de berm tegen de keermuur slaat. De situatie ter plaatse van de badcabine -zie dwarsprofiel 4 van bijlage 10- is met betrekking tot de belasting wat gunstiger. Uitgaande van een strandligging op N.A.P. +3,25 m ter plaatse van de voet van de constructie zal de ontwerpgolfhoogte $H_b = 3,70$ m bedragen. Dit leidt tot het belastingsdiagram van dwarsprofiel 4 zoals weergegeven in figuur 9.

Figuur 9: Dwarsprofiel 4.



Daar de parapet -zoals getekend op het ontwerp in bijlage 10- van een wat forsere afmeting is dan bij de overige dwarsprofielen lijkt het wenselijk bij dimensioneren rekening te houden met een wat hogere belasting dan weergegeven in figuur 9.

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 22

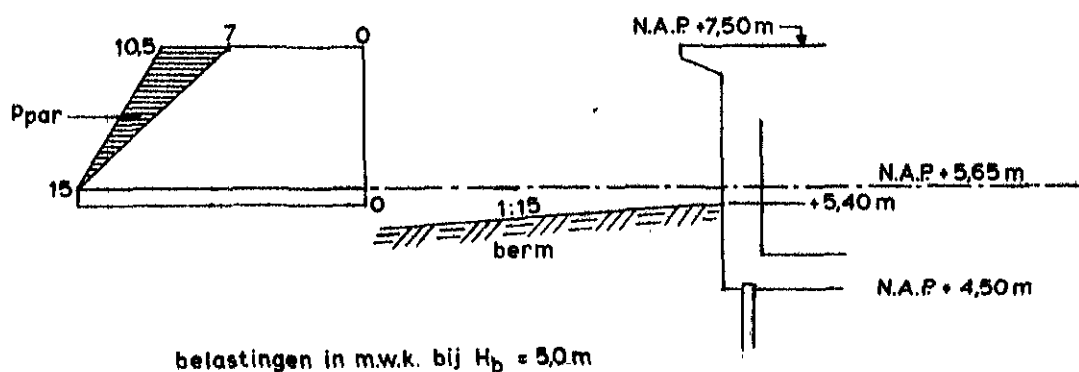
3.2 Keermuur met berm.

De betreffende dwarsprofielen zijn de nrs. 1, 2, 5, 6 en 7 in bijlage 10. Het betreft hier een samengestelde constructie en daarom is het niet eenvoudig om de ontwerpgolfhoogte te bepalen. Bij afwezigheid van de berm zou volgens de berekeningsmethode zoals in par. 3.1 is gebruikt, de ontwerpgolfhoogte $H_b = 4,50$ m bedragen.

Uit de registratie van golfhoogtemeter 3 in modelserie M 1366 (voor de situatie zie bijlage 2) bleek dat bij aanwezigheid van de berm de $H_{0,2\%}$ ongeveer 10% hoger was dan de geregistreerde $H_{0,2\%}$ zonder voorgelegen berm.

Voor de ontwerpgolfhoogte bij aanwezigheid van een berm wordt derhalve $H_b^* = 5,0$ m aangehouden. De belastingdiagrammen van de piekbelasting voor de diverse dwarsprofielen staan getekend in de figuren 10, 11, 12 en 13.

Figuur 10: Dwarsprofielen 1 en 2.



*) 10% hogere ontwerpgolf dan de ontwerpgolf bij niet aanwezig zijn van de berm.

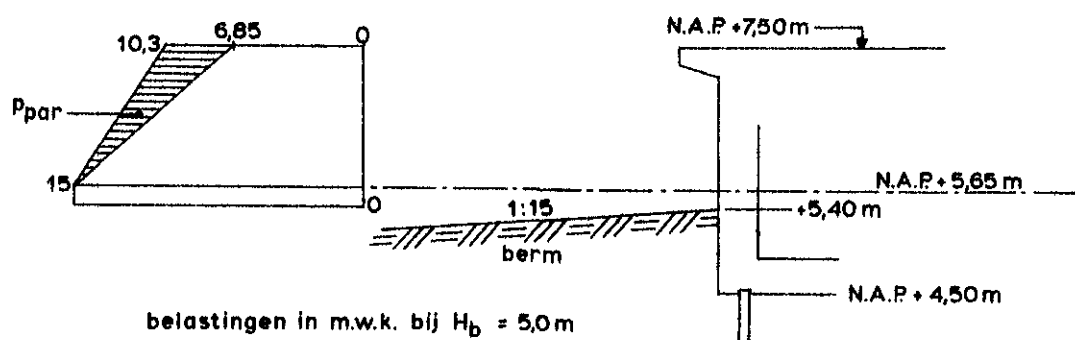
behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

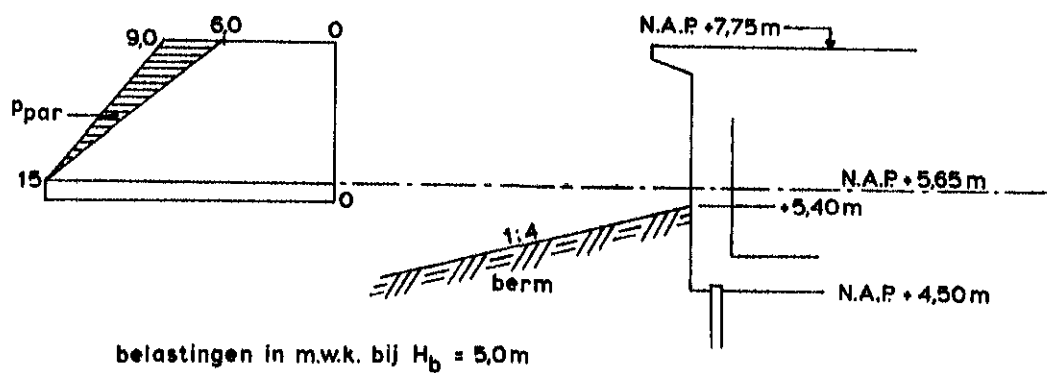
datum: mei 1981

bladnr: 23

. Figuur 11: Dwarsprofiel 5.



Figuur 12: Dwarsprofiel 6.



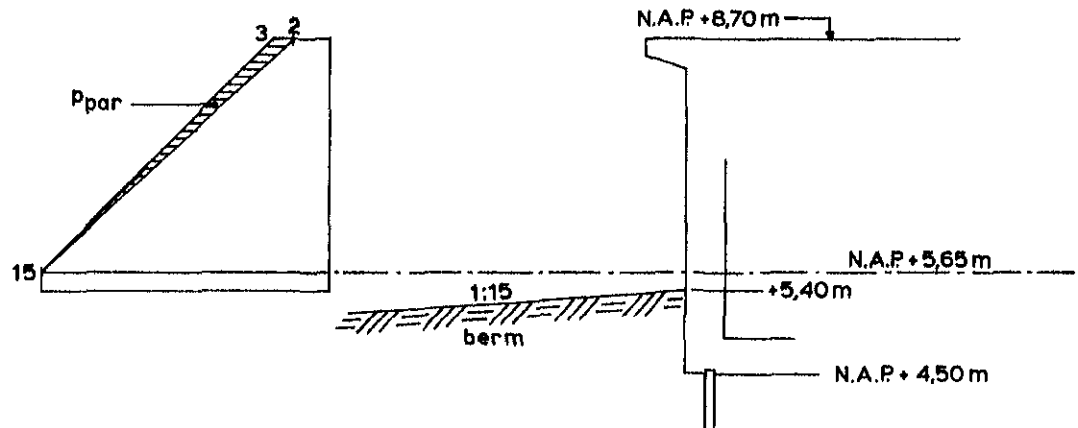
behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 24

. Figuur 13: Dwarsprofiel 7.



In welke mate er overdracht van de golfbelasting via de berm naar de keermuur plaatsvindt, is onduidelijk. Aanbevolen wordt om de maximale belasting van 15 m.w.k. in rekening te brengen vanaf het niveau van N.A.P. +5,65 m tot aan de onderkant van de keermuur. Verwacht mag worden dat de belasting welke optreedt ná de piekbelasting hoger zal zijn dan bij een keermuur zonder voorgelegen berm. Dit vindt haar oorzaak in de over de berm oplopende watermassa, welke vervolgens slaat tegen de keermuur. Zie hiertoe figuur 8 op blz 20.

Bij voorgaande berekeningen zijn mogelijke golfdrukken aan de onderzijde van de constructie als niet relevant beschouwd, vanwege de veronderstelde ondoorlatendheid van het verticale scherm, aansluitend op de constructie.

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 25

4. Samenvatting en discussie.

In het voorgaande zijn de belastingdiagrammen van de piekbelasting op de keermuurconstructies van de boulevards Bankert en Evertsen gegeven. De genoemde waarden zijn niet van een absoluut karakter. Op grond van aannamen en beschikbaarheid van gegevens kan dit ook niet. Men denke hierbij aan de volgende aspecten:

- schaaleardeffecten en interpretatiefouten
- het stochastisch karakter in de grootte van de golfbelasting bij constante brekerhoogte
- het waterstandsverloop in relatie tot de overschrijdingsfrequentie van de ontwerp golfhoogte
- het mogelijk optreden van een buistoot
- de aanname van loodrechte golfaanval.

Bij het dimensioneren van de keermuur dient men zich er daarom van bewust te zijn, dat de in deze notitie berekende golfbelasting een orde van grootte aangeeft. Enerzijds lijkt het daarom aan te bevelen om niet "te krap" te dimensioneren, anderzijds bedenke men dat een dergelijke keringsconstructie in het algemeen beter bestand is tegen een piekbelasting dan tegen een -in grootte gelijke- langdurige belasting. Resumerend wordt in tabel 4 een overzicht gegeven van de berekende piekbelastingen.

Tabel 4:

dwarsprofiel	p_{\max} op s.v.p.	p t.p.v. de voet	p bovenkant
1	15	15	$10\frac{1}{2}$
2	15	15	$10\frac{1}{2}$
3	$13\frac{1}{2}$	$13\frac{1}{2}$	8,5
4	11	11	5
5	15	15	10,5
6	15	15	9
7	15	15	3
Afgeronde waarden in m.w.k. ($\approx 10^4 \text{N/m}^2$)			

behoort bij: nota WWKZ nr: 81.V002
datum: mei 1981
bladnr: 26

Literatuur

- [1] Waterloopkundig Laboratorium te Delft.
 "Voorzieningen aan de zeezijde van de bebouwing Boulevard
 Vlissingen."
 Modelonderzoek M 1161 april 1973.

- [2] Waterloopkundig Laboratorium te Delft.
 "Boulevard de Ruyter - Golfbelasting en Golfoverslag."
 Modelonderzoek M 1366 februari 1976.

- [3] Plakida, M.E.
 "Pressure of Waves against Vertical Walls."
 Proceedings Twelfth Coastal Engineering Conference 1970.
 Vol III, Hst. 89.

- [4] Goda, Y.
 "New Pressure formulae for composite breakwaters."
 Proceedings Fourteenth Coastal Engineering Conference 1974.
 Vol III, Hst. 100.

- [5] Bagnold, R.A.
 "Interim Report on Wave Pressure Research."
 Journal of the Institution of Civil Engineers.
 Vol 12, 1938/1939.

- [6] Hayashi, T. en Hattori, T.
 "Pressure of the breaker against a vertical wall."
 Coastal Engineering in Japan.
 Vol 1, 1958.

- [7] Führböter, A.
 "Der Drückschlag durch Brecher auf Deichböschungen."
 Mitteilungen des Franzius-Institut-Hannover.
 Heft 28, 1966.

behoort bij: nota

WWKZ nr: 81.V002

datum: mei 1981

bladnr: 27

- [8] Iversen, H.W.
"Laboratory Study of Breakers."
Proceedings of the NBS Symposium on Gravity Waves.
June 1951.
- [9] U.S. Army Coastal Engineering Research Centre.
"Shore Protection Manual."
Vol II, Hst. 7, 1977.
- [10] Lundgren, H.
Wave shock forces: An analysis of deformations and
forces in the wave and in the foundation.
Reprints Symposium Research on Wave Action.
Technische Hogeschool Delft.
Delft, maart 1969.

Lijst van symbolen

$\alpha, \beta, \lambda, \gamma$	coëfficiënten	
c	fasesnelheid	[m/s]
d_s	waterdiepte t.p.v. de teen van de constructie	[m]
g	zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
H_b	golfhoogte brekende golf	[m]
$H_{1/3}$	significante golfhoogte	[m]
$H_{n\%}$	golfhoogte welke door n% van het aantal golven in het golfveld wordt overschreden	[m]
d_b	waterdiepte t.p.v. brekende golf	[m]
L_o	golflengte op diepwater	[m]
L_b	golflengte op moment van breken	[m]
p_d	dynamische belasting	[mwk/m ²]
p_{stat}	statische belasting	[mwk/m ²]
p_{tot}	dynamische belasting + statische belasting	[mwk/m ²]
p_{piek}	dynamische piekbelasting	[mwk/m ²]
p_s	druk t.p.v. teen van de constructie	[mwk/m ²]
p_{max}	maximaal optredende golfbelasting op de keermuur	[mwk/m ²]
ρ	dichtheid van water	[kg/m ³]
σ	standaardafwijking	
T	golfperiode	[s]
t_p	tijdsduur piekbelasting	[s]
v	snelheid waterdeeltjes	[m/s]
y_b	hoogteverschil tussen golfkam en bodem op moment van breken	[m]
z	aanduiding verticale richting-as	[m]

behoort bij: nota

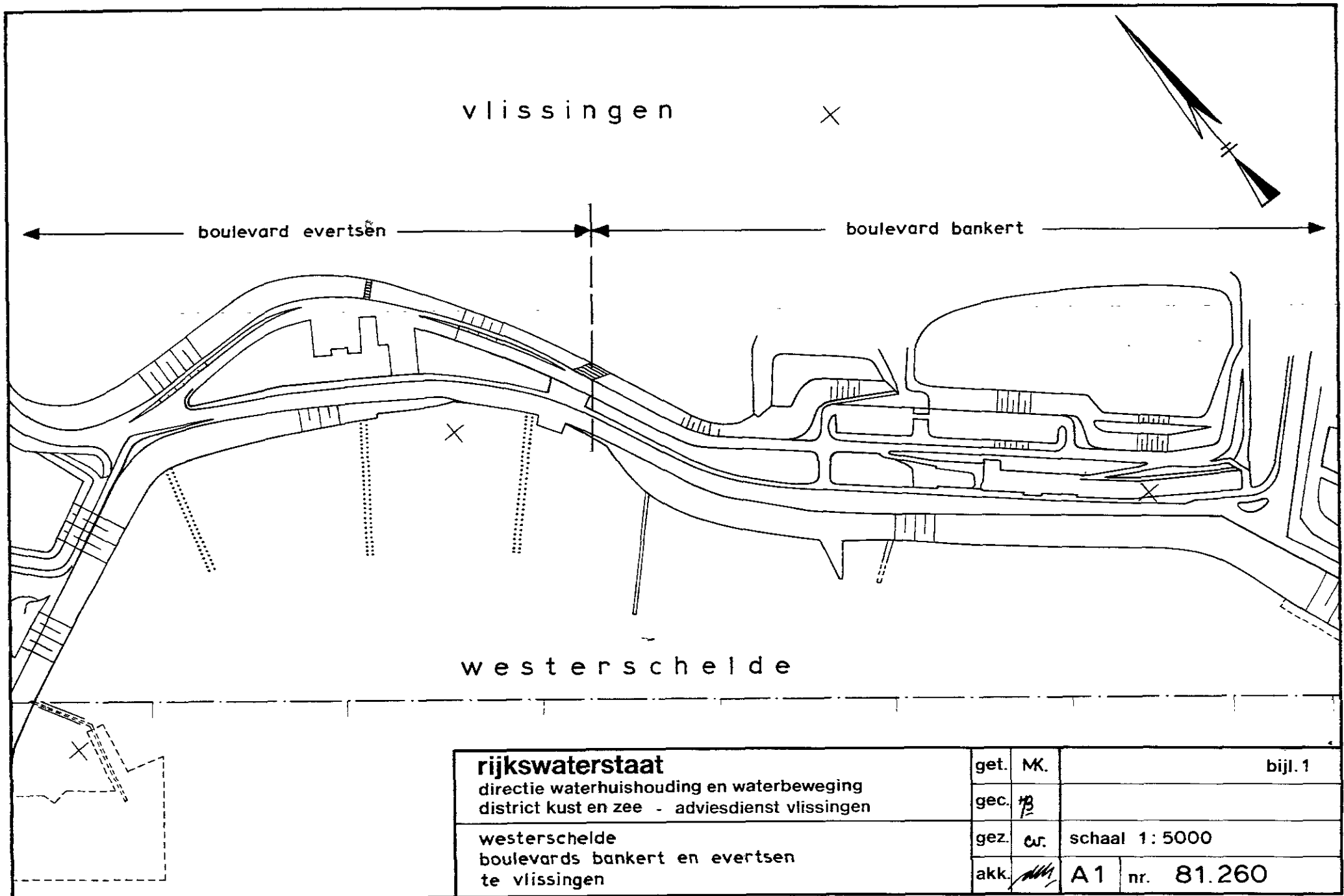
WWKZ nr: 81. V002

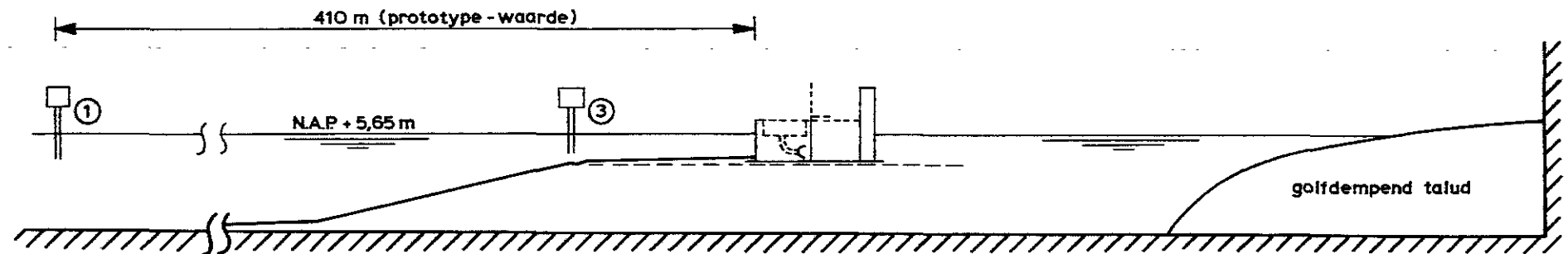
datum: mei 1981

bladnr: 29

Lijst van bijlagen

Bijlage nr.	Omschrijving	Tekening nr.
1	Westerschelde - Boulevard Bankert en Evertsen te Vlissingen.	81.260
2	Modelopstelling in 2 m brede windgoot Boulevard de Ruyter.	81.261
3	Kummulatieve golfhoogteverdeling februari 1953 modelproef 10: meting belasting bebouwing.	81.262
4	Belasting muur en borstwering. Konditie februari 1953, geen berm.	81.263
5	Relatie tussen de dimensieloze grootheden $p_d/\rho g H_b$ en z/H_b verkregen uit drukdoosregistraties in het model.	81.264
6	Relatie tussen de dimensieloze grootheden $p_{tot}/\rho g H_b$ en z/H_b verkregen uit drukdoosregistraties in het model.	81.265
7	Toetsing formule voor golfbelasting aan de drukdoosregistraties in het model.	81.266
8	Dimensionless design breaker height versus relative depth at structure.	81.267
9	Diagram of Limiting breaker height.	81.268
10	Verbetering zeewering te Vlissingen. Boulevards Bankert en Evertsen. Tekening nr. 131B7 401 van het Waterschap Walcheren.	





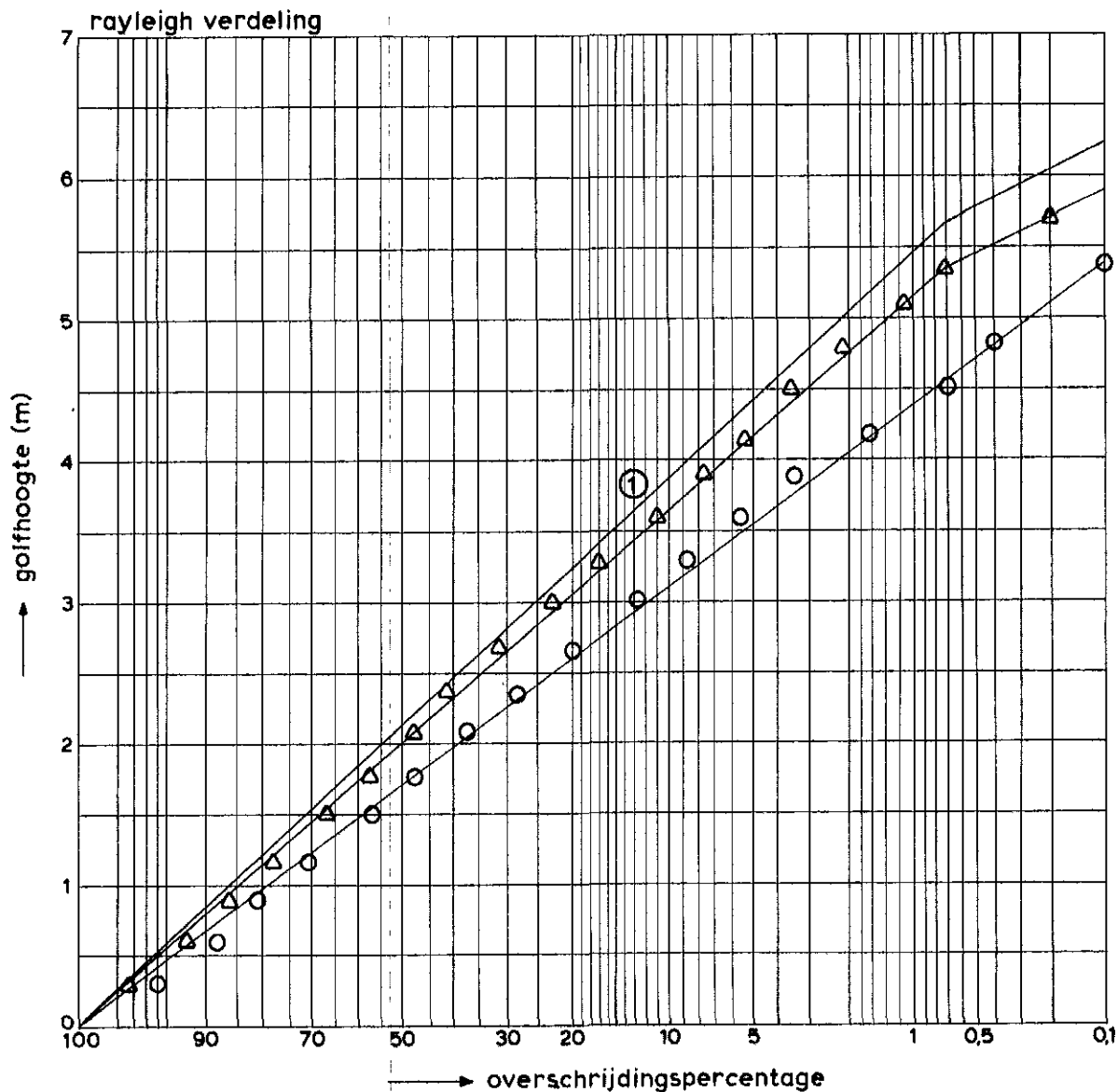
doorsnede bij situatie stormvloed 1953

① golfhoogtemeter

③ golfhoogtemeter

overgenomen uit rapport M1366 van het waterloopkundig laboratorium

rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliissingen	get.	MK.	bijl. 2	
	gec.	<i>B</i>		
modelopstelling in 2m brede windgoot boulevard de ruyter	gez.	cr.	schaal 1:50	
	akk.	<i>[signature]</i>	A1	nr. 81.261



○ golfhoogtemeter 1
 △ golfhoogtemeter 3 geen berm
 w.s. N.A.P. 4,65 m
 $H_s : 3,00 \text{ m}$
 $T_p : 9,5 \text{ s}$

① geschatte rayleigh verdeling
 bij $H_s = 3,66 \text{ m}$ t.p.v. golfhoogtemeting 3
 modelproef 8 : meting belasting op
 de keermuur

overgenomen uit rapport M1366 van het waterloopkundig laboratorium

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

cumulatieve golfhoogteverdeling februari 1953
 modelproef 10 : meting belasting bebouwing

get. MK.

bijl. 3

gec. *[handwritten signature]*

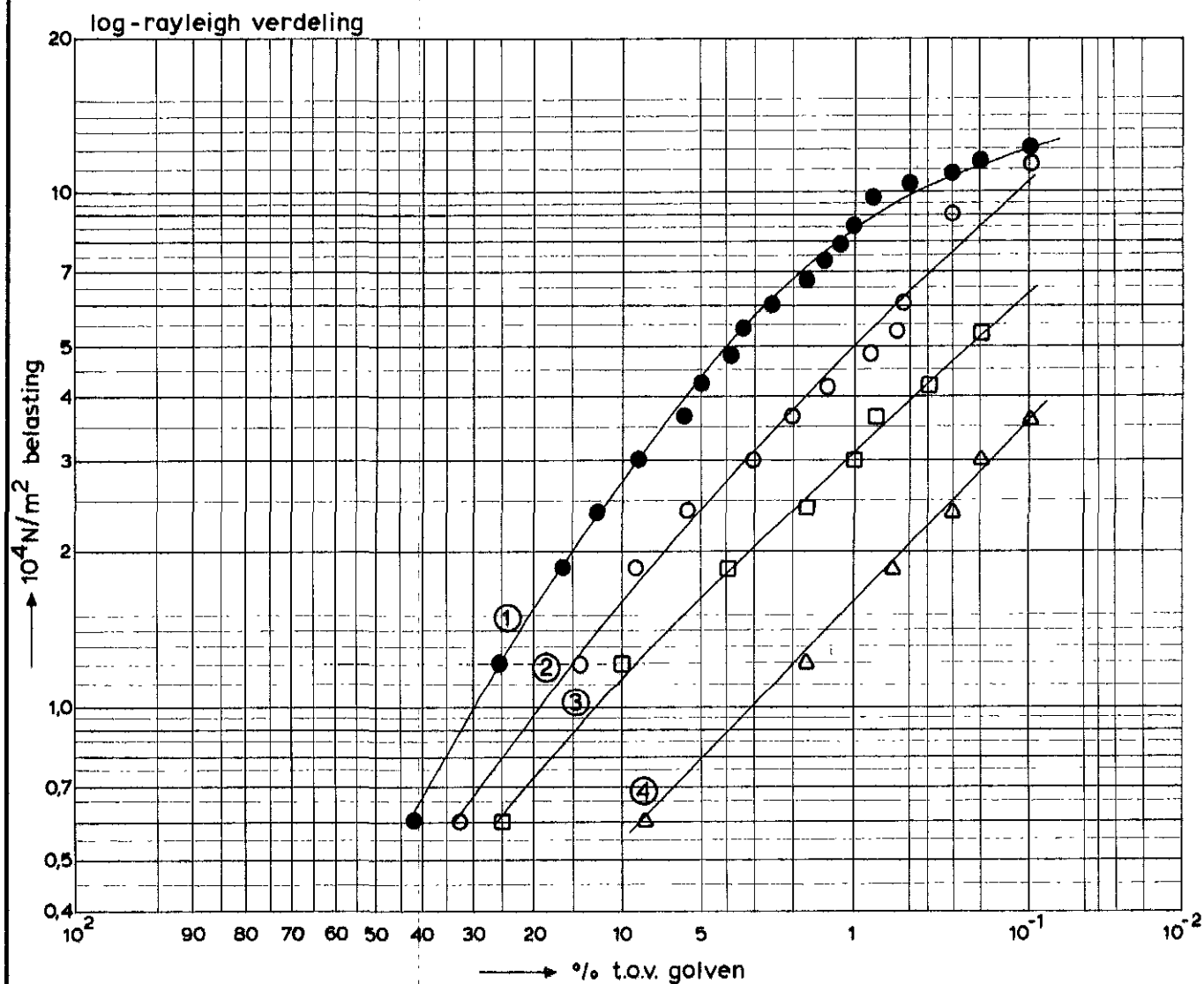
gez. *[handwritten signature]*

schaal

akk. *[handwritten signature]*

A 1

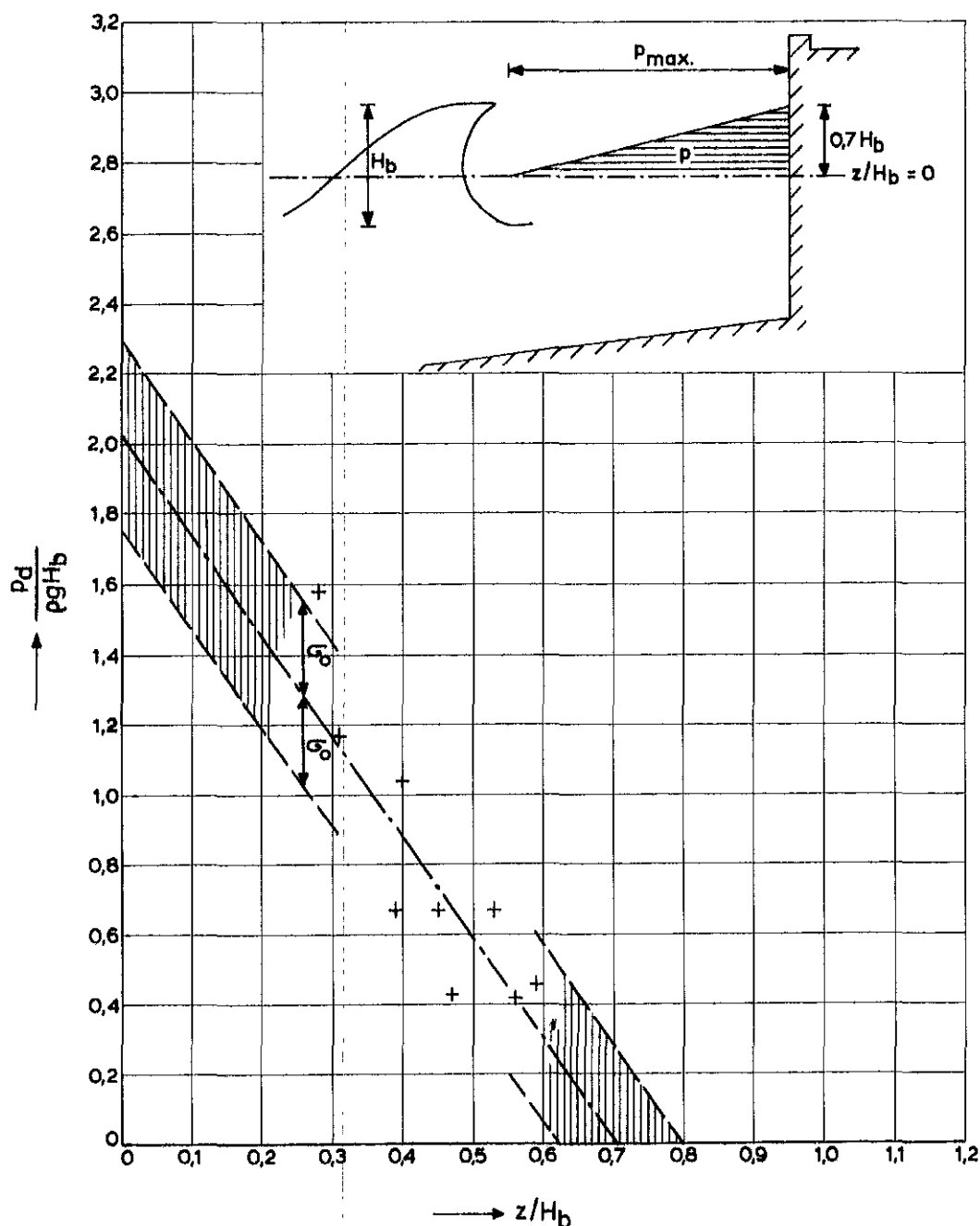
nr. 81.262



overgenomen uit rapport M1366 van het waterloopkundig laboratorium

rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliссingen	get.	MK.	bijl. 4	
	gec.	<i>W.</i>		
	gez.	cr.	schaal	
	akk.	<i>W.</i>	A 1	nr. 81.263

belasting muur en verticale borstwering
konditie: februari 1953, geen berm



σ_0 = standaardafwijking
 P_d = dynamische piekbelasting
 ρ = soortelijke massa zeewater
 g = zwaartekrachtsversnelling
 H_b = hoogte brekende golf
 z = hoogte boven het maximum stormvloedpeil

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

relatie tussen de dimensieloze grootheden
 $P_d / \rho g H_b$ en z/H_b verkregen uit drukdoos-
 registraties in het model

get. MK.

bijl. 5

gec. $\frac{1}{2}$

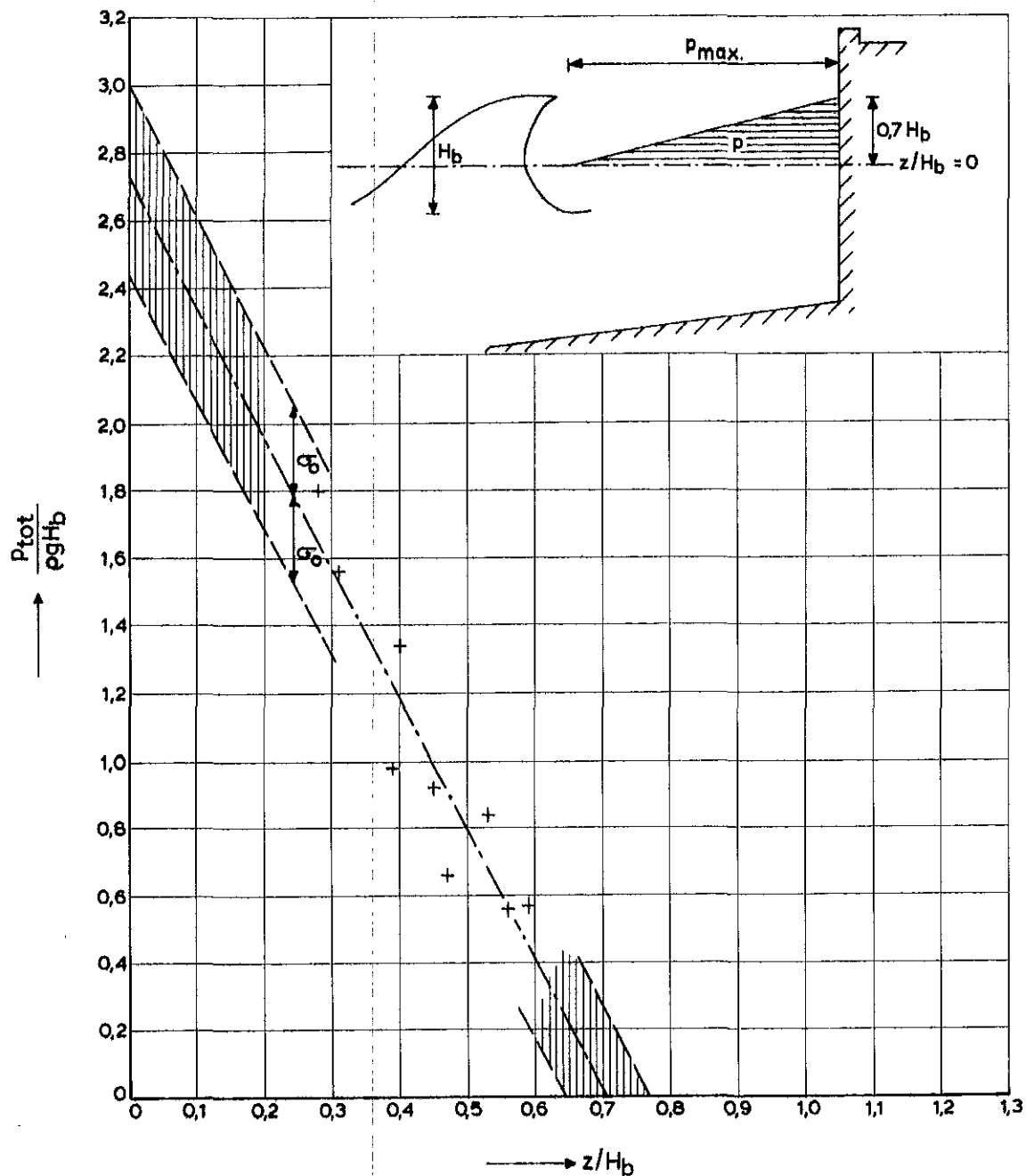
gez. w.

schaal

akk. $\frac{1}{2}$

A1

nr. 81.264


rijkswaterstaat

 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliissingen

 relatie tussen de dimensieloze grootheden
 $P_{tot} / \rho g H_b$ en z / H_b verkregen uit drukdoos-
 registraties in het model

get. MK.

 gec. *MB*

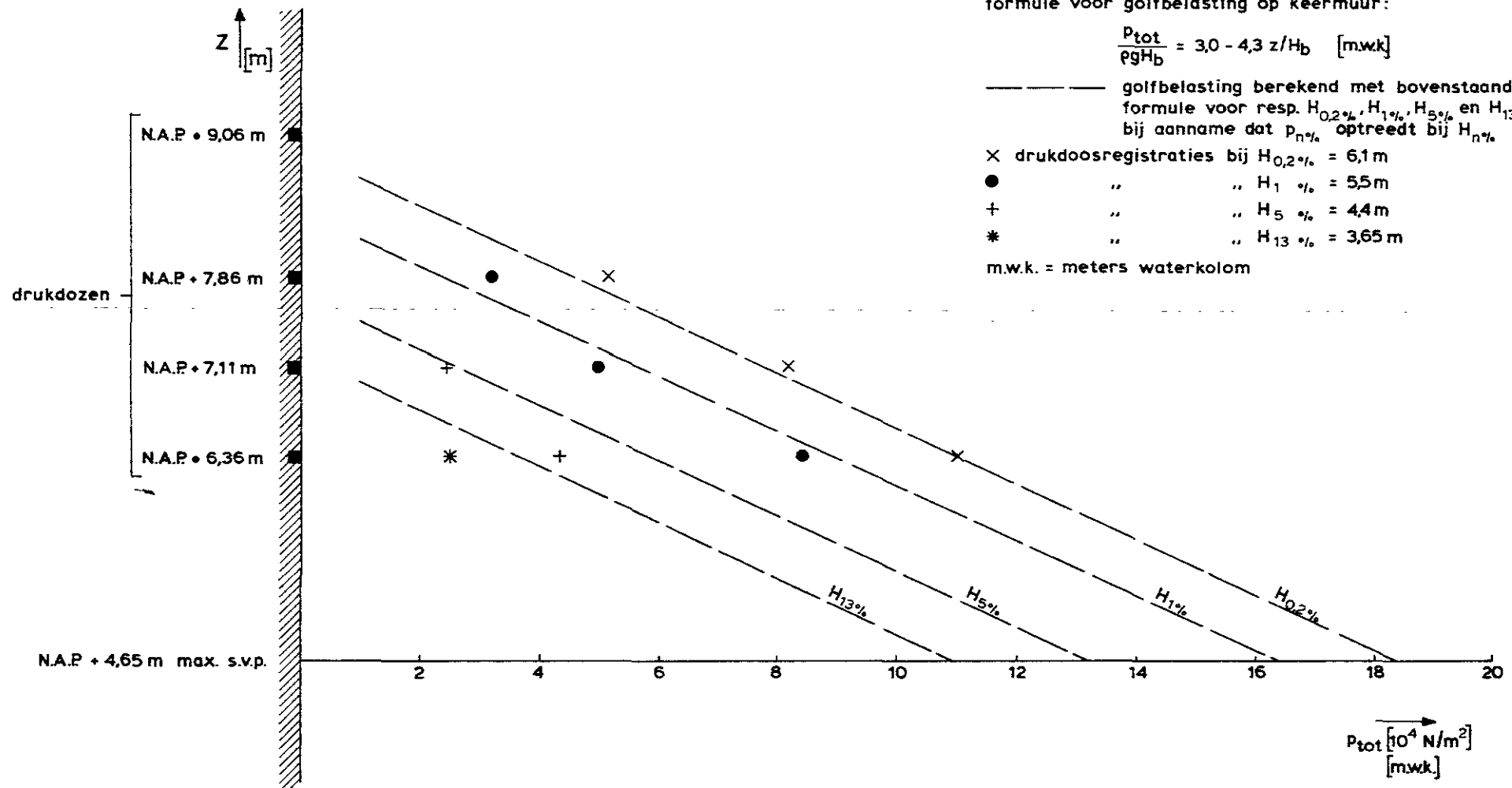
gez. cr.

 akk. *MM*

bijl. 6

schaal

A1 nr. 81.265



$H_{n\%}$ = golfhoogte welke door $n\%$ van het aantal golven wordt overschreden

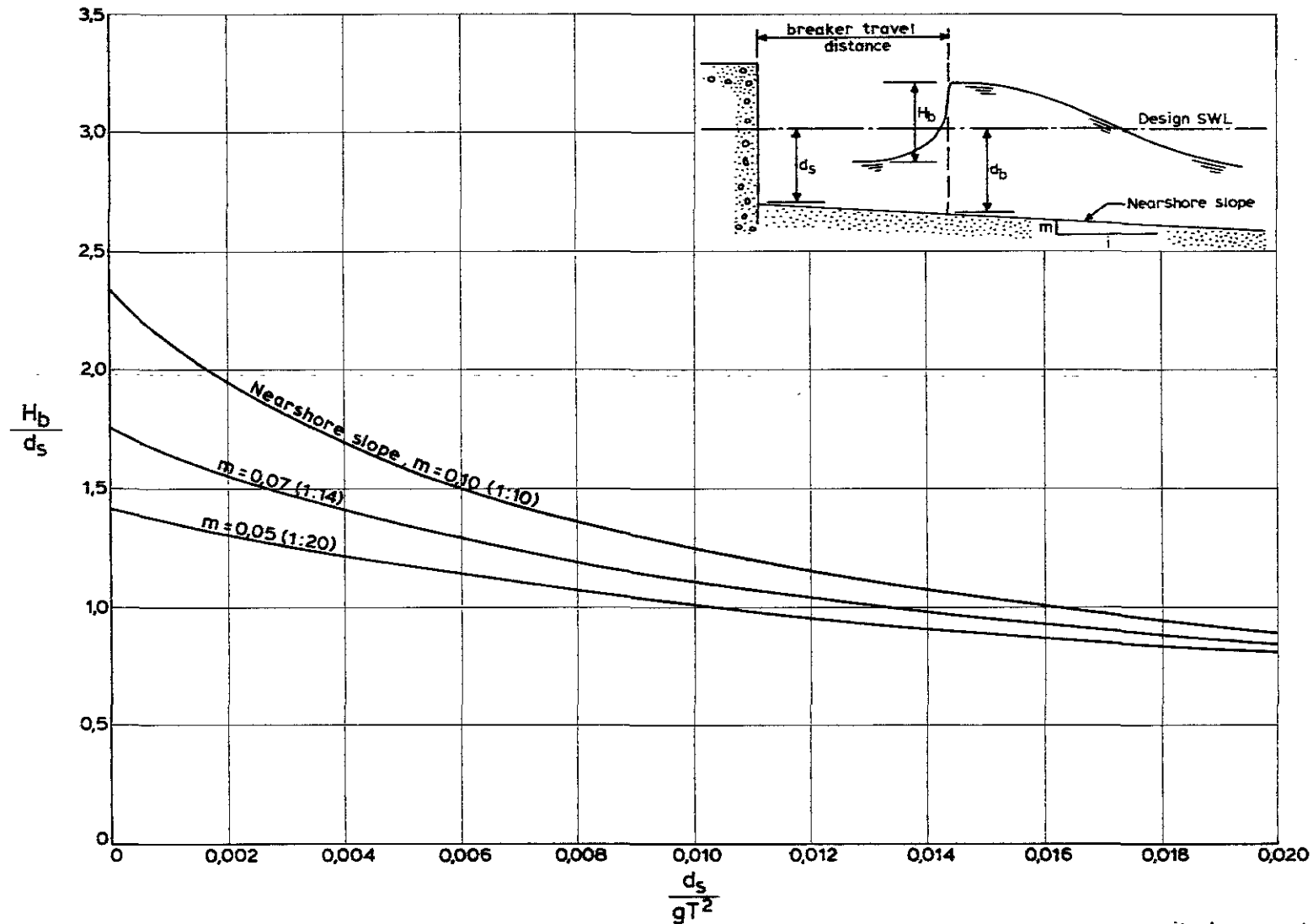
$p_{n\%}$ = belasting welke in $\%$ t.o.v. het aantal golven wordt overschreden

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

toetsing formule voor golfbelasting aan de
drukdoosregistraties in het model

get.	MK.	bijl. 7	
gec.	<i>fb</i>		
gez.	ew.	schaal	
akk.	<i>all</i>	A1	nr. 81.266



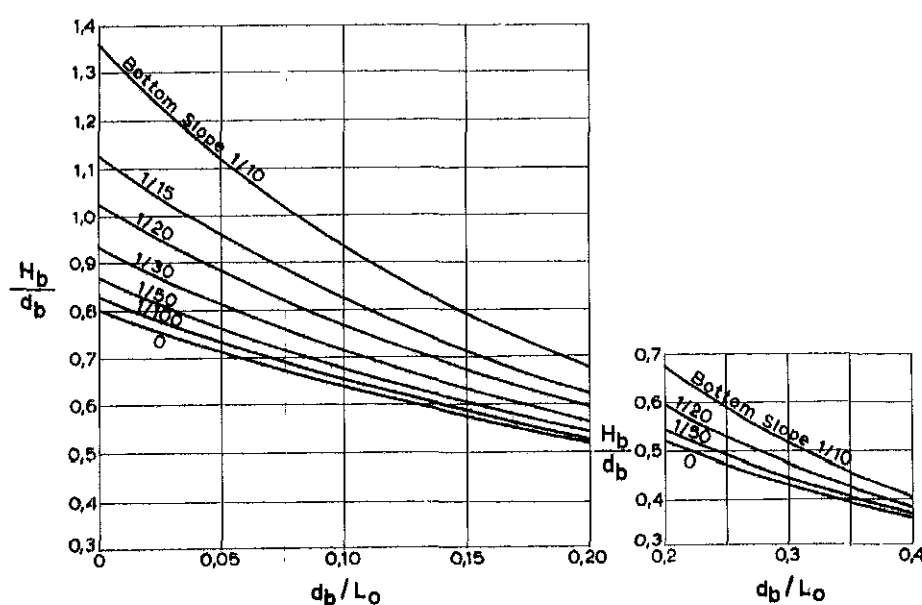
overgenomen uit shore protection manual, lit [9]

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee - adviesdienst vliissingen

dimensionless design breaker height
versus relative depth at structure

get.	MK	bijl. 8	
gec.	<i>[signature]</i>		
gez.	W.	schaal	
akk.	<i>[signature]</i>	A 1	nr. 81.267



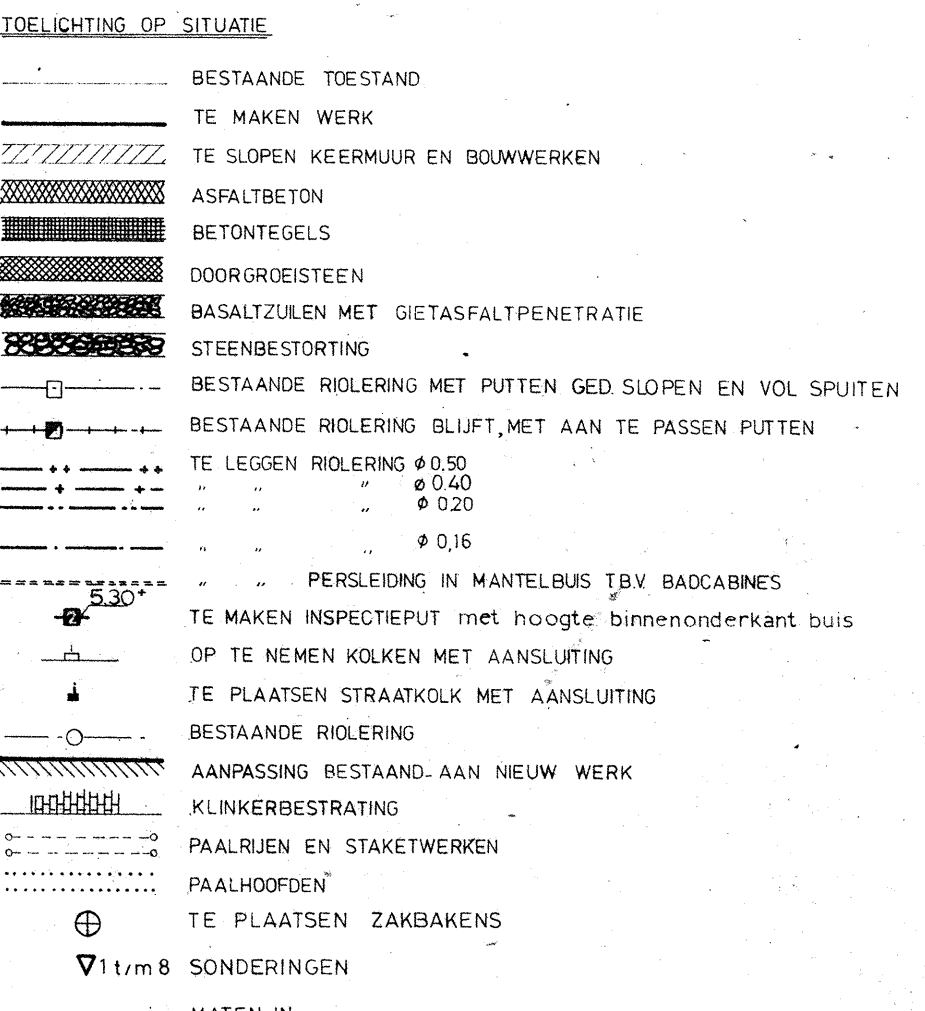
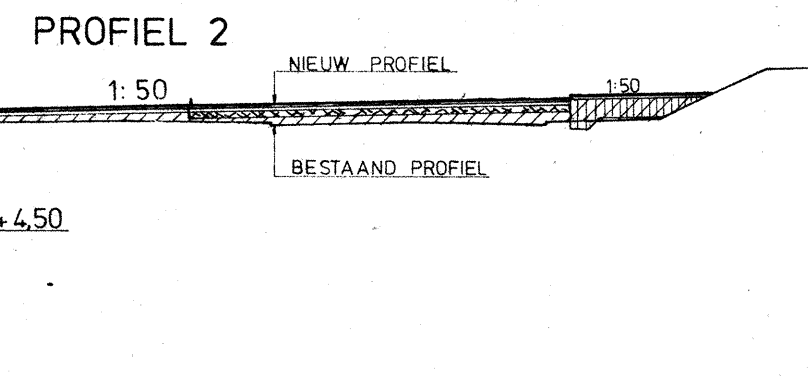
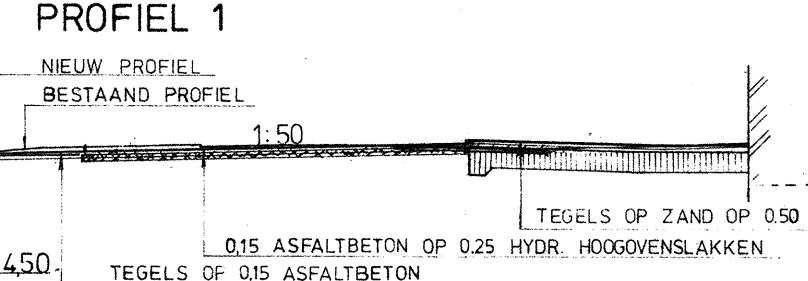
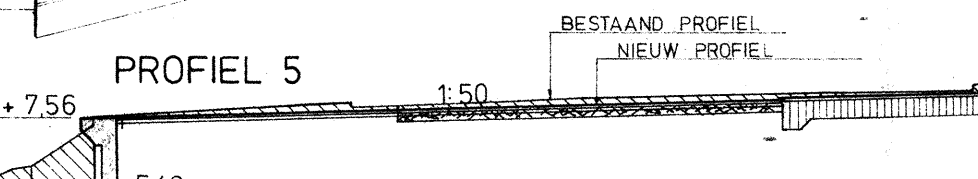
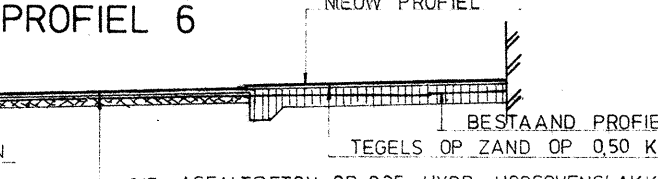
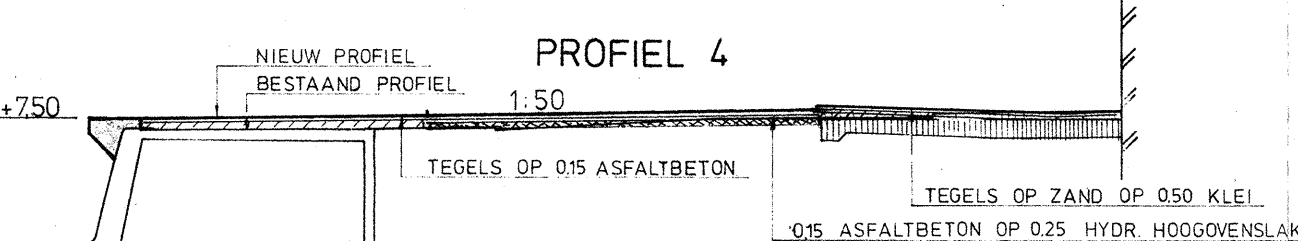
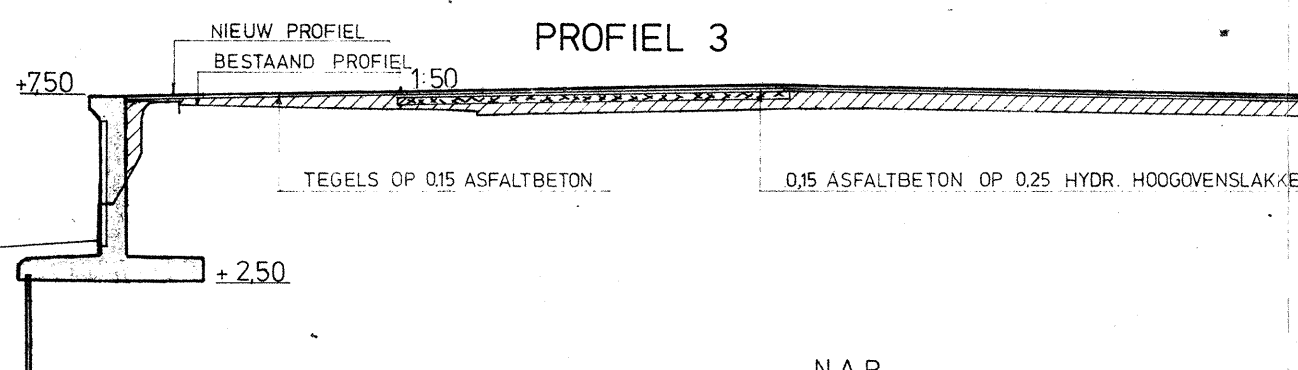
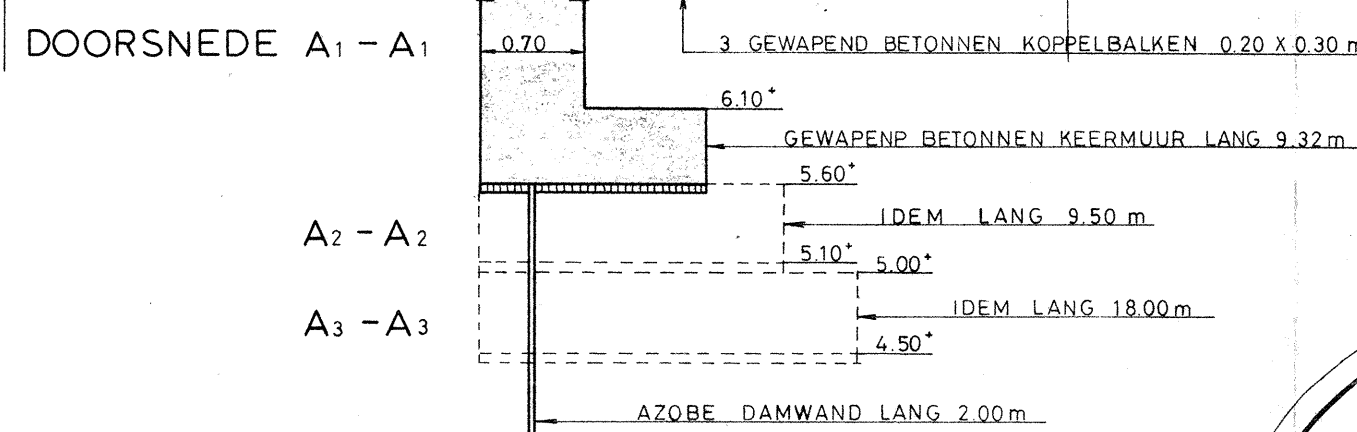
H_b = hoogte brekende golf

d_b = waterdiepte t.p.v. de golf op moment van breken

L_0 = golflengte op diepwater

overgenomen uit lit [4], "new pressure formulae for composite breakwaters"

rijkswaterstaat directie waterhuishouding en waterbeweging district kust en zee - adviesdienst vliissingen	get.	MK.	bijl. 9	
	gec.	<i>W</i>		
diagram of limiting breaker height	gez.	cr.	schaal	
	akk.	<i>W</i>	A 1	nr. 81.268



SCHAAK: 1.000 1.200 1.50		DATUM:		WERKEN VOORLAARS																					
GETEKEND: <i>Bladde</i>		<i>19-10-11</i>		PROFIELEN VOLDOEN AAN NORM.																					
GECONTROLEERD:				OVERSLAG C: <i>2,10</i>																					
REIZEN: <i>hls</i>		<i>hls</i>		C: WILZINGEN KEERWAARDIG																					
VERBETERING ZEEWERING TE VLISSENGEN BOULEVARDS BARKERT EN EVERTSEN																									
WATERSCHAP WALCHEREN WESTWATERING				<table><tr><td>FORMAAT</td><td colspan="4">BUIJLAGE 10</td></tr><tr><td>GEWISTIGD</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr><tr><td>NOEDIG</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>ED.101</td><td>D</td><td>D</td><td>D</td><td>D</td></tr></table>		FORMAAT	BUIJLAGE 10				GEWISTIGD	A	B	C	D	NOEDIG					ED.101	D	D	D	D
FORMAAT	BUIJLAGE 10																								
GEWISTIGD	A	B	C	D																					
NOEDIG																									
ED.101	D	D	D	D																					