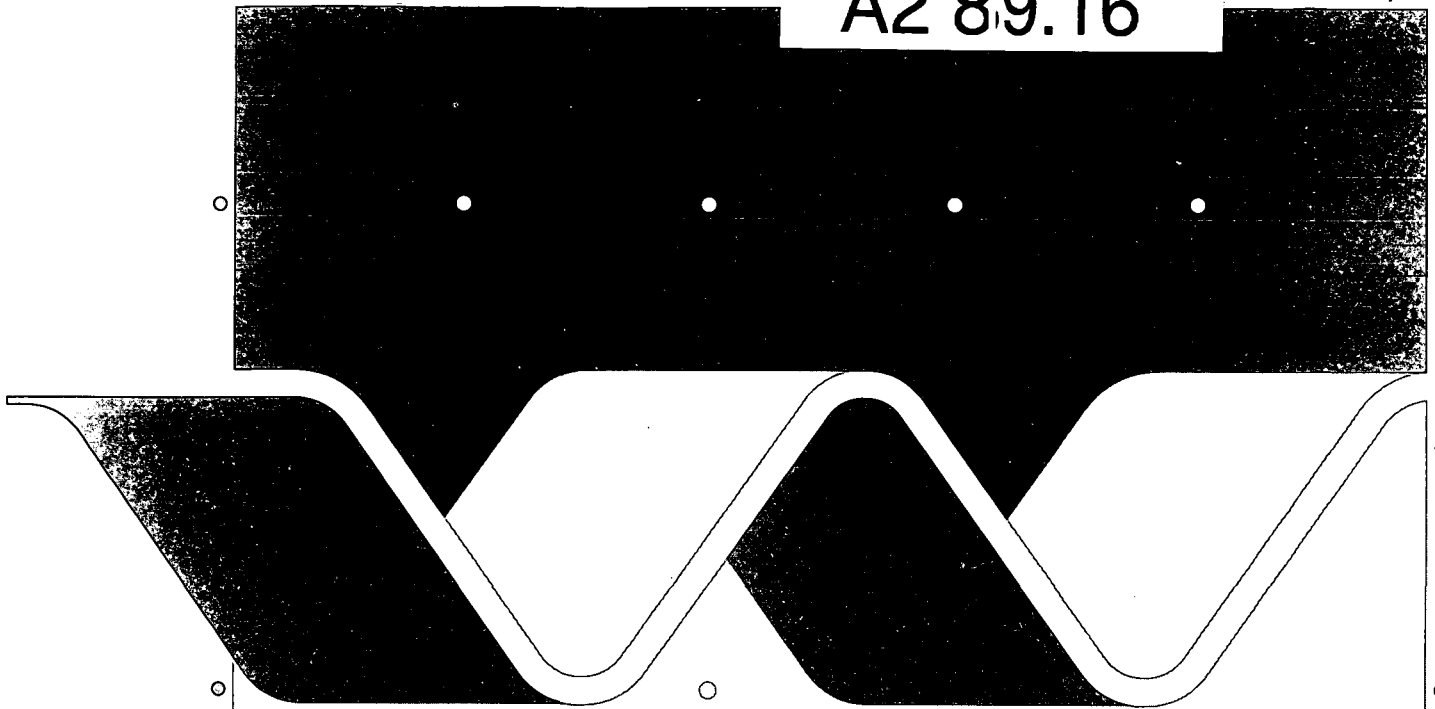




opdrachtgever:

Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

taluds van losgestorte materialen

golfoploop op statisch stabiele stortsteen taluds onder golfaanval

deel III, verslag modelonderzoek

december 1989

taluds van losgestorte materialen

golfoploop op statisch stabiele stortsteen taluds onder golfaanval

C.J.M. Stam



waterloopkundig laboratorium | WL

SAMENVATTING

In dit verslag worden oplooppmetingen gepresenteerd en geanalyseerd welke zijn verkregen tijdens een uitvoerig fundamenteel onderzoek naar de statische stabiliteit van stortsteen taluds onder golfaanval.

Van ongeveer 250 stabiliteitsproeven zijn oplooppmetingen verzameld. De analyse van deze proeven heeft geleid tot relaties waarmee enige karakteristieke oplooppniveaus en de oploopverdeling benaderd kunnen worden. Deze empirische relaties worden beschreven aan de hand van dimensieloze parameters, welke zijn afgeleid van in het onderzoek gevarieerde grootheden.

De oploophoogte is gerelateerd aan de significante golfhoogte, dit is de voor het verschijnsel oploop belangrijkste grootheid. Deze relatieve oploophoogte bleek in het onderzoek beïnvloed te worden door de volgende dimensieloze parameters:

- golfsteilheid (s_m)
- taludhelling ($\cot\alpha$)
- doorlatendheid van de konstruktie (P)
- spektrumvorm (κ)
- relatieve waterdiepte (h/H_s)

De golfsteilheid, de taludhelling en de doorlatendheid van de konstruktie zijn in een dermate breed gebied onderzocht dat zij in de empirische relaties zijn verwerkt. In paragraaf 1.3 wordt echter nog de aanbeveling gedaan nader onderzoek te doen naar de oploop op zeer steile taluds (steiler dan 1:2). Er zijn te weinig gegevens voorhanden om de veranderingen in het gedrag van de oploop, die zich lijkt te volstrekken bij hoge waarden van de brekerparameter, te beschrijven.

De invloed van de spektrumvorm is onderzocht voor één type konstruktie. De resultaten hiervan worden alleen besproken. De invloed van de relatieve waterdiepte wordt in zoverre meegenomen dat een globale ondergrens wordt aangegeven waarvoor de relaties bruikbaar zijn. Beneden deze grens beïnvloedt de geringe waterdiepte de golfhoogteverdeling zodanig dat grote afwijkingen in de oploopverdeling gaan optreden.

INHOUD

SAMENVATTING

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
1.1 Opdracht en verantwoording.....	1
1.2 Doelstelling.....	2
1.3 Konklusies en aanbevelingen.....	3
1.4 Samenvatting van de relaties voor de golfoploop.....	5
2. <u>Literatuur overzicht</u>	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 Golfoploop onder regelmatige golfaanval.....	8
2.3 Golfoploop onder onregelmatige golfaanval.....	11
2.3.1 Algemeen.....	11
2.3.2 Resultaten van de equivalentie hypothese.....	12
2.3.3 Experimentele resultaten.....	15
2.3.3.1 Gladde ondoorlatende taluds.....	15
2.3.3.2 Ruwe doorlatende taluds.....	17
2.4 Basisgegevens voor het onderzoek.....	19
3. <u>Opzet van het onderzoek</u>	21
3.1 Proevenprogramma.....	21
3.2 Beschrijving faciliteiten en model.....	21
3.3 Oploopmeting.....	23
4. <u>Golfoploop op stortsteen taluds</u>	25
4.1 Voornaamste grootheden.....	25
4.2 Golfoploopparameters.....	28
4.3 Invloed van de dimensieloze parameters op de relatieve oploop..	32
4.3.1 Brekerparameter.....	32
4.3.2 Stortsteengradering.....	34
4.3.3 Spektrumvorm/gegroeptheid.....	35
4.3.3.1 Beschrijvende parameters.....	35
4.3.3.2 Proefresultaten.....	37
4.3.4 Doorlatendheid van de kern.....	39
4.3.5 Voorland.....	40
4.3.6 Proeven met afwijkende dichtheid stortsteen; invloed H/D.....	42
4.3.7 Schaalproeven in de Deltagoot.....	44

INHOUD (vervolg)

		blz.
5.	<u>Ontwikkeling van oplooprelaties</u>	45
5.1	Ondoorlatende kern.....	45
5.1.1	Oplooprelaties bij toepassing van een PM-spektrum.....	45
5.1.2	Oplooprelaties bij afwijkende spektrumvorm.....	46
5.2	Doorlatende konstrukties.....	49
5.3	Toepassing en nauwkeurigheid oplooprelaties.....	50
6.	<u>Oploopverdeling</u>	54
6.1	Inleiding.....	54
6.2	Gemeten oploopverdeling.....	54
6.3	Weibull verdeling.....	55
6.4	Empirische relaties voor de Weibull parameters.....	59
6.4.1	Algemeen.....	59
6.4.2	Vormparameter.....	60
6.4.2.1	Inleiding.....	60
6.4.2.2	Brekende golven.....	61
6.4.2.3	Niet-brekende golven.....	62
6.4.2.4	Relaties vormparameter.....	64
6.4.2.5	Invloed spektrumvorm.....	65
6.4.2.6	Invloed voorland.....	66
6.4.3	Schaalparameter.....	67
6.4.3.1	Ontwikkeling relatie.....	67
6.4.3.2	Invloed spektrumvorm.....	70
6.4.3.3	Invloed voorland.....	71
6.5	Toetsing empirische oploopverdeling aan proefresultaten.....	71
6.6	Samenvatting en toepassing empirische oploopverdeling.....	73
6.7	Nauwkeurigheid oploopverdeling.....	75

REFERENTIES

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN SYMBOLEN

TABELLEN

FIGUREN

TALUDS VAN LOSGESTORTE MATERIALEN

Golfoploop op statisch stabiele stortsteen taluds onder golfaanval

1. Inleiding

1.1 Opdracht en verantwoording

In zijn brief van 20 september 1983, met kenmerk WT 2073, verleent de Deltadienst van Rijkswaterstaat opdracht aan Waterloopkundig Laboratorium voor het uitvoeren van werkzaamheden zoals omschreven in de aanbidding van 10 augustus 1983, met kenmerken V6732/M1809/LV1861/vdM/gve en V5214/M1809/dB/g.

In zijn brieven van 27 december 1983 met kenmerk WT 2673 en van 20 februari 1984 met kenmerk WT 223 verleent de Deltadienst opdracht voor een studie aansluitend onderzoek zoals omschreven in:

Taluds van losgestorte materialen

Opzet tot een totaalpakket van onderzoek M1809/M1983, oktober 1983.

Het modelonderzoek is uitgevoerd van september 1983 tot februari 1986 en stond onder leiding van dr.ir. J.W. van der Meer van het Waterloopkundig Laboratorium. De analyse van de oplooppmetingen en het samenstellen van het onderhavige verslag is verricht door C.J.M. Stam, student aan de TU-Delft. De studie werd vanuit de TU-Delft begeleid door Prof.dr.ir. E.W. Bijker en vanuit het WL door bovengenoemde dr.ir. J.W. van der Meer. De studie werd verricht op het WL. Van de zijde van de opdrachtgever is het onderzoek begeleid door ir. K.W. Pilarczyk van de Deltadienst (nu Dienst Weg- en Waterbouwkunde).

Het onderhavige M1983-onderzoek is, of wordt, gerapporteerd in de volgende afzonderlijke delen:

- M1809 : Taluds van losgestorte materialen. Hydraulische aspecten van stortsteen, grind en zandtaluds onder golfaanval.
Verslag literatuurstudie, juli 1984.
- M1983-deel I : Statische stabiliteit van stortsteen taluds onder golfaanval
- Ontwerp formules.
- M1983-deel II : Dynamische stabiliteit van grind- en stortsteen taluds onder golfaanval - Model voor profielvorming.

M1983-deel III: Golfoploop op statisch stabiele, stortsteen taluds onder golfaanval.

(Het onderhavige verslag).

M1983-deel IV : Schaaleffekten in stabiliteit van grind- en stortsteen taluds onder golfaanval - Deltagoot onderzoek.

M1983-deel V : Statische stabiliteit van overgangskonstrukties bij stortsteen taluds onder golfaanval.

M1983-deel VI : Golfneerloop op statisch stabiele stortsteen taluds onder golfaanval.

Naast deze verslagen is het gehele bestand van het onderzoek (ongeveer 800 profielmetingen) samengevat in de volgende bijlagen:

M1983-Bijlage A: Samengestelde profielpellingen.

Bijlage behorend bij M1983-deel II.

M1983-Bijlage B: Profielen statische stabiliteit.

Alleen opgenomen in WL bibliotheek.

M1983-Bijlage C: Profielen dynamische stabiliteit.

Alleen opgenomen in WL bibliotheek.

Naast bovengenoemde verslagen is ook rekengereedschap ontwikkeld op de personal computer. Het toepassen van de resultaten van het onderzoek wordt hierdoor sterk vereenvoudigd.

De indeling van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk twee wordt een kort overzicht gegeven van resultaten die verkregen zijn uit eerdere onderzoeken. De onderzoeken hebben betrekking op oploop op zowel gladde als ruwe taluds. In hoofdstuk drie wordt de opzet en de uitvoering van het modelonderzoek beschreven. De meetresultaten worden gepresenteerd en besproken in hoofdstuk vier. In hoofdstuk vijf worden relaties ontwikkeld voor enige relatieve oplooppniveaus en in hoofdstuk zes gebeurt dit voor de oploopverdeling.

1.2 Doelstelling

Als onderdeel van de statische stabiliteitsproeven zijn er oploopmetingen verricht. In totaal zijn van ongeveer 250 proeven oploopgegevens verzameld. De oploop is zodanig gemeten dat voor iedere proef een oploopverdeling gekonstrueerd is.

eerd kan worden. De doelstelling van de onderhavige studie is de invloed van parameters zoals de golfsteilheid, taludhelling, vorm van het energiespektrum van de golfbeweging, doorlatendheid van de konstruktie en relatieve waterdiepte op zowel karakteristieke oplooppniveaus, zoals de significante en de twee-procentsoploop, als op de gehele oploopverdeling te analyseren en te beschrijven.

Op basis van deze analyse kunnen praktische formules ontwikkeld worden waarmee diverse oplooppniveaus en de oploopverdeling kunnen worden benaderd.

1.3 Konklusies en aanbevelingen

1. In dit rapport zijn de oplooppmetingen geanalyseerd van ongeveer 250 modelproeven met stortsteen taludbekledingen en golfbrekers. Deze analyse heeft geresulteerd in empirische relaties voor enige karakteristieke oplooppniveaus en in een benadering van de oploopverdeling. Deze empirische oploopverdeling is gebaseerd op ongeveer de hoogste 40% van de geregistreerde oplopen.

2. De oploop is beschreven met behulp van de volgende dimensieloze parameters:

- relatieve oploophoogte Ru_p/H_s
- golfsteilheid s_m
- taludhelling $\cot\alpha$
- doorlatendheid van de konstruktie P

Het gedrag van de relatieve oploop laat zich goed in een figuur beschrijven indien zij wordt uitgezet tegen de brekerparameter $\xi_m = \tan\alpha/\sqrt{s_m}$.

3. De empirische relaties voor de oploopverdeling kunnen worden toegepast voor taludhellingen gelijk aan en flauwer dan 1:2. Het resultaat van de proeven met $\cot\alpha = 1,5$ (model met doorlatende kern) wijkt zodanig af van de proeven met flauwere taludhellingen, dat nader onderzoek naar de oploop op steile taluds noodzakelijk is. Dit geldt voor de oploopverdeling en niet voor de oplooppniveaus. In eerste instantie kan voor $\cot\alpha \leq 2$ de relaties voor de oploopverdeling voor $\cot\alpha = 2$ worden aangehouden.

4. Soms wordt voor ruwe taluds (bijvoorbeeld stortsteen) een reductiefactor toegepast voor de oploop ten opzichte van een glad talud. Hierbij kan worden opgemerkt dat de oploop bij steile taluds (afhankelijk van de golfsteilheid) onafhankelijk wordt van de ruwheid van het talud. Oploopresultaten van dit modelonderzoek zijn vergeleken met oplooppmetingen op een glad talud (Ahrens, 1981), zie figuur 4.8. Als ξ_p groter wordt dan zes blijkt de oploop op beide soorten taluds niet meer af te wijken. Dit houdt in dat alleen voor brekende golven van een konstante reductiecoëfficiënt kan worden gesproken ($(\xi_p < 2 \text{ à } 3)$). Voor hogere waarden van ξ_p gaat de reductiefactor langzaam naar 1.
5. Het energiespektrum van de onregelmatige golfbeweging kan worden gekarakteriseerd door een golfperiode, een golfhoogte en een vormparameter. Voor de golfperiode zijn de gemiddelde periode T_m en de piekperiode T_p genomen en voor de golfhoogte de significante golfhoogte H_s . De vorm van het spectrum kan, in relatie tot de gegroeptheid van golven, door een spektrale vormparameter κ in een waarde uitgedrukt worden.

Uit het onderzoek is gebleken dat de spectrumvorm van invloed is op zowel de schaal als de vorm van de oploopverdeling. Om dit na te gaan werden een breed, een Pierson-Moskowitz en een zeer smal spectrum gebruikt. Het beproefde model betrof een konstruktie met ondoorlatende kern en taludhelling 1:3. De golfsteilheid werd gevarieerd tussen 0,005 en 0,06. Om de invloed van de spectrumvorm in algemene relaties uit te drukken, moeten er echter proeven worden uitgevoerd met een variërende doorlatendheid van de konstruktie en met meerdere taludhellingen. Het verschil tussen een Pierson-Moskowitz spectrum en het toegepaste zeer smalle spectrum is dermate groot dat eveneens tussenliggende spectrumvormen onderzocht zouden moeten worden (JONSWAP-spektra met variërende geplektheidsfactor).
6. Binnen de geteste kondities bleek de gradering van de stortsteen taludbekleding (uitgedrukt in D_{85}/D_{15}) niet van invloed te zijn op de oploophoogte.
7. De oploopverdeling is sterk afhankelijk van de golfhoogteverdeling. Uit proeven met een voorland 1:30 en variërende waterdiepte is gebleken dat als de relatieve waterdiepte h/H_s voor de konstruktie kleiner wordt dan

2 à 3, de golfhoogteverdeling door 'shoaling' en het breken van golven sterk gaat afwijken van een Rayleigh verdeling. De empirische relaties voor de oploopverdeling zijn in dat geval niet meer toepasbaar. De oploopwaarden zijn dan lager dan volgens de relaties, met name de hoge oploophniveaus.

8. De relaties voor de relatieve oploop en de oploopverdeling zijn gebaseerd op metingen van schaalproeven. De oplooppmetingen in de veel grotere Delta-goot zijn mislukt. Derhalve zou nader onderzoek moeten worden gedaan naar eventueel opgetreden schaaleffekten.

1.4 Samenvatting van de relaties voor de golfoploop

De relaties voor de golfoploop kunnen in drie sets formules worden gegeven. De eenvoudigste formule geldt alleen voor de 2% oploopwaarde en maakt onderscheid tussen ondoorlatende konstrukties (taludverdedigingen) en doorlatende konstrukties (golfbrekers). De tweede set formules geven het verband voor een zevental oploophniveaus. De laatste set formules geeft de oploopverdeling zelf (een Weibullverdeling) en de gebruiker kan daarmee ieder gewenst oploophniveau uitrekenen.

De 2% oploop

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,0 \xi_m \quad \text{voor } \xi_m < 1,2$$

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,1 \xi_m^{0.5} \quad \text{voor } \xi_m > 1,2 \text{ (ondoorlatende taluds)}$$

$$\text{voor } 1,2 < \xi_m < 3,3 \text{ (doorlatende taluds)}$$

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 2,0 \quad \text{voor } \xi_m > 3,3 \text{ alleen voor doorlatende taluds}$$

Verschillende oploophniveaus

De algemene formulering voor de niveaus is:

$$\frac{Ru_p}{H_s} = a \xi_m \quad \text{voor } \xi_m < 1.5$$

$$\frac{Ru_p}{H_s} = b \xi_m^c \quad \text{voor } \xi_m > 1.5$$

Voor doorlatende konstrukties wordt een maximum voor Ru_p/H_s aangehouden:

$$\frac{Ru_p}{H_s} = d$$

De waarden voor a, b, c en d zijn voor een zevental oploophniveaus samengevat.

p	a	b	c	d
max	1,12	1,34	0,55	2,58
1	1,01	1,24	0,48	2,15
2	0,96	1,17	0,46	1,97
5	0,86	1,05	0,44	1,68
10	0,77	0,94	0,42	1,45
sign.	0,72	0,88	0,41	1,35
gem.	0,47	0,60	0,34	0,82

De oploopverdeling

De Weibull verdeling die gebruikt is om de oploop te beschrijven, heeft de volgende formulering:

$$p = \Pr \{ Ru > Ru_p \} = \exp \left\{ - \left(\frac{Ru_p}{b} \right)^c \right\}$$

De schaalparameter b wordt beschreven door één relatie:

$$b/H_s = 0,4 s_m^{-0,25} \cot \alpha^{-0,2}$$

De benadering van de vormparameter c valt uiteen in twee relaties:

brekende golven:

$$c = 3,0 \xi_m^{-0,75}$$

niet-brekende golven:

$$c = 0,52 p^{-0,3} \xi_m^p \sqrt{\cot \alpha}$$

De overgang van de ene relatie naar de andere voor de vormparameter c is afhankelijk van de taludhelling en de doorlatendheid van de konstruktie en kan worden bepaald met:

$$\xi_m = [5,77 P^{0,3} \sqrt{\tan \alpha}] \frac{1}{P + 0,75}$$

Voor ξ_m waarden kleiner dan bovenstaande overgang, moet de formule voor brekende golven worden genomen. De waarde van P kan uit figuur 4.0 worden afgelezen. Voor de oploopverdeling geldt dat taluds steiler dan 1:2 niet mogen worden berekend. Een eerste schatting is om voor $\cot \alpha < 2$ de waarde $\cot \alpha = 2$ in te vullen.

Geldigheid en beperkingen

De gegeven oplooprelaties gelden voor rechte stortsteen taluds. De taludhelling mag ruwweg liggen tussen $\cot \alpha = 1.5$ en 5 à 6. Voor de oploopverdeling geldt, zoals al genoemd, een restrictie dat $\cot \alpha \geq 2$. Het volledige gebied aan mogelijke golfsteilheden wordt gedekt: $0.005 < s_m < 0.06$. Ook het volledige gebied aan doorlatendheden van de konstruktie wordt gedekt. $P = 0.1$ betekent een ondoorlatende kern (taludverdediging; ondergrens) en $P = 0.6$ is een homogene konstruktie (bovengrens).

De spektrumvorm is te summier onderzocht om harde konklusies te kunnen trekken. De gegeven relaties gelden voor een PM spektrum, maar zijn ook geldig voor een breder en smaller spektrum. Het erg smalle spektrum dat is onderzocht, gaf dezelfde maximale oplopen, maar de lagere oplooptniveaus waren lager dan de gegeven relaties. Aangezien de relaties hoofdzakelijk op de proeven met een PM spektrum zijn bepaald, mogen de relaties ook worden omgewerkt naar een piekperiode of een ξ_p . Dit kan eenvoudig gebeuren door de relatie $T_p = 1.15 T_m$ te substitueren in de relaties. Dit was de gemiddelde verhouding voor de proeven met een PM spektrum.

De relaties gelden voor $h/H_s > 2$ à 3, waarin h de waterdiepte is. Als de golven niet breken op het voorland en nog steeds een Rayleighverdeling voor de golfhoogten geldt, dan is de afwijking ten opzichte van de relaties klein. Bij brekende golven op het voorland, is de oploop minder hoog. De relaties vormen dus een bovengrens.

2. Literatuur overzicht

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt in het kort de stand van zaken behandeld op het gebied van de voorspelling van de golfoploophoogte. De eerste resultaten zijn gebaseerd op regelmatige golven die een glad, ondoorlatend talud oplopen. Onderscheid wordt gemaakt tussen brekende en niet-brekende golven. Vervolgens worden ruwe, doorlatende taluds beschouwd. Deze resultaten zijn verkregen uit zowel theoretische beschouwingen als experimentele resultaten.

Daarna zal golfoploop tengevolge van onregelmatige golfaanval worden behandeld. Ook deze voorspellingsmodellen zijn gebaseerd op theoretische en experimentele resultaten. Tevens zal aandacht worden besteed aan beschrijving van de oploopverdeling.

De beschrijvingen blijven kort en zullen niet compleet zijn. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar het verslag van de TAW, Golfoploop en Golfoverslag (1972), een literatuurstudie uitgevoerd door Waterloopkundig Laboratorium - WL (M1809, 1984), en een literatuurstudie uitgevoerd door Allsop, Franco en Hawkes (1985).

2.2 Golfoploop onder regelmatige golfaanval

Er zijn theorieën ontwikkeld voor de bepaling van oploop op gladde taluds ten gevolge van brekende en niet-brekende golven. Iribarren en Nogales (1949) hebben een uitdrukking afgeleid voor de overgang tussen beide situaties, indien een golf loodrecht invalt op een vlak glad talud met hellingshoek α en een minimale diepte vóór dit talud van een hele golfhoogte H . Deze golf zal op het talud breken indien:

$$\tan \alpha \leq 8 \sqrt{\frac{H}{2gT^2}} \quad (2.1)$$

Wordt hierin de definitie van de diepwater golflengte gesubstitueerd:

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.2)$$

dan wordt het resultaat:

$$\tan \alpha \leq \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{H}{L_0}} \quad (2.3)$$

De definitie van de brekerparameter ξ is:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad (2.4)$$

zodat golven gaan breken bij een kritieke waarde van deze brekerparameter van:

$$\xi_c = \left[\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \right]_c = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \approx 2,3 \quad (2.5)$$

Het brekingskriterium volgens Miche (1944) is:

$$\left[\frac{H_0}{L_0} \right]_c = \frac{\sin \alpha}{\pi} \sqrt{\frac{2\alpha}{\pi}} \quad (2.6)$$

waarin H_0 de hoogte is van de inkomende golf op diep water. Voor flauwe taluds ($\cot \alpha > \text{ca. } 4$) kan deze vergelijking geschreven worden als:

$$\left[\frac{H_0}{L_0} \right]_c = 0,25 (\tan \alpha)^{5/2} \quad (2.7)$$

Er zijn vrij veel theorieën ontwikkeld voor de berekening van de oploop op een glad talud ten gevolge van een niet-brekende golf. Pocklington (1921) en later Keller (1961) stelden een relatie voor in de vorm van:

$$\frac{Ru}{H_0} = \sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}} \quad (2.8)$$

waarin Ru de oploop (runup) is. Le Méhauté, Koh en Hwang (1968) vermeerderden deze waarde met een term voor de relatieve extra verheffing van de golfkam, veroorzaakt door niet-lineaire effecten:

$$\frac{Ru}{H_0} = \sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}} + \Delta \quad (2.9)$$

Miche (1944) geeft hier een uitdrukking voor:

$$\Delta = \frac{kH}{2} \left(1 + \frac{3}{4} \sinh^{-2} kd - \frac{1}{4} \cosh^{-2} kd \right) \coth kd \quad (2.10)$$

waarin k het golfgetal is: $k = 2\pi/L$.

Er zijn nog veel meer relaties voorgesteld. De overeenkomst tussen deze theorieën is dat de relatieve oploop toeneemt naarmate de taludhelling afneemt. De geldigheid van deze relaties blijft echter beperkt tot niet-brekende golven.

Ondanks vele studies naar het gedrag van brekende golven zijn er geen eenvoudige, theoretische onderbouwde methoden in de literatuur verschenen voor de berekening van de oploop ten gevolge van zo'n brekende golf. Een andere methode om tot oplooprelaties te komen, is het 'fitten' van empirische vergelijkingen in resultaten van modelproeven. Vele onderzoekers hebben zich hiermee beziggehouden, zoals Saville (1956), Savage (1958) en Hunt (1959). De meest geciteerde resultaten zijn die van Hunt, die de relatieve oploop geeft als:

$$\frac{R_u}{H} = 2,3 \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/T^2}} \quad (\text{lengtematen in ft.})$$

Deze formule is echter niet homogeen in dimensies, en is door Battjes (TAW, 1972) herschreven in de vorm :

$$\frac{R_u}{H} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H/gT^2}} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} = \xi \quad (2.11)$$

Deze relatie is alleen geldig voor de oploop ten gevolge van golven die op het talud breken. De relatieve oploop voor niet-brekende golven en voor het overgangsgebied is minder eenvoudig in een relatie te vangen. Losada en Giménez-Curto (1979) stellen drie relaties voor die het gehele gebied van de brekerparameter beslaan:

$$0 < \xi < 2,5 \quad , \quad R_u/H = \xi$$

$$2,5 < \xi < 4,0 \quad , \quad R_u/H = 2,5 - (\xi - 2,5)/3,0 \quad (2.12)$$

$$4,0 < \xi \quad , \quad R_u/H = 2,0$$

Losada en Giménez-Curto, Günbak (1979) en Sawaragi et al. (1982) geven de trend aan van de relatieve oploop, gebaseerd op modelproeven. In figuur 2.1 (bovenste figuur) zijn enige samengevoegde resultaten van modelproeven op gladde taluds weergegeven (Bruun en Günbak, 1977). Er zijn eveneens vele proeven uitgevoerd met regelmatige golven op stortsteen taluds en op met betonnen elementen beschermde taluds. In figuur 2.1 (onderste figuur) is een overzicht

gegeven van proeven op diverse soorten ruwe taluds. Uit deze figuur is op te maken dat het verloop van de relatieve oploop met de brekerparameter op een ruw en doorlatend talud afwijkt van die op een glad talud. In het eerste geval stijgt de relatieve oploop monotoon bij een toenemende waarde van de brekerparameter. Het maximum wordt dan ook niet meer gevonden ter plaatse van de overgang van brekende naar niet-brekende golven, maar bij een grote waarde van de brekerparameter. Toepassing van een ruwheidscoëfficiënt r , gedefiniëerd volgens:

$$r = \frac{(Ru/H) \text{ ruw talud}}{(Ru/H) \text{ glad talud}} \quad (2.13)$$

voor het gehele traject van de brekerparameter is dan ook niet mogelijk. De waarden van r die voor de verschillende soorten taludbekledingen in de literatuur worden aangetroffen zijn dan ook alleen bruikbaar voor het traject van de brekende golven, en vormen dan een uitbreiding van de formule van Hunt (2.11).

2.3 Golfoploop onder onregelmatige golfaanval

2.3.1 Algemeen

In een natuurlijk opgewekt golfveld is de golfbeweging een random proces. Golfhoogte en golfperiode zijn random variabelen en dus is de golfoploop, die voornamelijk afhankelijk is van de golfhoogte en golfperiode, ook een random variabele. Er zijn verschillende methoden om de oploop te bepalen.

- Een theoretische benadering gebaseerd op de wetten van de vloeistofmechanica en de waarschijnlijkheidsleer. Resultaten hiervan zijn niet bekend.
- Bij gebrek aan apparatuur om een onregelmatige golfbeweging in een modelgoot op te wekken, formuleerde Saville (1962) een hypothese van equivalentie om langs theoretische weg, gekombineerd met experimentele resultaten, een oploopverdeling te kunnen konstrueren. Deze hypothese veronderstelt dat individuele golven in een onregelmatige golfbeweging gemiddeld eenzelfde oploop veroorzaken als wanneer ze deel zouden uitmaken van een regelmatige golfbeweging met overeenkomstige hoogte en periode. Saville gaat uit van de simultane verdeling van golfhoogte en periode zoals gegeven door Bretschneider (1959), voor het geval de korrelatie tussen golfhoogte en periode

gelijk is aan nul. Voor een grote hoeveelheid individuele golven, die uit de simultane verdeling volgen, bepaalt Saville vervolgens de golfoploop met behulp van de ontwerpkrommen voor een glad talud uit de Shore Protection Manual (SPM). Deze resultaten worden numeriek verwerkt en uitgezet in een grafiek.

- Battjes (1974) verwerkt de hypothese van equivalentie analytisch door slechts golven te beschouwen die op het talud breken, in welk geval de formule van Hunt, $R_u = \sqrt{HL_0} \tan \alpha$, van toepassing is. Het gebruik van ontwerpkrommen voor de golfoploop kan derhalve achterwege blijven. Enige resultaten en konklusies die met de hypothese van equivalentie zijn bereikt, zijn in paragraaf 2.3.2 opgenomen.
- Tegenwoordig kunnen modelproeven zonder problemen met een onregelmatige golfbeweging uitgevoerd worden. Door iedere oploop te registreren kan van elke proef de oploopverdeling uitgezet worden. Deze resultaten kunnen vervolgens op twee manieren verder verwerkt worden:
 1. Iedere gemeten oploopverdeling kan benaderd worden door een analytische kansverdeling, bijvoorbeeld door een Rayleigh, Gamma of Weibull verdeling. De parameters van deze verdelingen kunnen afhankelijk zijn van de golf- en konstruktievariabelen die in het onderzoek gevarieerd zijn en daarvoor kunnen vervolgens empirische relaties gevonden worden.
 2. In plaats van de gehele verdeling kunnen alleen karakteristieke waarden worden beschouwd, zoals $R_{\bar{u}}$, R_{u_s} , R_{u_2} en $R_{u_{\max}}$. Deze karakteristieken kunnen dan in ontwerpkrommen vastgelegd worden of benaderd worden met empirische relaties. Het nadeel van deze methode is dat voor ieder overschrijdingsniveau een andere relatie gevonden moet worden.

2.3.2 Resultaten van de equivalentie hypothese

Saville (1962) past in zijn numerieke berekening van de oploopverdeling de simultane verdeling van golfhoogte en golfperiode toe, zoals gegeven door Bretschneider (1959). Deze verdeling is geschikt voor een situatie van vol-groeide zeegang, waarin een korrelatiecoëfficiënt tussen golfhoogte en golfperiode gelijk aan nul wordt verondersteld. Indien hieruit volgt dat H en T

stochastisch onafhankelijk zijn, dan is de simultane verdeling van H en T gelijk aan het produkt van beide marginale verdelingen. Saville berekent de oploopverdeling op vier gladde taluds met hellingen variërend van 1:1,5 tot 1:6, voor golfsteilheden $2\pi H_s / g T_m^2$ van 0,004 en 0,001. T_m is het rekenkundig gemiddelde van de golfperioden en H_s is de gemiddelde golfhoogte van het hoogste derde deel van de golven.

Battjes (1974) bepaalt op analytische wijze de verdeling van de genormaliseerde oploop Ru' , die gedefinieerd is als:

$$Ru' = \left(\frac{H L_o}{\bar{H} \bar{L}_o} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

Hij werkt dit verder uit voor een tweetal vormen van de verdeling van H en L_o :

- a) de golflengte L_o wordt konstant verondersteld, en voor de golfhoogte H wordt aangenomen dat deze een Rayleigh verdeling heeft. Het resultaat is:

$$P(Ru') = \exp \left(- \frac{\pi}{4} Ru'^4 \right) \quad (2.16)$$

- b) hierbij wordt verondersteld dat H en L_o een simultane Rayleigh verdeling hebben, met als enige parameter de korrelatiecoëfficiënt ρ , waarvoor geldt $0 \leq \rho \leq 1$. Volgens Bretschneider (1959) doet $\rho = 0$ zich voor bij vol-groeide zeegang, terwijl $\rho = 1$ door hem beschouwd wordt als een grens-waarde behorende bij jonge zeegang (hoge windsnelheid en korte strijk-lengte). Alleen de resultaten van de grensgevallen zijn hier weergegeven:

$$P(Ru') = \frac{\pi Ru'^2}{2} K_1 \left(\frac{\pi Ru'^2}{2} \right) \quad \text{als } \rho = 0 \quad (2.17)$$

waarin K_1 de gemodificeerde Besselfunctie is van de 3e soort en 1e orde;

$$P(Ru') = \exp \left(- \frac{\pi}{4} Ru'^2 \right) \quad \text{als } \rho = 1 \quad (2.18)$$

Deze overschrijdingskansen zijn in figuur 2.2 weergegeven, tesamen met één van de krommen van Saville, de overschrijdingskansen van de genormaliseerde oploop voor het talud 1:6. De meeste golven zullen op dit talud breken, zodat deze kromme een goede vergelijking biedt voor de resultaten van Battjes, die slechts gelden voor brekende golven. Uit deze figuur zijn door Battjes enige konklusies getrokken:

- naarmate de golfbeweging "ouder" of meer volgroeid wordt, wordt de verdeling van de oploopwaarde smaller, de spreiding neemt af;
- in deze figuur wordt de breedste verdeling die voorkomt, weergegeven door de Rayleigh verdeling;
- de verschillen in de voorgeschiedenis van een golfveld uiten zich vooral in de oploopwaarden met kleine overschrijdingspercentages, zeg kleiner dan twintig à dertig procent. Dus van de oploophoogten die voor de ontwerper van belang zijn, is het belangrijk dat het juiste stochastische karakter van het golfveld bekend is.

Battjes gaat hierna in op de oploopverdeling voor niet brekende golven. Voor de oploop van regelmatige niet-brekende golven gebruikt hij de formule van Keller, die is uitgebreid met een faktor δ voor optredende niet-lineaire effecten:

$$Ru = \frac{1+\delta}{K_s} H \sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}} \quad (2.19)$$

Hierin is K_s de shoaling-koëfficiënt, een aan de (eventueel fiktieve) diepwater golfhoogte H_0 gerelateerde plaatselijke golfhoogte H , afhankelijk van de waterdiepte en de (plaatselijke) golflengte. De waarde van δ neemt toe met H/L_0 en met L_0/h , en kan enkele tientallen procenten bedragen. Indien de variatie van de faktor $\frac{1+\delta}{K_s}$, die afhankelijk is van de golfhoogte, verwaarloosd wordt, dan heeft de oploop eenzelfde verdeling als de golfhoogte, een Rayleigh verdeling:

$$P(Ru) = \exp \left\{ -2 \left(\frac{Ru^2}{\beta H_s^2} \right) \right\} \quad (2.20)$$

$$\text{waarin: } \beta = \frac{1+\delta}{K_s} \sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}}$$

De hypothese van equivalentie is opgesteld en benut om op basis van oploopgegevens die verkregen zijn uit proeven met regelmatige golven een idee te krijgen van de oploopverdeling die ontstaat bij toepassing van onregelmatige golven. Men is nu echter goed in staat om een onregelmatige golfbeweging in een model op te wekken, die ofwel is verkregen door middel van een computersimulatie of een reproductie is van een op zee gemeten golfveld. Toepassing van de equivalentie hypothese is dus niet meer noodzakelijk.

2.3.3 Experimentele resultaten

2.3.3.1 Gladde ondoorlatende taluds

Een zeer bekende formule waarmee de 2-procentsooploophoogte op een vrijwel glad talud bepaald kan worden is de zogenaamde "Delftse formule":

$$Ru_2 = 8 H_s \tan \alpha \quad (2.21)$$

Deze formule is geldig voor een golfsteilheid (niet nader gespecificeerd) van 0,05 en is door Wassing afgeleid uit proefresultaten van oplooppmetingen (M202, 1942). In TAW (1972) is nader ingegaan op de totstandkoming van deze formule.

Van Oorschot en d'Angremond (1968) hebben oplooppmetingen uitgevoerd met onregelmatige golven, die werden opgewekt door een geprogrammeerd golfschot. Tevens werd er wind over de golven gevoerd met een maximale snelheid van 3 m/s. Het talud was glad en ondoorlatend en had een helling van 1:4 en 1:6. De golfsteilheid $2\pi H_s / g T_p^2$ (T_p = piekperiode) werd gevarieerd tussen de grenzen 0,025 en 0,075. De waterdiepte voor de konstruktie is bij elke proef groter gehouden dan drie maal de significante golfhoogte. Bij de interpretatie van de meetresultaten is speciaal gelet op de invloed van de breedte van het energiespektrum. Er zijn drie spektrumvormen toegepast: een smal, een gemiddeld en een breed spektrum. Het gemiddelde spektrum kan vergeleken worden met een Pierson-Moskowitz spektrum. Uit deze proeven volgde dat toepassing van een breder spektrum resulteerde in een bredere kansdichtheidsfunctie van de oploopwaarden (figuur 2.3).

Ahrens (1981) heeft de oploop gemeten op gladde taluds met hellingen 1 : 1, 1 : 1,5, 1 : 2, 1 : 2,5, 1 : 3 en 1 : 4. De relatieve waterdiepte h/H_s is gevarieerd, maar was voor iedere proef groter dan drie. Energiespektra van het type Pierson-Moskowitz, JONSWAP, Bretschneider en Ochi zijn toegepast. De oploop is gemeten met behulp van 200 paar kontaktpunten. Een paar bestond uit twee met elkaar verbonden kontaktpunten, geplaatst aan weerszijden van het oploopbord, en was bedoeld om de storende invloed van het niet evenwijdig aan het talud oplopen van de golftong te onderdrukken. De oplooppmeting duurde 4,5 à 5,5 minuten, waarin 100 à 200 oplopen konden worden geregistreerd.

In de figuren 2.4 en 2.5 is Ru_2/H_s , respectievelijk Ru_s/H_s uitgezet tegen de brekerparameter ξ_p , welke als volgt is gedefinieerd:

$$\xi_p = \tan \alpha / (2\pi H_s / g T_p^2)^{1/2} \quad (2.22)$$

In beide figuren komt de trend van de oploop overeen met de trend die volgt uit proeven met regelmatige golven: een sterke lineaire toename van Ru_p/H_s met ξ_p voor brekende golven (ca. $\xi_p < 2$), een maximum ter plaatse van het overgangsgebied tussen brekende en niet-brekende golven, en een geleidelijke afname van de relatieve oploop voor niet-brekende golven (ca. $\xi_p > 3,5$) (vergelijk figuur 2.1). Wat opvalt is dat de resultaten van de proeven met $\cot \alpha = 1$ niet goed aansluiten en lager liggen dan de overige proefresultaten. De brekerparameter lijkt echter toch een goede parameter te zijn om resultaten voor de relatieve oploop ten gevolge van onregelmatige golven weer te geven.

Daarnaast is een grotere spreiding aanwezig voor Ru_2 dan voor Ru_s (zie figuren 2.4 en 2.5). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het kleine aantal oplopen dat werd geregistreerd. De hoogste oplopen in een proef geven (statistisch) de grootste spreiding.

In figuur 2.6 zijn meetwaarden weergegeven van Van Oorschot en d'Angremond en van Ahrens, voor Ru_2/H_s . In deze figuur zijn tevens twee relaties van Battjes (1974) opgenomen, die zijn besproken in de literatuurstudie M1809 (1984). De relaties van Battjes zijn afgeleid van de vergelijkingen (2.17) en (2.18).

In het gebied van de brekende golven $\xi_p \leq 2$, bevinden de meetpunten van Van Oorschot en d'Angremond zich tussen en iets buiten de grenzen die door Battjes zijn aangegeven. Evenals bij regelmatige golven lijkt hier een rechtlijnig verband tussen de relatieve oploop en de brekerparameter aanwezig te zijn (formule van Hunt). Ook in het gebied van de niet-brekende golven, $\xi_p \geq 4$ is de trend voor onregelmatige golven gelijk aan die bij regelmatige golven: een afnemende relatieve oploop bij toenemende ξ_p . In het overgangsgebied, $2 \leq \xi_p \leq 4$, worden de maximale waarden voor de relatieve oploop bereikt. Indien een vergelijking gemaakt wordt tussen de relatieve oploop voor regelmatige en onregelmatige golven, uitgezet tegen de brekerparameter, kan gezegd worden dat de algehele trend gelijk is, maar dat het overgangsgebied van brekende naar niet-brekende golven bij onregelmatige golven breder is, hetgeen ook logisch is:

$$2 \leq \xi_p \leq 4 \text{ tegen } 2,3 \leq \xi \leq 3.$$

2.3.3.2 Ruwe doorlatende taluds

In de categorie van de ruwe, doorlatende taluds vallen de stortsteen taluds en de met betonnen elementen beklede taluds, met een meer of min doorlatende kern.

Thompson en Shuttler (1975) hebben golfoploopmetingen uitgevoerd op stortsteen taluds met een ondoorlatende kern onder onregelmatige golfaanval. De taludhellingen in hun modelproeven bedroegen 1:2, 1:3, 1:4 en 1:6, de waterdiepte was 0,61 m. De verhouding h/H_s is steeds groter gehouden dan vijf. De golfsteilheid $2\pi H_s / gT_m^2$ is gevarieerd van 0,009 tot 0,045. Per proef van 5000 golven is acht maal gedurende 150 golven de oploop gemeten, ongeacht de eventuele schade die het talud reeds opgelopen had. De hieruit volgende acht maximale oploophoogten werden gemiddeld. Deze gemiddelde maximale oploop, $\overline{Ru}_{max}$, werd door Thompson en Shuttler per taludhelling uitgezet tegen de significante golfhoogte. Deze figuur is ook weergegeven in M1809 (1984). Thompson en Shuttler zijn van mening dat de relatie:

$$\overline{Ru}_{max} / H_s = f(\alpha)$$

de meetpunten het beste kan beschrijven. Deze relatie is onafhankelijk van de golfperiode. In M1809 wordt opgemerkt dat in de figuren toch een lichte periode-invloed aanwezig is. De relatieve oploop is in figuur 2.7 tegen de brekerparameter ξ_m uitgezet. Hierbij is ξ_m gelijk aan:

$$\xi_m = \tan \alpha / (2\pi H_s / gT_m^2)^{1/2} = \tan \alpha / (H_s / L_{om})^{1/2} \quad (2.23)$$

De metingen voor $\cot \alpha = 6$ en $\cot \alpha = 4$ laten een geringe spreiding om de lijn $\overline{Ru}_{max} / H_s = 1,0 \xi_m$ zien. Dit zijn de metingen met op het talud brekende golven ($\xi_m \leq 1,5$). De invloed van de periode, de golfhoogte en de taludhelling wordt hier goed door ξ_m weergegeven. De metingen die zijn uitgevoerd met $\cot \alpha = 3$ en $\cot \alpha = 2$ laten een veel grotere spreiding zien.

Thompson en Shuttler hebben ook de diameter van de stortsteen gevarieerd, de D_{50} bedroeg 20, 30 en 40 mm. Uit de metingen valt echter geen invloed van de steen-(of korrel-)diameter op de golfoploop te konstaten, figuur 2.8.

Allsop, Franco en Hawkes (1985) hebben olopmetingen uitgevoerd op taluds met een doorlatende kern, verdedigd met betonnen elementen. Hiervoor zijn tetrapods, antifer kubussen, dioden en stabits toegepast. Deze elementen zijn op een filterlaag, dikte vier maal D_{50} , van gebroken steen geplaatst. De filterlaag zelf ligt op een geperforeerde stalen plaat met een porositeit van 22%. De proeven zijn uitgevoerd met niet-brekende golven, $2,75 \leq \xi_p \leq 5,25$. De meetresultaten worden door Allsop et al. in vier figuren gepresenteerd waarin $Ru_{2\%}/H_s$ en Ru_s/H_s uitgezet zijn tegen de brekerparameter ξ_p . In figuur 2.9 zijn de resultaten en de trend uitgezet van de tetrapods en de antifer kubussen, waarvoor Allsop et al. empirische uitdrukkingen hebben gegeven, gebaseerd op een algemene relatie van de volgende vorm:

$$\frac{Ru}{H} = A [1 - \exp(B\xi)] \quad (2.24)$$

Deze uitdrukking is ontleend aan Losada en Giménez-Curto (1981).

In figuur 2.10 zijn de meetresultaten van de hierboven beschreven proeven samengebracht. Hierin is de 2%-relatieve olop uitgezet tegen de brekerparameter ξ_p . De meetpunten van Thompson en Shuttler zijn gebaseerd op de gemiddelde golfperiode T_m , en moeten derhalve worden omgewerkt. Thompson en Shuttler zelf geven hiervoor de relatie: $T_m = 0,85 T_p$. Ter vergelijking zijn tevens meetresultaten van Ahrens (1981) van de olop op een glad, ondoorlatend talud ingetekend.

De trend in deze figuren is gelijk aan die welke werd gevonden bij regelmatige golven. Voor niet-brekende golven laat de olop op een glad talud een dalende trend zien bij toenemende ξ_p -waarde. Op een ruw talud neemt de olop hier licht toe of blijft konstant. De gemeten olop van Allsop et al. blijkt erg laag te zijn. Dit kan veroorzaakt worden door de toegepaste zeer doorlatende kern. Voor brekende golven bedraagt de relatieve olop op een ruw talud ongeveer de helft van de olop op een glad talud.

Allsop et al. besteden ook aandacht aan de kansverdelingsfunctie van de olop. Voor zeven proeven is getracht een analytische verdeling in de gemeten data te fitten. Hiervoor zijn de Gamma, Rayleigh en Weibull verdelingen gebruikt. Over het algemeen geeft de Weibull verdeling de beste resultaten. De mate waarin de gemeten en ingepaste analytische verdeling overeenstemmen, verschilt echter sterk per proef.

Ahrens (1983) konstateerde ook dat een Weibull verdeling het best in de gemeten verdeling ingepast kan worden. Ahrens gaat uit van de volgende vorm van deze verdeling:

$$\text{Pr. } \{R_u \geq R_{u_p}\} = \exp \left(- \frac{1}{\beta} \left(\frac{R_u}{H_s} \right)^\alpha \right) \quad (2.25)$$

waarin α de vormparameter en β de schaalparameter is. Volgens Ahrens lijken α en β voornamelijk afhankelijk te zijn van de taludhelling en de brekerkondities. Er worden verdelingen aangetroffen die zowel breder ($\alpha < 2$) als smaller ($\alpha > 2$) zijn dan de Rayleigh verdeling. Deze waarnemingen zijn overigens gebaseerd op modelproeven die zijn uitgevoerd op een glad, ondoorlatend talud.

2.4 Basisgegevens voor het onderzoek

Het onderhavige onderzoek naar de oploop op stortsteen taluds onder golfaanval is gebaseerd op modelproeven die zijn uitgevoerd in het kader van het onderzoek naar de statische stabiliteit van deze taluds. Het proevenprogramma is derhalve zodanig opgezet dat een lacune in de kennis van deze statische stabiliteit opgevuld kan worden. Als extra optie heeft men golfoplooppmetingen verricht. Deze opzet zou consequenties voor het oploop onderzoek kunnen hebben; echter de variabelen die van invloed zijn, of waarvan verwacht wordt dat zij van invloed zijn op de statische stabiliteit, spelen ook een rol in het proces van de golfoploop. In de uitvoering van de proeven echter is prioriteit gegeven aan resultaten die voor het stabiliteitsonderzoek van belang zijn, eventueel ten koste van het oplooponderzoek. In hoofdstuk 4 zal hier verder op worden ingegaan.

In M1983-deel I, hoofdstuk 2, staan de randvoorwaarden voor het stabiliteitsonderzoek. Enkele randvoorwaarden kunnen worden gegeven in relatie tot de golfoploop, gebaseerd op opzet en resultaten van de onderzoeken die in de paragrafen hiervoor zijn beschreven.

- De proeven van Thompson en Shuttler bestonden normaliter uit 5000 golven. Tijdens elke proef werden 8 oplooppmetingen uitgevoerd, elk bestaande uit 150 golven, ongeacht de eventuele schade aan het talud. Hieruit werd slechts één parameter verkregen, $\overline{R_u}_{\max}$, die niet vergelijkbaar is met meer gangbare parameters, zoals R_{u_2} en R_{u_s} .

Omdat in dit onderzoek de interesse tevens uitgaat naar de oploopverdeling, is gekozen voor een continue registratie van de oploop gedurende een zo lang mogelijke tijd, rekening houdend met de opgetreden schade aan het talud. In deel I van deze rapportage staat beschreven dat een proef maximaal uit 3000 golven bestaat, met een tussenpeiling na 1000 golven. De oploopmeting is uitgevoerd tijdens deze eerste 1000 golven.

- Thompson en Shuttler constateerden dat de stortsteen-(korrel-)diameter geen invloed heeft op de oploop. De nominale diameter is derhalve konstant gehouden en gelijk aan de grootste diameter die door Thompson en Shuttler is toegepast.
- Thompson en Shuttler hebben hun proeven uitgevoerd met een ondoorlatende kern, Allsop et al. met een zeer doorlatende kern. De laatste is echter moeilijk met een reële konstruktie te vergelijken. Om de invloed van de doorlatendheid te kunnen toetsten, zijn derhalve een ondoorlatende kern toegepast, een doorlatende kern (de kern bestaat uit stortsteen met een kleinere diameter dan de bekleding), en een homogene dam. Deze laatste konstruktie bestaat geheel uit eenzelfde klasse stortsteen, en vormt een bovengrens wat betreft doorlatendheid van een golfbreker.
- Van Oorschot en d'Angremont constateerden een invloed van de breedte van het spektrum op de oploopverdeling. Standaard wordt in het onderzoek een PM-spektrum toegepast. De invloed van de spektrumvorm, die van invloed is op de golfgegroeptheid, wordt bekeken door tevens proeven uit te voeren met een zeer smal en een breed spektrum.

3. Opzet van het onderzoek

3.1 Proevenprogramma

In totaal zijn er voor dit onderzoek 239 modelproeven uitgevoerd. In het eerste gedeelte zijn de proeven uitgevoerd met een stortsteen talud op een on-doorlatende kern en is een Pierson Moskowitz (PM)-spektrum toegepast. Het gehele traject van brekende tot en met niet-brekende golven is afgewerkt. De brekerparameter ξ_m varieerde van ongeveer 1 tot 8. De toegepaste taludhellingen zijn 1:2, 1:3, 1:4 en 1:6. Deze proeven vormen de basis van het onderzoek. Hierna zijn er proefseries uitgevoerd om een eventuele invloed van de volgende variabelen op de golfoploop te kunnen nagaan:

- korrelgradering
- spektrumvorm
- doorlatendheid konstruktie
- voorland

Tot slot zijn er 11 proeven op grote schaal in de Deltagoot uitgevoerd om eventueel opgetreden schaaffecten in de modelproeven te kunnen analyseren. In tabel 1 is een overzicht gegeven van het gehele proevenprogramma.

Het onderscheid dat wordt gemaakt tussen proeven en proefseries is afkomstig van de opzet van het stabiliteitsonderzoek. Een proefserie bestaat in principe uit vijf proeven met een gelijke golfperiode, maar met een verschillende golfhoogte. Na iedere proef (dus vijfmaal in een proefserie) werd het talud hersteld. Uit een proefserie kan een zogenaamde schadekromme worden vastgelegd waarbij het schadenivo uitgezet wordt tegen een genormaliseerde golfhoogte, voor een konstante golfperiode. Voor het golfoploonderzoek vervalt deze functie, maar wordt een proefserie benut om sterk afwijkende oplopmetingen te vinden, die vervolgens buiten de verdere analyse kunnen worden gehouden. In paragraaf 3.3 wordt hier dieper op ingegaan.

3.2 Beschrijving faciliteiten en model

De modelproeven zijn uitgevoerd in de 50 m lange, 1 m brede en 1,2 m diepe Scheldegoot van WL, zie figuur 3.1. In deze goot is een golfschot aanwezig dat kan transleren en roteren, en dat is voorzien van een reflektiekompenserend

systeem. Hierdoor kunnen van het model gereflekteerde golven het model niet opnieuw bereiken en ongewenste lange golven in de goot worden vermeden, zodat er geen verstoring van het opgewekte golfveld zal optreden. Het golfschot wordt gestuurd door een signaal vanaf een ponsband waarop de oppervlakte-uitwijkingen in de tijd zijn aangebracht. Deze zijn verkregen door middel van het één-dimensionale random phase model, met uniform verdeelde fasehoeken op het interval $(-\pi, \pi)$ en een opgelegd energiespektrum van willekeurige vorm. De gewenste significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode worden bepaald door respectievelijk meer of minder energie aan het golfschot toe te kennen en de ponsband langzamer of sneller te laten lopen. Tussen het golfschot en het model zijn twee golfhoogtemeters geplaatst om de inkomende en gereflekteerde significante golfhoogte te meten. De signalen van deze golfhoogtemeters worden door een HP 1000 komputer bemonsterd met een frequentie van 25 Hz, en voor verdere verwerking opgeslagen.

Het model bij een opstelling met een ondoorlatende kern is opgebouwd uit een grindkern waaroverheen een waterondoorlatende laag van cementspecie is gestreken, zie figuur 3.2. De bovenkant van deze cementlaag bevindt zich 1,05 m boven de gootbodem. De knik tussen deze horizontale bovenkant en het talud (punt A) bevindt zich voor alle proeven 44 m vanaf het golfschot in ruststand. Bij de flauwere taluds komt de teen dus dichterbij het golfschot te liggen. Op het ondoorlatende talud is een filterlaag aangebracht. De karakteristieken van dit filter zijn: $D_{50}^F = 8,9 \text{ mm}$ en $D_{85}^F/D_{15}^F = 2,25$. De dikte van deze filterlaag is 20 mm, wat overeenkomt met de helft van de D_{50}^S van de hierop aangebrachte stortsteenlaag. De karakteristieken van deze stortsteenlaag zijn: $D_{50}^S = 40 \text{ mm}$ en $D_{85}^S/D_{15}^S = 2,25$. De nominale diameter van deze riprap stortsteen is: $D_{n50}^S = (W_{50})/\rho_a)^{1/3} = 36 \text{ mm}$. De dikte van de stortsteenlaag is gelijk aan twee maal D_{50}^S , dus 80 mm. Tevens zijn er modelproeven uitgevoerd met een nagenoeg uniforme stortsteen: $D_{85}^S/D_{15}^S = 1,25$. De D_{50}^S en D_{n50}^S zijn gelijk aan die voor de riprap stortsteen.

Het model zoals hier is beschreven, is toegepast voor de meeste proeven van het programma. De wijzigingen die zijn aangebracht om de invloed van de doorlatendheid van de konstruktie en van de aanwezigheid van een voorland te kunnen toetsen worden in hoofdstuk 4 bij de bespreking van het betreffende onderdeel vermeld.

De proeven op grote schaal zijn uitgevoerd in de Deltagoot; lengte 230 m, breedte 5 m en diepte 7 m. Het golfschot heeft een maximale slag van 5 m, zodat er onregelmatige golven met een maximale significante golfhoogte van 1,9 m kunnen worden opgewekt. Dit golfschot is voorzien van een reflectie-kompenserend systeem dat gelijk is aan het systeem dat in de Scheldegoot is geïnstalleerd.

De proeven D10-D15 zijn uitgevoerd met een doorlatende kern, D16-D20 met een ondoorlatende kern. Voor alle proeven is een taludhelling 1:3 toegepast. De karakteristieken van de afdeklaag zijn: $D_{n50} = 0,214$ m en $D_{85}/D_{15} = 1,38$. In figuur 3.3 zijn dwarsdoorsneden van beide konstrukties weergegeven. De proeven D10-D15 kunnen worden vergeleken (gelijke golfsteilheid, taludhelling, doorlatendheid konstruktie en toegepast energiespektrum) met de proeven 211-214, welke zijn uitgevoerd in de Scheldegoot. De proeven D16-D20 kunnen worden vergeleken met de proeven 41-45. De schaalfactor tussen de Deltagootproeven en de Scheldegootproeven is 6.25. Deze factor is gebaseerd op de verhouding tussen ΔD_{n50} in beide faciliteiten, waarin Δ de relatieve massadichtheid is.

3.3 Oplooppemeting

Voor de op- en neerloopmetingen is gebruik gemaakt van een analoge golfoplooppemeter. Hiervoor is een capacitieve draad toegepast met een buitendiameter van ca. 5 mm (kern + plastic bescherming). Deze draden worden in silo's gebruikt om na te gaan wat de vullingsgraad is. De capacitieve draad levert een continu signaal, dat door een HP 1000-komputer met een frequentie van 25 Hz wordt bemonsterd en voor verdere bewerking opgeslagen. De oploophoogte is gedefinieerd als de maximale hoogte boven de stilwaterlijn (SWL) die een tegen het talud oplopende golftong bereikt (figuur 3.4a). Bij de analyse door de komputer van het bemonsterde oploopsignaal wordt de oploophoogte gedefinieerd als de maximale uitwijking tussen twee opeenvolgende opgaande nuldoorgangen (figuur 3.4b). Deze definitie houdt in dat als het dal tussen twee opeenvolgende oplopen niet onder het gekozen niveau (SWL) uitkomt, alleen de hoogste van de twee oploophoogten als zodanig wordt meegenomen. Het aantal oplopen wordt op deze wijze onderschat; niet iedere golf zal tot een oploop kunnen komen. Deze onderschatting bedroeg voor de meeste proeven minder dan tien procent. In paragraaf 6.3 worden eventuele konsekwenties van deze definitie van de oploophoogte op de oploopverdeling nader beschouwd.

Om de oplooppeter goed te laten functioneren dient de draad enige millimeters boven het talud gespannen te worden, vanaf de gootbodem evenwijdig aan het talud tot boven de horizontale bovenkant van de konstruktie. De kruinhoogte bij de proeven is zo gekozen dat de kans op golfoverslag gering is.

Deze methode van oplooppetering is echter pas kort voor het begin van het onderzoek ontwikkeld. Hierdoor is de tijdsduur te kort geweest om de oplooppeter uitvoerig te testen en ongewenste neveneffekten te elimineren, alvorens met het onderzoek te beginnen. Om deze reden is tijdens de eerste proeven visueel nagegaan of de op- en neerloop op het talud overeenkwamen met de gemeten en geregistreeerde waarden. Hierin bleek geen verschil aanwezig te zijn. Bij enkele proeven bleek echter een verloop in de meting op te treden. Het verlopen van de oplooppeter wil zeggen dat er een verschil optrad tussen het nulniveau voor en na de proef. Uit 90 waarnemingen is naar voren gekomen dat de golfoplooppeter gemiddeld 1 mm omhoog verliep, met een spreiding van 2,3 mm. Dit betekent dat bij 30-40% van de proeven een te lage oploop werd gemeten, en in 60-70% een te hoge oploop. Voor de meeste proeven was dit verloop echter dermate gering ten opzichte van de oploop, dat deze afwijking zeker nog aanvaardbaar is. Bij enkele proeven echter, is direkt na de proef een veel groter verloop geconstateerd, of is achteraf bij de analyse van de resultaten een zeer groot verschil met proeven uit dezelfde proefserie aangetroffen. Deze proeven worden bij de analyse buiten beschouwing gelaten.

Bij de proeven die zijn uitgevoerd met een taludhelling 1:6 (proeven 108-134) traden konsequent storingen in de oplooppetering op. Deze proeven kunnen derhalve niet in de analyse meegenomen worden.

Van iedere proef zijn de oploophoogten en de randvoorwaarden geregistreeerd. Deze randvoorwaarden betreffen gegevens over de konstruktie en de golven, en hiervan afgeleide waarden zoals de brekerparameter. Deze gegevens zijn te vinden in tabel 2. In tabel 3 zijn de maximale, de signifikante en de gemiddelde oploop, en de oploophoogten die door 0,5, 1, 2, 5, 10 en 20% wordt overschreden, weergegeven. In tabel 4 zijn deze oploophoogten gerelateerd aan de inkomende signifikante golfhoogte.

4. Golfoploop op stortsteen taluds

4.1 Voornaamste grootheden

De golfoploop tegen een stortsteen talud is van vele variabelen afhankelijk. Die invloeden waarvan bekend is of waarvan het vermoeden bestaat dat zij van belang zijn voor de oploop zijn in dit onderzoek onderzocht. Hierin speelt mee dat het zwaartepunt van dit onderzoek gericht is op de statische stabiliteit van stortsteen taluds onder golfaanval.

De volgende grootheden zijn in het onderzoek gevarieerd:

- H_s , de significante golfhoogte. De significante golfhoogte wordt in de meeste onderzoeken naar golfoploop, waarin onregelmatige golven worden toegepast, gebruikt om de oploop dimensieloos te maken. De invloeden van de in de volgende paragraaf te behandelen parametergroepen worden getoetst aan de variatie van Ru_p/H_s .
- T , de golfperiode. Tesamen met de golfhoogte bepaalt de periode de golfsteilheid volgens $H_s/L_0 = 2\pi H_s/gT^2$. Beide grootheden zijn zodanig gevarieerd dat het hele gebied met golfsteilheden tussen 0,01 and 0,06 werd gedekt (indien gebruik wordt gemaakt van de gemiddelde golfperiode. De keuze moet nog gemaakt worden welke kenmerkende golfperiode gebruikt wordt in relatie tot het verschijnsel golfoploop). De diepwater golflengte L_0 is slechts een rekengrootheid, een fiktieve golflengte. De invloed van de golfperiode in relatie tot de golfhoogte wordt door de golfsteilheid weergegeven.
- $\cot\alpha$, de taludhelling. Tesamen met de golfsteilheid bepaalt de taludhelling de zogenaamde brekerparameter $\xi = \tan\alpha/(H_s/L_0)^{1/2}$. Golfhoogte, golfperiode en taludhelling zijn zodanig gevarieerd dat zowel het traject van brekende, $\xi < 2,5$ à $3,5$, als van niet-brekende golven, $\xi > 2,5$ à $3,5$, werd gedekt.
- D_{85}/D_{15} , de gradering van de steenklasse. Er zijn geen aanwijzingen in de literatuur te vinden dat de gradering van invloed is op de oploop. Deze variabele is echter voor de eenvoud meegenomen omdat het vermoeden bestaat dat hij wel van invloed zou zijn op de stabiliteit van stortsteen golfbrekers.

- Spektrumvorm-golfgegroeptheid. Er is al veel onderzoek gedaan naar de gegroeptheid van golven; waarvan deze afhankelijk is en welke parameter deze afhankelijkheid zou kunnen beschrijven. Het blijkt dat de vorm van het variantiedichtheidsspektrum van de oppervlakte-uitwijking (sterk) bepalend voor dit verschijnsel is. Standaard zijn de proeven uitgevoerd met een Pierson Moskowitz (PM)-spektrum. De invloed van de spektrumvorm wordt nagegaan door een zeer smal en een breed spektrum toe te passen. Bij de analyse wordt nagegaan welke parameter(s) gebruikt kan worden voor de beschrijving van spektrumvorm en gegroeptheid.
- Doorlatendheid kern. Verwacht kan worden dat een golfbreker met een doorlatende kern de golfoploop zal beperken doordat enige berging van het oplopende water in de konstruktie mogelijk wordt. Om deze invloed te kunnen kwantificeren zijn er, naast de uitvoering van een stortsteen talud met filterlaag op een ondoorlatende kern, proeven uitgevoerd met een doorlatende kern en een homogene golfbreker, geheel opgebouwd uit één klasse stortsteen.

Uit de analyse van de stabiliteit (M1983-deel I) werd gekonkludeerd dat de doorlatendheid grote invloed had op deze stabiliteit. Daarom werd een doorlatendheidscoëfficiënt P gedefinieerd. Deze P heeft geen direkte relatie met porositeit (van verschillende lagen), maar geeft een relatieve waarde voor de doorlatendheid van de konstruktie onder de afdeklaag. De P -waarde geeft eigenlijk het vermogen van de konstruktie om golfenergie te dissiperen.

De doorlatendheidscoëfficiënt P is in fig. 4.0 gegeven met een viertal konstrukties, waarvan er drie zijn onderzocht. De ondergrens voor P is de ondoorlatende kern, bijvoorbeeld klei of zand in prototype. Deze ondergrens werd gesteld op $P = 0,1$ (fig. 4.0-a). De bovengrens is een homogene dam en P werd hierbij gesteld op $P = 0,6$ (fig. 4.0-d). De doorlatende dam had een kern met steen die gemiddeld 3,2 maal kleiner was dan de steen uit de afdeklaag (fig. 4.0-c). Hiervoor werd $P = 0,5$ vastgesteld. Voor een golfbreker met een filterlaag en dan een dichte kern werd een waarde van $P = 0,4$ afgeschat (niet getest, fig. 4.0-b).

Binnen de gegeven grenzen van $P = 0,1$ en $0,6$ moet met behulp van figuur 4.0 een waarde van P worden gekozen.

- Voorland. Door een ondiep voorland zullen de hoogste golven breken en gaat de golfhoogteverdeling afwijken van een Rayleigh verdeling. De golfgegroetheid zal hierdoor ook veranderen. Er zal nagegaan worden of de significante golfhoogte H_s nog gebruikt kan worden om het golfveld te beschrijven en hoe de verandering in de golfhoogteverdeling beschreven kan worden.

De volgende grootheden zijn tijdens het onderzoek konstant gehouden, of is verondersteld dat zij geen invloed hebben op de golfoploop.

- h, waterdiepte. De proeven zijn uitgevoerd in een goot met horizontale bodem en een waterdiepte van 0,80 m. Voor de betrokken goot is deze diepte optimaal voor het opwekken van onregelmatige golven met een maximale significante golfhoogte, gelimiteerd door de maximale slag van het golfschot, van 0,25 m. Bij een grotere waterdiepte zal er water verloren gaan over de randen van de goot. Bij een kleinere waterdiepte zal de invloed van de bodemwrijving sterk toenemen en de golven doen vervormen. Hoge golven kunnen zelfs gaan breken zodat de golfhoogteverdeling voor de konstruktie gaat afwijken van een Rayleigh verdeling. Saville (1956) konstateerde dat de golfoploop door regelmatige golven onafhankelijk is van de waterdiepte direkt voor de konstruktie, indien de verhouding h/H groter is dan 3. Thompson en Shuttler (1975) konstateerden geen invloed van de waterdiepte op de golfoploop. In hun onderzoek bleef de verhouding h/H_s boven de 3. Thompson en Seelig (1984) konstateerden dat diverse parameters die gerelateerd zijn aan golfgegroetheid, zoals de korrelatiecoëfficiënt tussen opeenvolgende golfhoogten en de gemiddelde groeplengte, konstant blijven indien h/H_{m_0} groter is dan 3. Zij gebruiken voor de golfhoogte H_{m_0} die uit het energiespektrum berekend wordt volgens $H_{m_0} = 4 (m_0)^{1/2}$. Houmb en Overvik (1977) vonden uit metingen op diepwater een empirische relatie voor de significante golfhoogte: $H_s = 3,8 (m_0)^{1/2}$. Indien deze relatie aangehouden wordt kan op basis van de resultaten van Thompson en Seelig gesteld worden dat de gegroeptheidsparameters niet beïnvloed worden door de waterdiepte indien h/H_s groter is dan ongeveer 3,2. De grootste, toegepaste H_s in dit modelonderzoek is ongeveer 0,20 m. Dit betekent dat de verhouding h/H_s groter blijft dan 4.

- D_{n50} , nominale diameter. Bij eerdere proeven (Thompson en Shuttler, 1975) is gebleken dat de stortsteendiameter geen invloed heeft op de oploop (figuur 2.7).
- Dikte afdeklaag. De afdeklaag is gedurende het onderzoek steeds op gelijke dikte gehouden, $2 D_{50} = 80$ mm.
- Kruinhoogte. Om een juiste verdeling te krijgen van de golfoploop, is overslag niet toegestaan. De hoogte van de kruin ligt voor alle proeven op SWL +0,35 m. Voor enkele proeven met een zeer stabiel talud, met name de homogene konstruktie, is de golfhoogte sterk opgeschroefd om enige schade aan het talud te kunnen veroorzaken. Dit was noodzakelijk voor het stabiliteitsonderzoek. Het gevolg hiervan is dat er overslag is opgetreden; soms zelfs voor tien procent van de golven. Hiermee wordt rekening gehouden bij de analyse van de resultaten.

4.2 Golfoploopparameters

Golfoploop op een stortsteen talud ten gevolge van onregelmatige golven wordt bepaald door verschillende onafhankelijke parameters. Deze parameters kunnen worden onderverdeeld in drie groepen:

1. Parameters ter beschrijving van het medium, in dit geval water:

- ρ : massadichtheid [kg/m³]
- ν : kinematische viscositeit [m²/s]
- σ : oppervlaktespanning [kg/s²]
- K : kompressibiliteit [kg/ms²]

2. Parameters ter beschrijving van de golfbeweging:

- $S(f)$: energiespektrum, de verdeling van de energie over de frequenties. [m²/Hz]

In de praktijk wordt volstaan met het geven van enkele kenmerkende grootheden van het golfveld, zoals:

- H_k : kenmerkende golfhoogte [m]
- T_k : kenmerkende golfperiode [s]

- een parameter die de vorm van het spektrum vastlegt [-]
- g : zwaartekrachtversnelling [m/s²]
- h : waterdiepte voor de konstruktie [m]
- ψ : hoek van golfval [-]

3. Parameters ter beschrijving van de konstruktie:

- α : taludhelling [-]
- P : doorlatendheid van de gehele konstruktie (fig.4.0) [-]
- ruwheid van het talud [-]

De afhankelijke variabele in het modelonderzoek is de oploophoogte R_u . Deze oploophoogte is een stochastische grootheid. Indien p de overschrijdingskans (-percentage) is, dan is R_{u_p} de afhankelijke variabele bij gegeven p. Het bovenstaande wordt als volgt weergegeven:

$$R_{u_p} = f(\rho, v, \sigma, K, H_k, T_k, \text{spektrumvorm}, g, h, \psi, \alpha, P, \text{ruwheid}) \quad (4.1)$$

Met behulp van modelonderzoek kan de invloed van iedere parameter op de afhankelijke parameter R_{u_p} onderzocht worden. De resultaten van een dergelijk onderzoek zijn dan echter niet te vertalen naar een situatie die niet in het model is onderzocht (prototype). Dit is wel mogelijk indien gewerkt wordt met dimensieloze kentallen. Schaafeffekten in het model kunnen worden voorkomen door deze kentallen gelijk te houden in model en prototype. Dit is echter niet altijd mogelijk.

Deze kentallen kunnen worden gevonden met behulp van dimensie-analyse. Essentieel in deze techniek is de keuze van de onafhankelijke parameters. Dit zijn de parameters die gebruikt worden om de overige (afhankelijke) parameters dimensieloos te maken, en dienen derhalve opgebouwd te zijn uit de elementaire grootheden: massa (kg), lengte (m) en tijd (s). Bij de keuze van de onafhankelijke parameters wordt gebruik gemaakt van bestaande kennis. Een voorbeeld hiervan is de keuze van de lengteparameter, hiervoor zijn de golfhoogte en de waterdiepte beschikbaar. Bekend is dat voor $h/H_k \geq 3$ de oploop niet afhankelijk is van de waterdiepte voor de konstruktie. Toepassen van een variabele R_{u_p}/h is in deze situatie niet korrekt. Extrapolatie van resultaten zou tot

onjuiste waarden voor de oploop leiden. Het gebruik van de golfhoogte als onafhankelijke parameter wordt ondersteund door de formule van Hunt, relatie (2.11), en de 'Delftse formule', relatie (2.21).

De resterende elementaire grootheden worden teruggevonden in de massadichtheid ρ en de golfperiode T_k . De afhankelijke variabelen zijn de oploophoogte Ru_p en vervolgens v , σ , K en g . Toepassen van de dimensie-analyse geeft het volgende resultaat:

$$\frac{Ru_p}{H_k} = f \left(\frac{H_k}{gT_k^2}, \frac{h}{H_k}, \frac{H_k^2}{v T_k}, \frac{\rho H_k^2}{K T_k^2}, \text{spektrumvorm, } \psi, \alpha, \text{ruwheid, } P \right). \quad (4.2)$$

De verkregen kentallen worden hieronder kort toegelicht.

- a. Ru_p/H_k , dimensieloze of relatieve oploop.

De invloed van de overige kentallen wordt getoetst aan de variatie van deze relatieve oploop.

- b. h/H_k , relatieve waterdiepte

In dit onderzoek blijft de verhouding h/H_s groter dan 4, voorzover een horizontaal voorland wordt toegepast. Voor deze proeven is de waterdiepte dus niet van wezenlijke invloed op de oploop (zie ook paragraaf 4.1). De invloed van h/H_k is onderzocht door een voorland onder een helling van 1:30 aan te leggen en de waterdiepte te variëren.

- c. H_k/gT_k^2 , golfsteilheid

De golfsteilheid is belangrijk voor het al of niet breken van de golf op het talud en zodoende voor de golfoploop. De waarde van de golfsteilheid in het model moet gelijk zijn aan die in het prototype.

- d. $H_k^2/(vT_k)$, getal van Reynolds (Re)

Het getal van Reynolds karakteriseert de stroming van het water, die zowel turbulent (grote waarden van Re) als laminair (kleine waarden van Re) kan zijn. De modelproeven worden geschaald op de golfsteilheid, hierdoor zal Re verschillend zijn voor model en prototype. De invloed hiervan is onderzocht door enige proefseries uit te voeren in de Deltagoot, waarin een model op prototypeschaal is gebouwd.

- e. $(\rho H_k^3)/(\sigma T_k^2)$, getal van Weber (We)

Dit kental geeft de verhouding weer tussen de traagheidskracht en de kracht ten gevolge van de oppervlaktespanning. De invloed van de oppervlaktespanning op de fasesnelheid van oppervlakte golven kan worden verwaarloosd indien de toegepaste golflengte in het model groter is dan 0,1 à 0,2 m (De Vries, 1980). Dit is in het modelonderzoek het geval.

- f. $(\rho H_k^2)/(KT_k^2)$, samendrukbaarheid

De samendrukbaarheid legt een verband tussen een optredende drukverandering en de volumeverandering, uitgaande van een bepaald volume. Voor een vloeistof kan de invloed hiervan worden verwaarloosd als de vloeistofsnelheid veel kleiner is dan de voortplantingssnelheid van geluid in deze vloeistof. Dat is hier het geval.

- g. Spektrumvorm

De spektrumvorm is van invloed op de gegroeptheid van golven. De invloed hiervan wordt beproefd door naast het PM-spektrum een zeer smal en een breed spektrum toe te passen. In paragraaf 4.3.3 zal een parameter worden gekozen die de spektrumvorm, in relatie tot de gegroeptheid karakteriseert.

- h. ψ , hoek van inval

De hoek van inval is loodrecht op de lengte-as van het talud en is niet gevarieerd.

- i. α , taludhelling

De taludhelling is mede van belang of golven al of niet op het talud breken. De invloed hiervan op de golfoploop is dan aanzienlijk.

- j. ruwheid van het talud

De ruwheid van de taludverdediging is niet gevarieerd, alleen stortsteen taluds zijn in dit onderzoek beproefd. De breedte van de gradering van de stortsteen is wel gevarieerd, deze wordt uitgedrukt door de verhouding D_{85}/D_{15} . Ook is de golfhoogte/steendiameter verhouding H/D gevarieerd, terwijl de golfsteilheid gelijk bleef (invloed afwijkende dichtheid).

k. P, doorlatendheid van de kern van de konstruktie

De doorlatendheid van de kern is duidelijk van invloed op de oploophoogte. Toegepast zijn een ondoorlatende, een doorlatende en een sterk doorlatende kern. De waarden voor P zijn respectievelijk $P = 0,1$; $0,5$ en $0,6$, zie ook figuur 4.0.

Vergelijking (4.2) wordt voor dit modelonderzoek, indien de Deltagootproeven in eerste instantie buiten beschouwing blijven, gereduceerd tot:

$$\frac{R_{uP}}{H_k} = f \left(\frac{h}{H_k}, \frac{H_k}{g T_k^2}, \text{spektrumvorm}, \alpha, \frac{D_{85}}{D_{15}}, P \right). \quad (4.3)$$

4.3 Invloed van de dimensieloze parameters op de relatieve oploop

4.3.1 Brekerparameter

Het is mogelijk de invloed van de taludhelling α en de golfsteilheid H_k/gT_k^2 op de relatieve oploop afzonderlijk te analyseren. Uit onderzoeken (Battjes en Roos (1974), Battjes (1974), Losada en Giménez-Curto (1979), Günbak (1979)) is gebleken dat de relatieve oploop door regelmatige golven op een glad talud zich goed laat beschrijven als funktie van de brekerparameter. Voor onregelmatige golven kan de brekerparameter als volgt worden geformuleerd:

$$\xi_k = \tan \alpha / (2\pi H_k / g T_k^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (4.4)$$

waarin het subscript k staat voor kenmerkend. Deze formulering is ook te schrijven als:

$$\xi_k = \tan \alpha / (H_k / L_{o,k})^{\frac{1}{2}}, \quad (4.5)$$

waarin $L_{o,k}$ een kenmerkende diepwater golflengte is. Voor de golfhoogte en golfperiode moeten karakteristieke waarden voor de inkomende onregelmatige golven gebruikt worden. Voor de golfhoogte kan dat de zogenaamde significante golfhoogte zijn, H_s , gedefinieerd als de gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3-deel van de inkomende golven. Deze golfhoogte blijkt redelijk overeen te komen met visuele schattingen van 'de kenmerkende golfhoogte' in een golfveld.

Voor de golfperiode worden in recente onderzoeken zowel de gemiddelde periode T_m als de piekperiode T_p toegepast. De gemiddelde periode wordt bepaald uit een tijdregistratie van de oppervlakte-uitwijking, evenals de significante golfhoogte. De piekperiode is de reciproke van de piekfrequentie van het energiespektrum. Bij de presentatie van de meetresultaten van de proeven die zijn uitgevoerd met verschillende spektrumvormen (paragraaf 4.3.3) is de invloed van de keuze tussen T_m en T_p duidelijk waarneembaar. De verhouding T_p/T_m voor het smalle spektrum is $1,01 \pm 0,02$, voor het PM-spektrum $1,15 \pm 0,04$ en voor het brede spektrum $1,42 \pm 0,10$. In paragraaf 4.3.3 blijkt dat als de golfoploop beschreven wordt met ξ_m , de invloed van de spektrumvorm op de oploop klein is en verwaarloosd kan worden. Bij een beschrijving van de oploop met ξ_p lukt dit niet. Op basis hiervan is ervoor gekozen de gemiddelde periode T_m in de formulering van de brekerparameter toe te passen.

$$\xi_m = \tan\alpha / (2\pi H_s / g T_m^2)^{1/2} = \tan\alpha / (H_s / L_{o,m})^{1/2} \quad (4.6)$$

In de figuren 4.1 en 4.2 zijn de resultaten van de proeven die zijn uitgevoerd met een ondoorlatende kern, een D_{85}/D_{15} van 2,25 en een PM-spektrum weergegeven. De proeven 1-19 zijn uitgevoerd met een hellingshoek 1:2, de proeven 21-34 en 56-60 met 1:3, en de proeven 61-82 met 1:4. Per figuur zijn twee oplooppniveaus uitgezet. Over deze figuren kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- Voor afnemende ξ_m en gelijke taludhelling, dat wil zeggen toenemende golfsteilheid, is een zekere trend waarneembaar. Deze trends verspringen iets bij wisselende taludhelling. De invloed van taludhelling en golfsteilheid zou door de brekerparameter worden weergegeven als deze trendlijnen in elkaar zouden overlopen. Echter, de afwijking die wordt geïntroduceerd bij het toepassen van de brekerparameter is zo gering dat deze bijna verdwijnt in de spreiding van de meetresultaten. Dit rechtvaardigt het verdere gebruik van de brekerparameter. Dit resultaat is vergelijkbaar met de oploopmetingen van Ahrens (1981) op een glad talud, zie figuur 2.4. Ook daar wordt per taludhelling een iets afwijkende trend waargenomen, die verloren gaat in de spreiding van de meetpunten.
- Voor $\xi_m \leq 1,5$ neemt de relatieve oploop sterk met ξ_m toe. De meeste golven breken hierbij op het talud (plunging brekers).

- Voor $\xi_m \geq 1,5$ blijft de relatieve oploop monotoom toenemen met ξ_m , dus bij afnemende golfsteilheid en toenemende taludhelling. De toename van Ru_p is echter minder groot dan bij brekende golven. Dit tweede traject bevat de 'collapsing' en 'surging' brekers (niet-brekende golven).
- Voor de hoogste waarden van ξ_m , $\xi_m > 6$ à 7 , lijkt zich een evenwicht in te stellen waarbij Ru_p niet meer toeneemt.
- De invloed van brekende en niet-brekende golven op de relatieve oploop verschillen minder van elkaar dan in het geval van een glad talud, waar een duidelijk maximum optreedt in het overgangsgebied tussen beide brekertypen (figuren 2.1 en 2.5).

4.3.2 Stortsteengradering

Alle proeven die in de vorige paragraaf zijn beschreven, zijn uitgevoerd met een steenklasse-gradering D_{85}/D_{15} van 2,25, zogenaamde riprap. Om de invloed van de gradering te onderzoeken, zijn er vervolgens proeven uitgevoerd met genoeg uniforme steen, $D_{85}/D_{15} = 1,25$. Dit zijn de proeven 35-55 op een talud van 1:3, en de proeven 83-102 op een talud van 1:4.

In de figuren 4.3 en 4.4 zijn de meetresultaten voor vier oploophoogtes weergegeven, hierin is onderscheid gemaakt tussen graderingen D_{85}/D_{15} gelijk aan respectievelijk 2,25 en 1,25. Uit deze figuren blijkt dat de gradering van de stortsteen niet van invloed is op de golfoploop.

Uit de proeven van Thompson en Shuttler (1975) is gebleken dat de diameter van de stortsteen geen waarneembare invloed heeft op de oploop. Nu is gevonden dat de gradering dat ook niet heeft. Blijkbaar zijn verandering van diameter en gradering van de stortsteen niet zodanig van invloed op de stromingskarakteristieken op het talud dat de oploop hierdoor wezenlijk zal gaan variëren. Deze situatie verandert wel indien de diameter, in verhouding tot de golfhoogte, zo klein wordt genomen dat er geen sprake meer is van stortsteen, maar van grind of zand. Het is gebleken dat in deze situatie de diameter wel van invloed is (M1216 (1974-81) en M1809 (1984)). De variatie in golfhoogte/steen-diameter verhouding is wel meegenomen bij de proeven met afwijkende massadichtheid (paragraaf 4.3.6).

In de presentatie van de proefresultaten zal verder geen onderscheid meer worden gemaakt tussen proeven die zijn uitgevoerd met riprap of uniforme stortsteen. In de figuren 4.5 en 4.6 zijn derhalve voor de volledigheid alle meetresultaten weergegeven van de proeven op een ondoorlatende kern, waarbij alleen onderscheid is gemaakt in taludhelling.

In totaal zijn nu meetresultaten van ongeveer 100 proeven gepresenteerd, uitgevoerd met een stortsteen talud, een ondoorlatende kern en een PM-spektrum. Deze resultaten worden vergeleken met de meetresultaten van Ahrens (1981) op een glad talud. In figuur 4.8 zijn beide resultaten uitgezet, met ξ_p als parameter, voor de relatieve significante oploop. Hieruit blijkt dat de oploop op een stortsteen talud voor $\xi_p \leq 3$ ongeveer de helft bedraagt van de oploop op een glad talud. Voor grotere waarden van ξ_p neemt dit verschil af, tot $\xi_p \approx 7$ à 8 waar het verschil nagenoeg geheel is verdwenen en Ru_s/H_s voor beide taluds ongeveer 1,7 bedraagt. De ruwheid en doorlatendheid van de toplaag zijn dus in sterke mate bepalend voor de oploop in het gebied $\xi_p \leq 7$ à 8, boven deze grens is de invloed hiervan vrijwel geheel verdwenen.

4.3.3 Spektrumvorm/gegroeptheid

4.3.3.1 Beschrijvende parameters

De proeven die in de paragrafen 4.3.1 en 4.3.2 zijn beschreven, zijn allen uitgevoerd met een PM-spektrum. Het PM-spektrum correspondeert met een situatie van volgroeiende zeegang. Om de invloed van de spektrumvorm op de golfoploop te onderzoeken, zijn er vervolgens proeven uitgevoerd met een breed en een zeer smal spektrum. In figuur 4.9 zijn deze drie spektrumvormen afgebeeld, allen met gelijke spektrale momenten m_0 en m_2 . Indien men ervan uitgaat dat de golfbeweging een lineair verschijnsel is, en als men zich beperkt tot het golfbeeld in een vast punt, dan wordt dit golfbeeld in statistische zin geheel beschreven door het één-dimensionale energiespektrum. Dit energiespektrum wordt volledig bepaald door zijn lengteschaal, tijdschaal en vorm. Voor de lengteschaal is H_s gekozen, voor de tijdschaal wordt op basis van de meetresultaten een kenmerkende golfperiode gekozen (T_m of T_p) en voor de vorm zal ook nog een beschrijvende parameter worden gekozen.

Eerdere onderzoeken, zoals Rye en Lervik (1981) en Battjes en Van Vledder (1984), toonden reeds aan dat een gepiekt (smaller) spektrum een sterkere vorming van golfgroepen tot gevolg heeft, dus langere gemiddelde golfgroep-lengten. Onder een golfgroep wordt een reeks opeenvolgende golven verstaan die allen een golfhoogte hebben groter dan een bepaalde drempelwaarde (bijvoor-beeld H_s). De lengte van een golfgroep is het aantal individuele golven in zo'n reeks hoge golven. In figuur 4.10 is een schets gegeven van de defi-niëring van een golfhoogte en een golfgroep in een tijdregistratie. Golfhoog-ten zijn in dit onderzoek bepaald met de methode van opgaande nuldoorgangen. De parameter die de vorm van het energiespektrum beschrijft, zal ook gerela-teerd (moeten) zijn aan de gegroeptheid van een golfveld. In M1983-I zijn di-verse vorm- en gegroeptheidsparameters besproken. Sommige parameters be-schrijven echter alleen de vorm van het spektrum en zijn slechts zwak gerela-teerd aan de gegroeptheid van golven, andere parameters geven alleen een kwan-titatieve maat voor de golfgegroeptheid. Na het gereedkomen van M1983-I zijn er meer gegevens bekend geworden van een parameter die door Battjes en Van Vledder (1984) is geïntroduceerd in relatie tot gegroeptheid, en die is gede-finieerd op basis van het energiespektrum: de spektrale vormparameter κ . In Battjes (1974), Van Vledder (1983) en Stam (1988) is nader op de eigenschappen van deze parameter ingegaan. De definitie van κ in het frequentiedomein, aangeduid met κ_f , is:

$$\kappa_{f,m_0}^2 = \left[\int_0^\infty S(f) \cos(2\pi f\tau) df \right]^2 + \left[\int_0^\infty S(f) \sin(2\pi f\tau) df \right]^2 \quad (4.7)$$

waarin $\tau = T_{0,2} = (m_0/m_2)^{\frac{1}{2}}$.

De spektrale vormparameter blijkt ook in het tijdsdomein berekend te kunnen worden. Theoretisch is κ^2 gelijk aan de lineaire correlatiecoëfficiënt van de kwadraten van twee opeenvolgende maximale uitwijkingen (A_n) ten opzichte van het maximale niveau, Stam (1988). De op deze wijze bepaalde waarde van κ wordt aangeduid met $\kappa_{AA,t}$, en kan worden beschreven door:

$$\kappa_{AA,t}^2 = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} (A_n^2 - \overline{A^2}) (A_{n+1}^2 - \overline{A^2})}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (A_n^2 - \overline{A^2})} \quad (4.8)$$

Formulering (4.8) kan toegepast worden voor zowel toppen als dalen.

De spektrale vormparameter κ is in staat om spektrumvormen te onderscheiden, en is bovendien een kwantitatieve maat voor gegroeptheid. κ kan bepaald worden in zowel het frequentie- als tijdsdomein. Op basis hiervan is ervoor gekozen de spektrale vormparameter κ te gebruiken om de invloed van de spektrumvorm/-gegroeptheid op de golfoploop te beschrijven.

4.3.3.2 Proefresultaten

Er zijn 39 proeven uitgevoerd met een afwijkende spektrumvorm. De proeven 158-167, 183-186 en 193-197 zijn uitgevoerd met een zeer smal spektrum, de proeven 168-182, 187, 188 en 190-192 met een breed spektrum. De konstruktie was voorzien van een ondoorlatende kern en een taludhelling van 1:3. Van enkele proeven zijn de waarden van κ en de groeplengten in tabel 5 gegeven.

De κ_f waarden voor het brede, PM en het erg smalle spektrum zijn gemiddeld respektievelijk 0,25; 0,48 en 0,90. De gemiddelde groeplengten (aantal golven in een groep met golfhoogten hoger dan H_s) zijn respektievelijk $j_i(H_s) = 1,35$; 1,54 en 2,95.

In de figuren 4.11 en 4.12 zijn de resultaten van deze proeven weergegeven. Hierin zijn de maximale, de 2-procents-, de significante en de gemiddelde oploop uitgezet tegen ξ_m . Ter vergelijking is de trend van de proefresultaten met het PM-spektrum uitgezet. Het verschil in oploop bij toepassing van een breed en een PM-spektrum is gering. Dit was ook te verwachten; de gemiddelde groeplengten voor een breed en een PM-spektrum variëren slechts weinig, zie tabel 5. Grotere verschillen zijn te verwachten bij toepassing van een smal spektrum. Dit blijkt inderdaad zo te zijn. Voor $\xi_m < 4$ is de relatieve oploop bij het smalle spektrum duidelijk lager dan bij de bredere spektra, behalve voor Ru_{max} . Bij $\xi_m = 4$ à 5 blijkt dit verschil verdwenen te zijn. De invloed van de spektrumvorm is dus niet gelijk over het hele gebied van de brekerparameter. Tevens is te zien dat de maximale oploop niet afhankelijk is van de spektrumvorm. Deze oploophoogte is voor de drie beproefde spektrumvormen nagenoeg gelijk.

Een fysische verklaring van de hierboven beschreven waarneming is mogelijk de volgende. Indien twee golven met gelijke hoogte en periode elkaar direkt opvolgen, en hun periode is voldoende kort, dan zal de neerloop van de eerste

golf de oploop van de tweede golf hinderen. De tweede oploop zal tot een minder grote hoogte kunnen komen. Dit mechanisme zal het aantal hoge oplopen verminderen. Het oplooppniveau van een bepaald overschrijdingspercentage zal derhalve afnemen bij het toenemen van de gemiddelde groeplengte. Wordt de golfperiode groter ten opzichte van de tijd die nodig is voor de neerloop (ξ_m groter, dan zal bovenstaand verschijnsel in mindere mate of zelfs niet meer plaatsvinden.

Aangezien de maximale oploopwaarden (bij dezelfde ξ_m) voor de spektra gelijk zijn en de lagere waarden verschillen, kan worden gekonkludeerd dat de oploopverdeling niet gelijk is voor de drie spektra; het smalle spektrum wijkt af.

De resultaten van de proeven met de drie spektrumvormen, uitgezet tegen de brekerparameter ξ_m (dus berekend met T_m), sluiten aan bij het verloop van de gegroeptheid (groot verschil tussen PM en erg smal spektrum en minder tussen PM en breed spektrum). Dezelfde meetgegevens zijn ook uitgezet met ξ_p als variabele, dus berekend met de piekperiode T_p , figuren 4.13 en 4.14. De piekperiode is groter dan de gemiddelde periode, zie paragraaf 4.3.1. Hierdoor verschuiven de meetpunten naar rechts als zij worden vergeleken met hun positie in de figuren 4.11 en 4.12. Dit verschil is het grootst voor de brede spektra. Het gevolg hiervan is dat voor het hele meetbereik van deze proeven het golfveld met een breed spektrum de laagste oploop veroorzaakt, vergeleken met de proeven die zijn uitgevoerd met een PM- en een smal spektrum. De proeven met een PM-spektrum veroorzaken de hoogste oploop. Deze resultaten sluiten niet aan bij de gegroeptheid van de spektra (oplopende groeplengten bij het smaller worden van het spektrum).

In figuur 4.15 zijn de gemeten gemiddelde groeplengten (met H_s als drempelwaarde) van enkele proeven uitgezet tegen de spektrale vormparameter κ_f . Deze meetpunten zijn ook weergegeven in tabel 5. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de gemiddelde groeplengte, en dus de gegroeptheid, toeneemt bij het smaller worden van het spektrum (κ_f wordt groter). Tevens is te zien dat het verschil in gegroeptheid bij een breed en een PM-spektrum gering is. De invloed van de spektrumvorm die uit de figuren 4.13 en 4.14 naar voren komt is derhalve niet te verklaren op basis van verschillen in gegroeptheid. Daarnaast zijn de afwijkingen voor de verschillende spektrumvormen met gebruik van ξ_p niet erg groot, gezien de aanwezige spreiding.

De konklusie is dat de invloed van de spektrumvorm van het golfveld op de golfoploop afhankelijk is van gegroeptheid van golven, indien de meetpunten worden uitgezet met ξ_m als brekerparameter. De gemiddelde golfperiode T_m wordt in de verdere analyse toegepast als kenmerkende periode. Bij toepassen van ξ_p geeft het PM spektrum de hoogste waarden en het brede en smalle spektrum beide lagere waarden. Dit is niet aannemelijk. De verschillen zijn echter niet erg groot.

4.3.4 Doorlatendheid van de kern

Om de invloed van de doorlatendheid van de konstruktie op de oploop na te gaan zijn er proeven uitgevoerd met een kern opgebouwd uit stortsteen met een kleine diameter, proeven met een homogene konstruktie van stortsteen en proeven met een extra dikke filterlaag op een ondoorlatende kern.

De doorlatende kern bestaat uit stortsteen met een nominale diameter D_{n50} van 0,011 m en een gradatie D_{85}/D_{15} van 1,50. De verhouding van de nominale diameter van de afdeklaag (0,08 m dik) en de kern bedraagt 3,2. De proeven 198-216 zijn uitgevoerd met een taludhelling van 1:3, de proeven 217-236 met een talud 1:2, en de proeven 237-257 met een talud 1:1.5, in totaal 60 proeven. Deze konstruktie is weergegeven in figuur 4.16.

De homogene konstruktie is geheel opgebouwd uit stortsteen met een nominale diameter D_{n50} van 0,036 m. Er zijn alleen proeven met een taludhelling van 1:2 onderzocht, het betreft de proeven 258-273. Ook deze konstruktie is weergegeven in figuur 4.16.

Tenslotte zijn er vijf proeven (152-156) uitgevoerd met een dikke filterlaag van 0,08 m op een ondoorlatende kern. In de eerste serie proeven bedroeg de dikte van de filterlaag 0,02 m. De afdeklaag bleef ongewijzigd.

Naar verwachting zal door een toename van de doorlatendheid de oploop afnemen. In de figuren 4.17 en 4.18 zijn de resultaten van de oploopmetingen op het talud met doorlatende kern weergegeven. Zij kunnen worden vergeleken met de metingen op een ondoorlatende kern, figuur 4.5 en 4.6. Naast de grotere spreiding van de meetresultaten van de proeven met een doorlatende kern valt de verwachte lagere oploop op voor ξ_m waarden groter dan 3 à 4. De oploop op een

doorlatende kern is voor $\xi_m < 3$ à 4 slechts iets lager dan op een ondoorlatende kern, boven deze grens lijkt de oploop konstant te blijven voor een toenemende waarde van ξ_m . Dit geldt voor alle oplooppniveaus.

De relatie $Ru_p/H_s - \xi_m$ voor de homogene dam is weergegeven in de figuren 4.19 en 4.20. Deze resultaten zijn minder duidelijk: ondanks een toename van de doorlatendheid van de konstruktie lijkt de oploop overeen te komen met de oploop op de konstruktie met een doorlatende kern (figuren 4.17 en 4.18). Hierbij moet vermeld worden dat de proeven met een homogene dam alleen zijn uitgevoerd met een taludhelling 1:2, en dat er diverse proeven niet in de analyse zijn opgenomen wegens het optreden van aanzienlijke overslag.

De oplooppmetingen van de vijf proeven met een dikke filterlaag zijn ook in de figuren 4.19 en 4.20 opgenomen. De gemeten oploop ligt op hetzelfde niveau als de oploop op de konstrukties met ondoorlatende en doorlatende kern. Dit resultaat ligt dus in de lijn der verwachtingen.

4.3.5 Voorland

Alle proeven die tot nu toe zijn beschreven, zijn uitgevoerd met een relatief grote waterdiepte, $h/H_s > 4$, en een horizontale bodem voor de konstruktie. In werkelijkheid zal er veelal een vooroever voor de konstruktie aanwezig zijn, waarop hoge golven zullen breken. De invloed van een vooroever is onderzocht in 16 proeven, welke zijn uitgevoerd met een voorland onder 1:30 en twee waterstanden. De proeven 274-281 zijn uitgevoerd met een waterdiepte van 0,90 m en een diepte van 0,40 m bij de teen van de golfbrekerkonstruktie, en de proeven 282-289 met 0,70 m waterdiepte en 0,20 m diepte ter plaatse van de teen. De konstruktie heeft een doorlatende kern en is voorzien van een taludhelling 1:2. Een doorsnede van het model is weergegeven in figuur 4.21. De overige proefgegevens zijn vermeld in tabel 2.

Om de golfhoogteverdeling ter plaatse van de teen van de konstruktie te kennen, zijn op die plaats enkele series golfhoogten gemeten zonder dat de konstruktie in het model aanwezig was. Deze metingen zijn verricht met de twee eerder genoemde waterstanden en diverse golfperiodes. In de figuren 4.22 en 4.23 zijn enkele golfhoogteverdelingen weergegeven. Bij een waterstand van 0,40 m ter plaatse van de konstruktie (fig. 4.22), blijken de golven onder in-

vloed van de waterdiepteverandering in hoogte toe te nemen (shoaling). De golfhoogteverdeling geeft wel een rechte lijn in de figuur en volgt dus nog wel de Rayleigh verdeling. Bij een waterstand van 0,20 m voor de konstruktie (fig. 4.23), breken de hoge golven op de vooroever, terwijl de lagere golven juist toenemen ten gevolge van het eerder genoemde shoaling-effekt. Het gebogen verloop van de verdeling geeft aan dat de golfhoogteverdeling niet meer met de Rayleigh verdeling overeenkomt. De verdeling is "afgekapt", dat wil zeggen dat er mindere hoge golven voorkomen ten opzichte van de significante golfhoogte dan bij de Rayleigh verdeling.

In de figuren 4.24 en 4.25 zijn de relaties $R_{u_p}/H_s - \xi_m$ uitgezet. De toegepaste H_s is de golfhoogte voor de teen van de konstruktie. De proeven met een voorland worden vergeleken met de proeven 217-236 (doorlatende kern, taludhelling 1:2). Uit deze vergelijking komt het volgende naar voren:

- Bij een waterdiepte van 0,40 m blijkt de oploophoogte iets af te nemen. Dit is het duidelijkst zichtbaar bij de hogere oploophoogten ($p < 10\%$). Ondanks het feit dat de golfhoogten vrijwel Rayleigh verdeeld blijven, is er dus een invloed op de relatieve oploophoogte waarneembaar. Dit kan het gevolg zijn van de optredende vervorming van de golven onder invloed van de afnemende waterdiepte; de golftoppen worden spitzer en de golfdalen langgerechter.
- Bij een waterdiepte van 0,20 m bij de teen van de konstruktie, blijkt duidelijk de invloed van de gewijzigde golfhoogteverdeling op de oploop. De maximale oploop is afgenomen, de 2%-oploop is ongeveer gelijk gebleven, en de lagere oploophoogten zijn in hoogte toegenomen. De oploopverdeling vertoont dus ook, ten gevolge van de smallere golfhoogteverdeling (figuur 4.23), een kleinere spreiding.

Uit de resultaten van deze proevenseries kan gekonkludeerd worden, dat de te ontwikkelen oplooprelaties en empirische oploopverdelingen niet zonder meer gebruikt kunnen worden voor situaties waar een voorland aanwezig is. De proeven met een waterdiepte van 0,20 m voor de konstruktie laten zien dat de oploophoogten, relatief gezien, niet evenveel toe- of afnemen, maar dat de vorm van de oploopverdeling gaat afwijken.

4.3.6 Proeven met afwijkende dichtheid stortsteen; invloed H/D

In de paragrafen 4.3.1-4.3.5 zijn de resultaten besproken van proeven waarin de invloed van de dimensieloze parametergroepen onderzocht werd. In het onderzoek naar de stabiliteit van stortsteen taluds is echter ook de relatieve dichtheid van de stortsteen van belang. Deze variabele komt voor in de parametergroep $H_s/\Delta D_{n50}$, waarin $\Delta = \rho_a/\rho_w - 1$, de relatieve massadichtheid van de stortsteen is. Beproeving van deze parametergroep is voor de analyse van de golfoploop niet interessant. De proeven worden echter wel meegenomen in deze analyse omdat de proeven met een lage Δ (901-910) zijn uitgevoerd met een kleine golfhoogte (0,05-0,10 m) en korte golfperiode (1,25 en 1,57 s). De proeven met een hoge Δ zijn uitgevoerd met golfhoogten tussen 0,11 en 0,19 m en een periode van 1,9 en 2,36 s. De golfsteilheid voor beide proefseries komt derhalve overeen, de modelschaal is gewijzigd. Deze proefseries kunnen worden gebruikt om de invloed van de parameter H/D op de golfoploop na te gaan.

De zeefdiameter D_{50} van de steen (0.040 m) en de nominale diameter D_{n50} (0.036 m) waren gelijk. Alleen de H/D verhouding varieerde bij gelijkblijvende golfsteilheid. De verhouding kan worden beschreven door H_s/D_{50} of H_s/D_{n50} .

De proeven zijn uitgevoerd met een doorlatende konstruktie en taludhelling 1:2 (figuur 4.15). De lage Δ werd verkregen door gebroken puin toe te passen (1924 kg/m³), de hoge Δ door middel van basalt (3050 kg/m³). De overige proefgegevens zijn vermeld in tabel 2. In figuur 4.26 is de 2%-oploop uitgezet tegen ξ_m . Ter vergelijking zijn ook de resultaten van de proeven met een doorlatende kern (proeven 217-236) in deze figuur uitgezet.

Uit deze figuur blijkt dat zowel de proeven met een lage Δ , als de proeven met een hoge Δ een lagere golfoploop opleveren. Het Reynoldsgetal, zoals geformuleerd in paragraaf 4.2 ($Re = H_s^2/v T_m$), bereikt voor de proeven 901-910 waarden tussen 1700-7000 (gemiddeld 4000). Voor de proeven 911-920 ligt Re tussen 6000 en 18000 (gemiddeld 10.000). De lagere oploop voor de proeven 901-910 (lage H_s/D_{n50} waarden) kan veroorzaakt worden door een toename van de invloed van de viscositeit. De schuifkrachten in het water gaan dan een grotere rol in de stroming spelen. Daarnaast speelt het effect dat een lagere golf gemakkelijker in de konstruktie kan dringen, zodat voor een lagere golf meer energie in de konstruktie kan verdwijnen.

Bij grotere waarden van Re neemt de invloed van de viscositeit af, en worden vorm en ruwheid van de stortsteen belangrijker. Dit kan ten grondslag liggen aan de lagere oploop voor de proeven 911-920 (hoge H_s/D_{n50} waarden), in vergelijking met de proeven met een afdeklaag van normale stortsteen (proeven 217-236). De toegepaste basalt was gladder en hoekiger dan de stortsteen, en kan voor een hogere instroomsnelheid in de konstruktie en een hogere doorlatendheid van de afdeklaag zorgen. De eventuele invloed van de ruwheid van de stortsteen is echter niet nader onderzocht.

Gekonkludeerd kan worden dat de afwijking van de lage H_s/D_{n50} waarden niet geheel verklaard kan worden. De verschillen voor de hoge H_s/D_{n50} waarden zijn niet erg groot.

4.3.7 Schaalproeven in de Deltagoot

In de Deltagoot zijn proeven uitgevoerd met een model op prototype-schaal. Er zijn proeven uitgevoerd met een konstruktie met doorlatende kern, en met een ondoorlatende kern. Uit de resultaten van de oplooppmetingen zijn eventueel aanwezige invloeden van de viscositeit op de oploop te kwantificeren, die zijn opgetreden in de kleinschalige Scheldegootproeven.

De geregistreeerde oploopverdelingen blijken echter rond het niveau S.W.L. +1 m een scherpe knik te vertonen. Deze knik kan het gevolg zijn van een beschadiging van de capacatieve draad op dit niveau. De preciese gevolgen hiervan zijn echter niet te achterhalen en maken het interpreteren van de oploopverdeling en de verschillende oplooppniveaus onmogelijk. Hiermee vervalt de mogelijkheid eventueel opgetreden schaalearfenen in de Scheldegootproeven te kwantificeren.

5. Ontwikkeling van oplooprelaties

5.1 Ondoorlatende kern

In paragraaf 4.3 zijn de parameters besproken die van invloed zijn op de relatieve oploop. De proeven 1-102 en 158-197 zijn allen uitgevoerd met een constructie die voorzien is van een ondoorlatende kern. De proeven 1-102 zijn uitgevoerd met een PM-spektrum, 158-197 met een breed of een smal spektrum.

5.1.1 Oplooprelaties bij toepassing van een PM-spektrum

In paragraaf 4.3 is aangetoond dat de relatie tussen de relatieve oploop Ru_p/H_s enerzijds en de golfsteilheid $H_s/L_{o,m}$ (hierna aangeduid met s_m) en taludhelling $\cot\alpha$ anderzijds, kan worden weergegeven door de brekerparameter ξ_m (figuren 4.5 en 4.6). De breedte van de steengradering (D_{85}/D_{15}) heeft geen invloed op de oploop. De relatie die voor de eerste serie proeven (1-102) voor ieder oploopniveau afgeleid kan worden is:

- rechtlijnig verband tussen Ru_p/H_s en ξ_m voor $\xi_m \leq 1,5$;
- monotoon stijgende relatie met afnemende steilheid voor $\xi_m > 1,5$

De voor de hand liggende algemene relaties zijn:

$$\bullet \quad Ru_p/H_s = a \cdot \xi_m \quad \text{als } \xi_m \leq 1,5 ; \quad (5.1)$$

$$\bullet \quad Ru_p/H_s = b \cdot \xi_m^c \quad \text{als } \xi_m > 1,5 . \quad (5.2)$$

De coëfficiënten a en b en de exponent c zijn voor deze proeven berekend met lineaire regressie gebaseerd op de kleinste kwadraten methode, waarbij er voor gezorgd is dat beide relaties elkaar snijden als $\xi_m = 1,5$. Het resultaat voor enige karakteristieke overschrijdingsniveaus is weergegeven in tabel 6.

De relaties (5.1) en (5.2) met coëfficiënten a, respectievelijk b en de exponent c zijn getekend in de figuren 4.5 en 4.6. Deze relaties blijken de trend van de meetpunten goed te beschrijven. De eerste relatie is doorgetrokken tot het nulpunt van het assenstelsel, hoewel er geen proeven zijn uitgevoerd met

een waarde van ξ_m die nul nadert. Deze extrapolatie van de meetpunten is gebaseerd op de resultaten van de onderzoeken die in hoofdstuk 2 zijn aangehaald.

5.1.2 Oplooprelaties bij afwijkende spektrumvorm

De oplooprelaties die in de vorige paragraaf zijn verkregen, zijn gebaseerd op proeven die zijn uitgevoerd met taludhellingen 1:2, 1:3 en 1:4. Op deze wijze kon een groot gebied van de brekerparameter beschreven worden. Bij de proeven met een afwijkende spektrumvorm ligt dat anders; de proeven zijn hier alleen met een taludhelling 1:3 uitgevoerd. De betrouwbaarheid van de coëfficiënten die alleen op deze proeven worden gebaseerd, is derhalve minder.

De proeven op een helling 1:3 betreffen brekersituaties met een waarde van ξ_m tussen 1,5 en 5. In eerste instantie worden derhalve alleen de coëfficiënt b en de exponent c van relatie (5.2) beschouwd. Voor deze situatie ($\cot \alpha = 3$) worden b en c berekend voor het PM-, het smalle en het brede spektrum. De waarden, bepaald met 'curve fitting', zijn vermeld in tabel 6. De waarden van b en c voor het PM-spektrum en gebaseerd op $\cot \alpha = 3$ verschillen iets van de waarde welke zijn gebaseerd op drie taludhellingen. De relatie met laatstgenoemde coëfficiënten loopt iets minder steil; een iets hogere waarde voor de oploop voor $\xi_m = 1,5$ en een iets lagere waarde als $\xi_m > 3-4$. Het verschil in het gebied $1,5 < \xi_m < 6$ bedraagt voor de getabelleerde oploophoogtes minder dan 10%, voor $p < 10\%$ zelfs minder dan 5%. De relaties (5.2) met coëfficiënt b en exponent c uit tabel 6 zijn uitgezet in de figuren 4.11 en 4.12. Hieruit blijkt dat de relatie voor het smalle spektrum een oploop oplevert die lager is dan bij een PM-spektrum. Dit verschil neemt echter af met toenemende ξ_m , en verandert (bij extrapolatie) zelfs in een hogere oploop voor het smalle spektrum. De relatie voor het smalle spektrum mag echter niet op deze wijze geëxtrapoleerd worden. Wordt aangenomen dat de reductie in oploophoogte bij het smalle spektrum veroorzaakt wordt door de onderlinge beïnvloeding van op- en neerlopen in golfgroepen, dan is een toename in oploophoogte onwaarschijnlijk. Bestudering van de oploopregistraties leverde geen bewijzen op dat voor hoge ξ_m -waarden de oploop in golfgroepen extra zou worden versterkt (resonantie, opslingering?). Reductie van de oploop zal ook niet meer optreden, omdat bij grotere ξ_m -waarden de golfperiode zodanig lang is dat de neerlopende golftong zich geheel zal hebben teruggetrokken voordat de volgende golftop zich heeft aangediend.

Het optreden van een hogere oploop bij een breed spektrum kan ook het gevolg zijn van het voorkomen van meer golven met een golfperiode die sterk afwijkt (langer) van de gemiddelde periode. Een golf met een langere periode (grotere ξ_m) veroorzaakt een hogere oploop. De oplooprelaties voor het smalle spektrum kunnen derhalve alleen gebruikt worden indien zij een lagere oploop aangeven dan bij een PM- of breed spektrum.

In de figuren 4.11 en 4.12 zijn de oplooprelaties voor het PM-spektrum uitgezet, tesamen met een tweezijdig 90% - betrouwbaarheidsinterval. De relaties voor het brede spektrum blijken zich redelijk binnen dit interval te bevinden. Bekend is dat de relatie die gebaseerd wordt op proeven met één taludhelling afwijkt van de relatie welke gebaseerd wordt op drie taludhellingen. Op basis hiervan, en het gekonstateerde geringe verschil tussen de oploop bij een PM- en een breed spektrum, is ervoor gekozen de proefresultaten van beide spektrumvormen met één oplooprelatie te beschrijven. Hiervoor wordt de relatie voor het PM-spektrum genomen, omdat deze een bovengrens van de oploophoogte blijkt te zijn. De oploop zou lager uitvallen indien deze met de resultaten van het brede spektrum gekombineerd zou worden. De relatie voor het erg smalle spektrum vormt een ondergrens, wat betreft de invloed van de spektrumvorm op de oploop.

Er zijn geen proeven met een smal of breed spektrum uitgevoerd met een waarde van ξ_m kleiner dan 1,5. Het is derhalve niet mogelijk op basis van proefresultaten aan te geven wat de invloed is van de spektrumvorm op de oploop door brekende golven. Op basis van de proeven van Van Oorschot en d'Angremond (1968) op een glad, ondoorlatend talud is hier wel een indicatie voor te geven. Van Oorschot en d'Angremond hebben proeven uitgevoerd waarin ξ_p varieerde van 0,8 tot 1,6 (zie paragraaf 2.3.1). Ondanks het breken van de golven op het talud resulteerde een golfbeweging met een smaller energiespektrum in een lagere golfoploop. De verwachting is dat deze trend zich ook manifesteert op een stortsteen talud. Deze basis is echter te smal (onregelmatige golven deels opgewekt met wind, geen reflektiekompensatie) om voor brekende golven relaties te geven voor een smal en een breed spektrum.

In tabel 7 zijn de coëfficiënten van de relaties (5.1) en (5.2) met het toepassingsgebied vermeld. De gegeven waarde van ξ_m in de laatste kolom geeft de overgang naar de relatie voor het PM spektrum. De relaties van de veel gebruikt 2-procentsoploop worden hier nader beschouwd:

PM- en breder spektrum: $\frac{Ru_2}{H_s} = 0,96 \xi_m$ voor $\xi_m < 1,5$ (5.3)

$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,17 \xi_m^{0,46}$ voor $\xi_m > 1,5$ (5.4)

Zonder veel onnauwkeuriger te zijn kunnen deze beide relaties vereenvoudigd worden tot:

$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,0 \xi_m$ voor $\xi_m < 1,2$ (5.5)

$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,1 \xi_m^{0,5}$ voor $\xi_m > 1,2$ (5.6)

De relaties (5.3) - (5.6) zijn in figuur 4.7 weergegeven. De door de vereenvoudiging veroorzaakte afwijkingen blijken gering te zijn.

Vergelijking (5.5) kan vergeleken worden met de Delftse formule:

$Ru_2 = 8 H_s \tan \alpha$ voor $s_m = 0,05$ (5.7)

Deze formule bepaalt de 2-procentsoploop op een glad talud. De reductiewaarde voor stortsteen taluds bedraagt ongeveer 0,5 à 0,6 (TAW, 1972). Omgewerkt zien beide relaties, voor $s_m = 0,05$ en toegepast voor stortsteen taluds, er als volgt uit:

Delftse formule: $Ru_2 = A H_s \tan \alpha$ met $A = 4,0 \text{ à } 4,8$

Relatie (5.5) : $Ru_2 = 4,5 H_s \tan \alpha$

De Delftse formule is dus in overeenstemming met relatie (5.5), gegeven de reductiewaarde van 0,5 à 0,6.

De 2-procentsoploop bij een smal spektrum is:

$\frac{Ru_2}{H_s} = 0,80 \xi_m^{0,69}$ voor $1,5 < \xi_m < 5,2$ (5.8)

Een vereenvoudiging tot:

$\frac{Ru_2}{H_s} = 0,8 \xi_m^{0,7}$ voor $1,5 < \xi_m < 5$ (5.9)

is zeker aanvaardbaar. Voor ξ_m groter dan 5 gaat de relatie voor het smalle spektrum over in relatie (5.6).

5.2 Doorlatende konstrukties

De invloed van de doorlatendheid van de konstruktie is onderzocht door achtereenvolgens een konstruktie toe te passen met een dikke filterlaag op een ondoorlatende kern, een kern van stortsteen van een kleine diameter, en een homogene konstruktie, geheel bestaande uit stortsteen van een diameter gelijk aan die van de afdeklaag van de vorige proeven (figuur 4.16). De meetresultaten van deze proeven kunnen worden vergeleken met die op een ondoorlatende kern en normale filterlaag, en zijn uitgezet in de figuren 4.17 en 4.18 (doorlatende kern) en 4.19 - 4.20 (homogene konstruktie en ondoorlatende konstruktie met dikke filterlaag). Voor $\xi_m \leq 3$ à 4 wijken de meetpunten van de proeven met drie genoemde stadia van doorlatendheid niet van elkaar af, en liggen gemiddeld iets lager dan de meetpunten van de proeven met een ondoorlatende kern en normale filterlaag. De spreiding is echter groter dan bij laatstgenoemde proeven. Boven de grens van $\xi_m = 3$ à 4 lijkt de relatieve oploop konstant te zijn. De meetresultaten van de proeven met een homogene stortstenen konstruktie wijken niet af van die met een doorlatende kern. In het gebied $\xi_m = 2$ à 3 is de relatieve oploop op de homogene konstruktie zelfs hoger dan de gemiddelde oploop op een ondoorlatende konstruktie. De oplooprelaties die in de vorige paragraaf zijn afgeleid, kunnen derhalve voor ongeveer $\xi_m < 3$ als onafhankelijk beschouwd worden van de doorlatendheid van de konstruktie. Bij deze waarde bereikt de oploop een maximum op de doorlatende konstrukties en blijft verder konstant. De maximale waarden voor de eerder vermelde karakteristieke overschrijdingsniveaus bij toepassing van een PM-spektrum, zijn vermeld in tabel 8.

Verwacht mag worden dat proeven met een dikke filterlaag op een ondoorlatende kern voor $\xi_m > 3$ een oploophoogte zal opleveren die boven deze maxima uitkomt, maar lager zal zijn dan die met een dunnere filterlaag. Deze proeven zijn echter niet in het proevenprogramma opgenomen. Hierdoor zijn er te weinig gegevens om de oplooprelaties afhankelijk te maken van de doorlatendheid. De relaties voor de 2-procentsoploop op een doorlatende stortsteen konstruktie, bij toepassing van een PM- of breder spektrum zijn:

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,0 \xi_m \quad \text{voor } \xi_m < 1,2$$

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,1 \xi_m^{0,5} \quad \text{voor } 1,2 < \xi_m < 3,3 \quad (5.10)$$

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 2,0 \quad \text{voor } \xi_m > 3,3$$

5.3 Toepassing en nauwkeurigheid oplooprelaties

De oploop op stortsteen taluds is het uitvoerigst onderzocht door middel van proeven die zijn uitgevoerd met een PM-spektrum. De meetresultaten van de proeven met een ondoorlatende kern zijn beschreven met de volgende twee relaties:

$$\frac{Ru_p}{H_s} = a \xi_m \quad \text{voor } \xi_m < 1,5 \quad (5.1)$$

$$\frac{Ru_p}{H_s} = b \xi_m^c \quad \text{voor } \xi_m > 1,5 \quad (5.2)$$

In tabel 5.1 en tabel 7 zijn de waarden van a, b en c weergegeven.

p	a	b	c
max.	1,12	1,34	0,55
1	1,01	1,24	0,48
2	0,96	1,17	0,46
5	0,86	1,05	0,44
10	0,77	0,94	0,42
sign.	0,72	0,88	0,41
gem.	0,47	0,60	0,34

Tabel 5.1 Waarden van coëfficiënten a en b en de exponent c;
ondoorlatende kern

Deze relaties zijn uitgezet in de figuren 4.5 en 4.6. De meetpunten blijken een geringe spreiding rond deze relaties te vertonen; 85% van alle meetpunten bevindt zich binnen het interval gemiddelde waarde $\pm 10\%$. Dit geldt voor het

gehele meetgebied en voor alle in de tabel opgenomen overschrijdingspercentages. Verwacht wordt dat de oploop op taluds met $\cot \alpha > 4$ zich ook goed door deze relaties laat beschrijven. Bij taludhellingen steiler dan 1:2 ligt dat anders. De vergelijking van de oploop op gladde en stortsteen taluds heeft laten zien dat de oploop zich voor grote waarden van de brekerparameter anders gaat gedragen en derhalve niet meer is te beschrijven met relatie (5.2).

De veel gebruikte 2-procentsoploop laat zich ook goed beschrijven door de iets vereenvoudigde relaties:

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,0 \xi_m \quad \text{voor } \xi_m < 1,2 \quad (5.5)$$

$$\frac{Ru_2}{H_s} = 1,1 \xi_m^{0,5} \quad \text{voor } \xi_m > 1,2 \quad (5.6)$$

De oploop op een konstruktie met doorlatende kern laat zich eveneens, zij het met een grotere spreiding, door de relaties (5.1) en (5.2) beschrijven. Bij een bepaalde waarde van de brekerparameter, afhankelijk van het overschrijdingspercentage, wordt echter een maximum bereikt. Deze maximale waarden van de relatieve oploop zijn vermeld in tabel 5.2 en tabel 8.

p	maximale waarde van Ru_p/H_s
max.	2,58
1	2,15
2	1,97
5	1,68
10	1,45
sign.	1,35
gem.	0,82

Tabel 5.2 Maximale waarde van Ru_p/H_s ; doorlatende kern

De relaties voor de 2-procentsoploop op een konstruktie met doorlatende kern zien er in vereenvoudigde vorm als volgt uit:

$$\begin{aligned} \frac{Ru_2}{H_s} &= 1,0 \xi_m && \text{voor } \xi_m < 1,2 \\ \frac{Ru_2}{H_s} &= 1,1 \xi_m^{0,5} && \text{voor } 1,2 < \xi_m < 3,3 \\ \frac{Ru_2}{H_s} &= 2,0 && \text{voor } \xi_m > 3,3 \end{aligned} \quad (5.10)$$

De relaties voor de konstruktie met een doorlatende kern zijn uitgezet in de figuren 4.17 en 4.18. De spreiding is hier groter dan bij de konstruktie met een ondoorlatende kern; 90% van de meetpunten voor de relatieve oploop ligt in het interval gemiddelde waarde $\pm 25\%$. Voor de lagere overschrijdingspercentages ($p \leq 10\%$) is dit interval iets kleiner: gemiddelde waarde $\pm 20\%$.

De spreiding in de meetpunten kan het gevolg zijn van meerdere oorzaken: afwijkingen in de meetinstrumenten en modelopbouw en/of een niet geheel juiste interpretatie van de metingen.

De afwijking in de registratie van de golfhoogtemeter is gering. Daarnaast speelt de eindige meetduur van het golfveld een rol waardoor de waarden van de voor het golfveld kenmerkende grootheden, zoals H_s , T_m en spektrumvorm, niet exact zijn, maar schattingen hiervan.

De oplooppeter zelf en de verwerking van het oploopsignaal veroorzaken een grotere afwijking. In paragraaf 3.3 is reeds vermeld dat het nulniveau van de oplooppeter gemiddeld 1 mm verliep, met een spreiding van 2,3 mm. Voor de gemiddelde oploop betekent dit een afwijking van 2 tot 5%, voor de 2-procentsooploop ongeveer de helft hiervan. Bij de interpretatie van de oplooppeter wordt door de gehanteerde definitie van de golfoploophoogte een andere fout geïntroduceerd. Een oploop wordt pas geregistreerd indien het wateroppervlak de stilwaterlijn passeert (zie paragraaf 3.3 en fig. 3.4.6). Door deze definitie wordt circa 10% van de lagere oplopen niet meegenomen waardoor de overschrijdingsniveaus enigszins worden overschat. Als voorbeeld is in figuur 5.1 een Rayleigh verdeling weergegeven en een verdeling die bepaald is op basis van 90% van de oppervlakte van een Rayleigh kansdichtheidsfunctie en een aangenomen verdeling voor de niet geregistreerde oploopwaarden. Hierdoor ontstaat een afwijking die toeneemt bij het groter worden van het overschrijdingspercentage. Voor de 2-procentsooploop kan dit circa 5% bedragen, voor de 50-pro-

centsoploop circa 10%. Deze percentages zijn echter sterk afhankelijk van de verdeling van de niet geregistreerde oplopen.

Modelfouten kunnen optreden indien de oplooppeter niet parallel loopt met het talud, indien de werkelijke taludhelling niet overeenkomt met de aangenomen taludhelling of indien het op- en neerlooppatroon kan worden verstoord door overslag. De eerste twee modelfouten kunnen worden voorkomen door een zorgvuldige modelbouw, overslag is echter bij enige proeven voorgekomen.

De meetpunten zijn beschreven als een functie van de brekerparameter. Hiermee wordt aangenomen dat deze parameter de invloed van de golfsteilheid en de taludhelling op de relatieve oploop in hun juiste onderlinge verhouding weergeeft. Ook deze aanname veroorzaakt een bepaalde spreiding.

Om een indruk te krijgen van de invloed van modelfouten, meetafwijkingen en eindige meetduur van golven en oploop op de resultaten, en daarmee van de betrouwbaarheid van ieder meetpunt, is proef 98 drie maal herhaald. Dit zijn de herhalingsproeven 105-107. In onderstaande tabel zijn enige resultaten hiervan vermeld:

	$\frac{R_{u_{max}}}{H_s}$	$\frac{R_{u_2}}{H_s}$	$\frac{R_{u_s}}{H_s}$	$\frac{R_{u_{gem}}}{H_s}$
gem. waarde	1,57	1,40	1,04	0,68
hoogste waarde	1,71 (9%)	1,48 (6%)	1,10 (6%)	0,72 (6%)
laagste waarde	1,46 (6%)	1,28 (9%)	0,93 (11%)	0,59 (13%)

Achter de hoogste en laagste waarden van de relatieve oplooppniveaus is het procentuele verschil ten opzichte van de gemiddelde waarde vermeld. Deze afwijkingen worden groter bij het groter worden van het overschrijdingspercentage. Dit is in overeenstemming met de afwijking in de oploopverdeling die optreedt bij het niet meenemen van lagere oplopen.

Voor de hogere oplooppniveaus zal de afwijking voor de meeste punten beneden de $\pm 10\%$ blijven. De spreiding van de meetpunten rond de oploopprelaties wordt derhalve voor het grootste gedeelte veroorzaakt door onnauwkeurigheden in modelbouw, meetfouten en interpretatiefouten van de gemeten oploopverdeling.

6. Oploopverdeling

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 zijn relaties voor de relatieve golfoploop gegeven. Deze relaties zijn echter afgeleid voor enkele vast gekozen overschrijdingskansen p . Deze verzameling relaties wordt overbodig als een goede beschrijving kan worden gegeven van de oploopverdeling. Hieruit kan de golfoploop voor iedere willekeurige overschrijdingskans worden bepaald.

In paragraaf 6.2 wordt een eerste kwalitatieve analyse gegeven van de gemeten oploopverdeling, waarbij gebruik wordt gemaakt van de relaties uit hoofdstuk 5. Op basis hiervan en ervaringen van andere onderzoekers met het fitten van een analytische verdeling in gemeten oploopverdelingen, wordt een beslissing genomen met welke verdeling getracht wordt de oploopverdeling te beschrijven. In de daarop volgende paragrafen worden empirische relaties ontwikkeld voor de parameters van deze oploopverdeling.

6.2 Gemeten oploopverdeling

Een eerste analyse van de gemeten oploopverdelingen wordt uitgevoerd door deze onderling en met de Rayleigh verdeling te vergelijken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de relaties (5.1) en (5.2), en de coëfficiënten uit tabel 7 voor de proeven op een ondoorlatende kern. Deze relaties voor de verschillende overschrijdingsniveaus worden gerelateerd aan de relatie voor de significante oploop. Hierdoor ontstaan voor brekende golven konstanten, onafhankelijk van de brekerparameter. Worden deze waarden van Ru_p/Ru_s vergeleken met die voor een Rayleigh verdeling (zie tabel 9 en figuur 6.1), dan blijkt de verdeling voor deze categorie proeven (brekende golven, ondoorlatende kern, PM-spektrum) smaller te zijn. De spreiding van de oploophoogten is kleiner dan in het geval van een Rayleigh verdeling.

Voor niet-brekende golven ontstaat er een afhankelijkheid van de brekerparameter. Voor drie golfsteilheden ($s_m = 0,005, 0,01$ en $0,02$) en de drie toegepaste taludhellingen ($\cot \alpha = 2, 3$ en 4) zijn de verhoudingen Ru_p/Ru_s berekend. Hierdoor wordt de invloed van golfsteilheid en taludhelling afzonderlijk beschouwd. Hieruit blijkt (zie tabel 9) dat de verdeling smaller wordt bij afne-

mende taludhelling (cota groter). Ditzelfde geldt voor een toenemende golfsteilheid.

Deze vergelijking wordt ook gemaakt voor een PM- en smal spektrum, bij een waarde van ξ_m gelijk aan 2 en 4. In beide situaties blijkt het smalle spektrum in een bredere oploopverdeling (grotere spreiding in oploophoogten) te resulteren, breder ook dan in het geval van een Rayleigh verdeling (tabel 9 en figuur 6.1).

Uit bovenstaande beschouwingen blijkt dat de oploopverdeling sterk lijkt op een Rayleigh verdeling. De oploop kan echter onder invloed van golfsteilheid, taludhelling en spektrumvorm zowel een grotere als een kleinere spreiding in waarden hebben. Een analytische kansverdeling die de eigenschappen heeft om deze variatie rond de Rayleigh verdeling te beschrijven is de Weibull verdeling. Dit is een extreme-waarden-verdeling, type III (Fisher en Tippett, 1928), met een ondergrens gelijk aan nul. Voordelen van deze verdeling zijn een grote flexibiliteit en de sterke verwantschap met de Rayleigh verdeling. Bij een bepaalde keuze van de parameters van de Weibull verdeling komt deze overeen met de Rayleigh verdeling (zie paragraaf 6.3). Allsop et al. (1985) hebben een Rayleigh, Gamma en Weibull verdeling gefit op oploopverdelingen. De laatste leverde de beste resultaten op. Ahrens (1983) heeft ook goede resultaten met de Weibull verdeling bereikt. Hierop voortbordurend wordt ook in deze studie getracht de gemeten oploopverdeling met een Weibull verdeling te beschrijven.

6.3 Weibull verdeling

De Weibull kansverdelingsfunctie is gedefiniëerd als:

$$F_x(\beta) = \Pr\{\underline{x} \leq \beta\} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\beta}{b}\right)^c\right] \quad (6.1)$$

voor $\beta \geq 0$, $b \geq 0$ en $c \geq 0$. Hierin is $\underline{x}$ een stochastische variabele, β een waarde die $\underline{x}$ kan aannemen ('dummy'-variabele), b een schaalparameter en c een vormparameter. De kans dat $\underline{x}$ de waarde β overschrijdt is gelijk aan:

$$\Pr\{\underline{x} > \beta\} = 1 - F_x(\beta) = \exp\left[-\left(\frac{\beta}{b}\right)^c\right] \quad (6.2)$$

De kansdichtheidsfunctie is gedefinieerd als:

$$f_x(\beta) = \frac{d F_x(\beta)}{d\beta} = \frac{c}{b} \left(\frac{\beta}{b}\right)^{c-1} \exp \left[-\left(\frac{\beta}{b}\right)^c\right] \quad (6.3)$$

De standaardafwijking van $\underline{x}$ is gelijk aan:

$$\sigma_x = \sqrt{\text{var } \underline{x}} = b [r(1 + 2/c) - [r(1 + 1/c)]^2]^{\frac{1}{2}} \quad (6.4)$$

Hierin is $r(\alpha)$ de Gamma functie. In figuur 6.2 is de invloed van b en c op de vorm van de verdeling weergegeven. Zoals ook uit vergelijking (6.4) blijkt, neemt de standaardafwijking van $\underline{x}$ lineair met de schaalparameter toe. De standaardafwijking neemt daarentegen af bij een toenemende waarde van de vormparameter c ; de verdeling van de geschaalde variabele wordt dan smaller. De verdelingsfunctie voor $c = 2$ wordt in de grafiek (op Rayleigh schaal) door een rechte weergegeven.

Uit vergelijking (6.2) volgt, en dit is ook in de onderste grafiek van figuur 6.2 te zien, dat het overschrijdingspercentage p onafhankelijk van c is als β/b gelijk is aan 1. In dit geval is p gelijk aan $e^{-1} \approx 0,37$ (37%). Met andere woorden: de schaalparameter b is gelijk aan de waarde van $\underline{x}$ die door 37% wordt overschreden.

In paragraaf 3.3 is de oploophoogte gedefinieerd als de maximale uitwijking van het oploopsignaal, ten opzichte van de SWL, tussen twee opgaande nuldoorgangen. In figuur 3.4 is een gedeelte van een oploopregistratie afgebeeld. Hieruit blijkt dat niet iedere neerloop beneden de SWL uitkomt en dat derhalve het aantal oplopen wordt onderschat. In figuur 6.3 is de verhouding van het aantal geregistreerde oplopen tot het aantal geregistreerde golven (N_r/N_g) voor de proeven 2-102 (konstrukties met ondoorlatende kern) uitgezet tegen de brekerparameter. In figuur 6.4 is ditzelfde gedaan voor de proeven 198-257 (doorlatende kern) en 258-273 (homogene konstruktie). Alle proeven zijn uitgevoerd met een PM-spektrum. Uit deze figuren blijkt dat voor $\xi_m > 2$ de verhouding N_r/N_g bij de meeste proeven groter is dan 0,9. De proeven met een doorlatende kern en $\cot \alpha = 3$ vormen hierop een uitzondering. Bij een kleiner worden de waarde van ξ_m neemt N_r/N_g af tot ongeveer 0,7-0,8 voor $\xi_m = 1$.

Het niet meenemen van oplopen heeft konsekwenties voor de oploopverdeling. Uit bestudering van enige uitgetekende oploopsignalen blijken het vooral kleinere oplopen te zijn die niet worden meegenomen. Het gevolg hiervan is dat een bepaalde oploophoogte een te grote overschrijdingskans krijgt toegemeten; en dat daardoor de overschrijdingsniveaus (bijvoorbeeld Ru_2) enigszins worden overschat. De hiervan afgeleide waarden van de schaal- en vormparameter zullen derhalve niet geheel korrekt zijn. De afwijking is afhankelijk van het aantal niet geregistreerde oplopen en de hoogten hiervan.

Om een indruk te krijgen van de grootte van deze afwijking, is van een Rayleigh verdeelde variabele (Weibull verdeling met $b = 0,2$ en $c = 2$) 10% van het oppervlak van de dichtheidsfunctie achterwege gelaten en op basis van de resterende 90% de verdeling en de benaderde Weibull verdeling bepaald. Ongeacht hoe deze 10% is verdeeld, echter wel met het zwaartepunt bij de lagere waarden, blijken zowel de schaal- als de vormparameter minder dan 5% te gaan afwijken. Deze afwijking (overschatting) stijgt tot maximaal 15% indien het aantal niet geregistreerde waarden toeneemt tot 30%. Bij het ontwikkelen van relaties voor de schaal- en vormparameter van de Weibull verdeling zal met deze mogelijke afwijkingen rekening moeten worden gehouden.

Vergelijking (6.2) kan, in relatie tot de golfoploop, geschreven worden als:

$$\Pr \{ Ru > Ru_p \} = \exp \left[- \left(\frac{Ru_p}{b} \right)^c \right] \quad (6.5)$$

Hierin is Ru_p de oploophoogte die door $p\%$ wordt overschreden. Het is mogelijk om naast de parameters b en c een derde parameter in vergelijking (6.5) te verwerken. Door middel van de transformatie $Ru'_p = Ru_p - a$ kan een drempelwaarde a ingevoerd worden. Deze parameter is, in dit geval, gelijk aan de kleinst mogelijke waarde die de golfoploop kan aannemen. Volgens de gehanteerde definitie van de oploophoogte kan de oploop niet kleiner worden dan nul. Uit de geregistreerde oploopverdelingen blijkt daarentegen ook niet dat de drempelwaarde groter dan nul gekozen moet worden. Derhalve wordt a gelijk gesteld aan nul en kan formulering (6.5) aangehouden worden.

Om de gemeten oploopverdeling te benaderen met een Weibull verdeling, moeten de parameters b en c geschat worden. Dit kan op de volgende wijze geschieden:

$$p = \Pr \{ \underline{Ru} > Ru_p \} = \exp \left[- \left(\frac{Ru_p}{b} \right)^c \right] \quad (6.5)$$

Deze vergelijking kan geschreven worden als:

$$\ln (- \ln p) = c \ln Ru_p - c \ln b.$$

Wordt $\ln (- \ln p)$ op de verticale as uitgezet tegen de daarbij behorende, gemeten waarden van $\ln Ru_p$, dan ontstaat een rechte lijn (indien de oploop Weibull verdeeld is). De helling van deze lijn is gelijk aan c , en de lijn snijdt de y-as ter hoogte van $-c \ln b$. In plaats van deze lijn te konstrueren met alle meetpunten van de oploopverdeling, is gekozen voor een beperkt aantal punten die in staat zijn de hogere oploopwaarden goed te beschrijven. Met behulp van lineaire regressie, gebaseerd op de methode van de kleinste kwadraten, kan de best passende rechte berekend worden en hieruit de waarden voor b en c .

In het begin van deze paragraaf is aangegeven dat de oploop die door circa 37% overschreden wordt belangrijk is voor de beschrijving van de verdeling. Deze oploop zal derhalve meegenomen worden in de schattingsprocedure, samen met Ru_{20} , Ru_{10} , Ru_5 , Ru_2 , Ru_1 en $Ru_{0,5}$. De maximale oploophoogte wordt niet meegenomen omdat deze een zeer grote spreiding laat zien, $Ru_{\max}$ is tenslotte op slechts één meetpunt gebaseerd. De oploop die door 0,5% wordt overschreden, wordt wel in de schatting meegenomen. Uit de gemeten oploopverdelingen blijkt dit overschrijdingsniveau minder spreiding te vertonen.

De geschatte Weibull parameters b en c zijn vermeld in tabel 10. In de figuren 6.5-6.13 is voor een serie willekeurig gekozen proeven deze 'best-fit' oploopverdeling in de gemeten oploopverdeling ingetekend. De overeenkomst blijkt goed te zijn.

In de volgende paragraaf worden relaties ontwikkeld voor de beide Weibull parameters, waarmee op basis van de golf- en konstruktiekarakteristieken een benadering kan worden gegeven van de te verwachten oploopverdeling. Ook deze "benaderde" verdeling is in figuren 6.5-6.13 gegeven.

6.4 Empirische relaties voor de Weibull parameters

6.4.1 Algemeen

Het gaat er nu om empirische relaties voor de schaal- en vormparameter op te stellen die het mogelijk maken om voor diverse golf- en konstruktierandvoorwaarden de oploopverdeling te benaderen.

Evenals de relatieve oploop, zullen ook beide parameters door de volgende dimensieloze grootheden bepaald worden:

- golfsteilheid : $s_m = H_s / L_{o,m}$
- taludhelling : $\cot \alpha$
- doorlatendheid: P
- spektrumvorm : κ
- relatieve waterdiepte: h/H_s (voorland)

De stochastische variabele R_u wordt in de oploopverdeling geschaald en dimensieloos gemaakt door b . De schaalparameter heeft derhalve dezelfde dimensie als de oploop, die van een lengte. Op dezelfde wijze als de oploop, kan b gerelateerd worden aan een voor het onregelmatige golfveld karakteristieke golfhoogte H_s . De volgende relaties dienen nu ontwikkeld te worden:

$$c = f(s_m, \cot \alpha, P, \kappa, h/H_s) \quad (6.6)$$

$$b/H_s = g(s_m, \cot \alpha, P, \kappa, h/H_s) \quad (6.7)$$

De invloed van de spektrumvorm is alleen onderzocht bij een model met ondoorlatende kern en taludhelling 1:3. De invloed bij een andere doorlatendheid en taludhelling is niet bekend, en zou derhalve zuiver spekulatief zijn. Verwerking van de spektrale vormparameter κ in de relaties voor de oploopverdeling zou derhalve ten koste gaan van de betrouwbaarheid van deze relaties. De invloed van golfsteilheid, taludhelling en doorlatendheid zijn veel uitgebreider onderzocht. Hiermee rekening houdend is besloten de spektrumvorm niet in de relaties op te nemen. De resultaten van de proeven met afwijkende spektrumvorm zullen echter wel in een aparte paragraaf worden besproken.

6.4.2 Vormparameter

6.4.2.1 Inleiding

In de figuren 6.14-6.16 is de vormparameter c uitgezet tegen de brekerparameter ξ_m voor respectievelijk een konstruktie met een ondoorlatende kern, met een doorlatende kern en een homogene konstruktie. Hieruit blijkt dat voor kleine waarden van ξ_m de grootste c -waarden bereikt worden. Voor grotere ξ_m -waarden blijkt de brekerparameter de invloed van de taludhelling niet meer te kunnen beschrijven, de punten per taludhelling liggen verschoven ten opzichte van elkaar. Dit betekent dat de brekerparameter het gedrag goed weergeeft voor brekende golven en minder voor niet-brekende golven. De overgang tussen beiden trends ligt rond $\xi_m = 2$ à 3 . Ter plaatse van deze overgang wordt per taludhelling de laagste c -waarde bereikt. De spreiding in de c -waarden is echter aanzienlijk. Het gebied met de kleinere ξ_m -waarden wordt hierna aangeduid met 'brekende golven'. In deze situatie breekt het merendeel van de golven op het talud. Het gebied boven de trendovergang wordt aangeduid met 'niet-brekende golven'.

In paragraaf 6.3 is gewezen op een mogelijke afwijking in de c -waarden, die optreedt ten gevolge van het onderschatten van het aantal oplopen. Voor $\xi_m > 2$ bedraagt deze fout maximaal 5%, indien er van uit wordt gegaan dat voornamelijk relatief kleine oplopen niet de analyse worden meegenomen. Uitgaande van een c -waarde van 2 betekent dit dat c kan variëren van 1,9 tot 2,1. Voor $\xi_m < 2$ kan de fout oplopen tot maximaal 15%, en kan de benaderde waarde van c uitkomen tussen 1,7 en 2,3. Deze mogelijke spreiding blijkt wezenlijk kleiner te zijn dan het optredende verloop in de c -waarden (figuur 6.14), maar kan wel een verklaring zijn voor de aanwezige spreiding in de c -waarden.

Een verklaring voor het gedrag van de vormparameter, zoals dit te zien is in de figuren 6.14-6.16, is moeilijk te geven. Een smalle oploopverdeling (grote c -waarde) in een situatie van op het talud brekende golven kan het gevolg zijn van de sterke onderlinge beïnvloeding van de opeenvolgende op- en neerlopen. Met name (zeer) hoge oploophoogten zullen hierdoor minder voorkomen. De oploopverdeling voor brekende golven op een glad talud die door Van Oorschot en d'Angremont (1968) (figuur 2.3) en TAW (1972) (figuur 2.2) werden gegeven, zijn ook allen smaller dan een Rayleigh verdeling, dus hebben een c -waarde groter dan 2.

De doorlatendheid van de konstruktie heeft hier (nog) geen grote invloed op de oploop (verdeling). Door de kleine golfperiode kan er slechts weinig water in en uit de konstruktie stromen, waardoor de op- en neerloop slechts weinig worden beïnvloed. Bij niet-brekende golven kan door de langere golfperiode meer water in de konstruktie percoleren. Dit verschijnsel treedt in sterkere mate op bij golven die een hogere oploop veroorzaken, omdat de gemiddelde waterstand in de doorlatende kern hoger is dan de stilwaterlijn (Hölscher et al. (1988)). Het gevolg hiervan is dat de hogere oplopen sterker gereduceerd worden dan de lagere oplopen en de oploopverdeling smaller wordt (c neemt toe bij een grotere ξ_m).

Opvallend is de overeenkomst tussen het gedrag van de vormparameter van de oploopverdeling en het gedrag van de stabiliteitsparameter $H_s/\Delta D_{n50}$, welke in M1983 deel I is onderzocht. In figuur 6.17 zijn proefresultaten weergegeven waaruit de invloed van de golfsteilheid, taludhelling en doorlatendheid van de konstruktie op de stabiliteit blijkt. De overeenkomst met de vormparameter is frappant. Deze relatie tussen de breedte van de oploopverdeling en de stabiliteit zou in een volgend onderzoek nader onderzocht kunnen worden.

6.4.2.2 Brekende golven

Het gedrag van de vormparameter in een situatie van op het talud brekende golven kan worden beschreven met de volgende machtsfunctie:

$$c = k_1 \xi_m^{m_1} \quad \text{met } k_1 \text{ en } m_1 = f(P) \quad (6.8)$$

In de figuren 6.14-6.16 is de vormparameter uitgezet tegen de brekerparameter voor respectievelijk een ondoorlatende kern, een doorlatende kern en een homogene konstruktie. Hieruit blijkt dat de invloed op c van de doorlatendheid bij brekende golven niet aanwezig is of verloren gaat in de spreiding. De c-waarden van de proeven met een afwijkende doorlatendheid kunnen derhalve samengevoegd worden. De koëfficiënten k_1 en m_1 kunnen worden bepaald door middel van lineaire regressie, indien c en ξ_m op een logaritmische schaal worden uitgezet. Het resultaat is:

$$\text{brekende golven: } c = 3,0 \xi_m^{0,75} \quad (6.9)$$

6.4.2.3 Niet-brekende golven

Het gedrag van de vormparameter in een situatie van niet-brekende golven kan worden beschreven met de volgende machtsfunctie:

$$c = k_2 \xi_m^{m_2} \quad \text{met} \quad k_2 \text{ en } m_2 = f(\cot \alpha, P) \quad (6.10)$$

Per taludhelling en voor elke toegepaste doorlatendheid kunnen de coëfficiënten k_2 en m_2 bepaald worden. Het resultaat staat in tabel 6.1.

doorlatendheid	taludhelling $\cot \alpha$	k_2	m_2
ondoorlatende kern	2	1,73	0,01
	3	2,05	-0,01
	4	2,17	0,04
doorlatende kern	1,5	0,76	0,54
	2	1,09	0,34
	3	1,46	0,24
homogene konstruktie	2	0,85	0,57

Tabel 6.1 Waarden van regressie-coëfficiënten k_2 en m_2

De gemiddelde waarde van m_2 is voor de konstruktie met een ondoorlatende kern gelijk aan 0,01 en voor de konstruktie met een doorlatende kern gelijk aan 0,37. De waarde van m_2 voor de homogene konstruktie is 0,57.

In deel I van het verslag van dit modelonderzoek is de fiktieve doorlatendheidscoëfficiënt P geïntroduceerd, zie figuur 4.0 en paragraaf 4.1. Deze bedraagt:

- $P = 0,1$ voor een konstruktie met ondoorlatende kern;
- $P = 0,5$ voor een konstruktie met doorlatende kern en
- $P = 0,6$ voor een homogene golfbrekerkonstruktie.

De gemiddelde waarden van m_2 zijn afhankelijk van de doorlatendheid van de konstruktie. Zij blijken echter de P -waarde van de betrokken konstrukties te benaderen. Gezien de spreiding in de meetpunten is het verantwoord exponent m_2 gelijk te stellen aan de P -waarde. Dit verandert relatie (6.10) in:

$$c = k_3 \xi_m^P \quad \text{met} \quad k_3 = f(\cot \alpha, P) \quad (6.11)$$

De toenemende waarde van m_2 bij het doorlatender worden van de konstruktie uit zich in de figuren 6.14-6.16 in het steiler lopen van de lijnen. De invloed van de golfsteilheid neemt toe met het toenemen van de doorlatendheid.

De koëfficiënt k_3 is een funktie van de taludhelling en de doorlatendheid. De waarde van k_3 is per doorlatendheid en per taludhelling vermeld in tabel 6.2 en uitgezet in figuur 6.18.

doorlatendheid	taludhelling $\cot \alpha$	k_3	
		gem.	st.afw.
ondoorlatende kern	2	1,50	0,10
	3	1,82	0,10
	4	2,03	0,14
doorlatende kern	1,5	0,81	0,07
	2	0,89	0,09
	3	1,12	0,08
homogene konstruktie	2	0,82	0,05

Tabel 6.2 Gemiddelde waarde en standaardafwijkingen van koëfficiënt k_3

De invloed van de taludhelling kan beschreven worden door de machtsfunctie:

$$c = k_4 \xi_m^P \cot \alpha^{m_3} \quad \text{met} \quad k_4 = f(P) \quad (6.12)$$

De exponent m_3 is een regressie-koëfficiënt. Voor de ondoorlatende kern wordt hiervoor 0,44 en voor de doorlatende kern 0,47 gevonden. Een konstante waarde van 0,5 is voor m_3 gekozen, welke de invloed van de taludhelling goed kan beschrijven (figuur 6.18). De gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van k_4 zijn vermeld in tabel 6.3 en weergegeven in figuur 6.18. De invloed van de

doorlatendheid	k_4	
	gem.	st.afw.
ondoorlatende kern	1,04	0,07
doorlatende kern	0,65	0,06
homogene konstruktie	0,60	0,05

Tabel 6.3 Gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van coëfficiënten k_4

doorlatendheid op de vormparameter kan worden beschreven door coëfficiënt k_4 als een machtsfunctie van P uit te drukken:

$$c = k_5 P^{m_4} \xi_m^P \sqrt{\cot \alpha} \quad (6.13)$$

De coëfficiënt k_5 en exponent m_4 kunnen met regressie-analyse worden gevonden. Dit levert de uiteindelijke relatie op van de vormparameter voor een situatie van niet-brekende golven:

$$c = 0,52 P^{-0,3} \xi_m^P \sqrt{\cot \alpha} \quad (6.14)$$

6.4.2.4 Relaties vormparameter

De uiteindelijke relaties voor de vormparameter van de oploopverdeling zien er als volgt uit:

- brekende golven

$$c = 3,0 \xi_m^{-0.75} \quad (6.9)$$

- niet-brekende golven

$$c = 0,52 P^{-0,3} \xi_m^P \sqrt{\cot \alpha} \quad (6.14)$$

Deze relaties beschrijven het gedrag van de vormparameter onder invloed van de golfsteilheid, de taludhelling en de doorlatendheid van de konstruktie. De overgang tussen beide relaties wordt gegeven door de volgende vergelijking:

$$\xi_m = [5,77 P^{0,3} / \sqrt{\cot \alpha}]^{(1/P+0,75)} \quad (6.15)$$

Deze overgang is afhankelijk van taludhelling en doorlatendheid van de kern, en ligt tussen $\xi_m = 1,5$ en 3.

De relaties (6.9) en (6.14) zijn weergegeven in de figuren 6.14-6.16. Zij blijken de trend van de meetpunten goed te beschrijven.

6.4.2.5 Invloed spektrumvorm

Bij het bepalen van de waarde van de vormparameter voor de proeven met een smal spektrum doet zich een moeilijkheid voor. Rond de oploophoogte die door ongeveer 5% van de geregistreeerde oplopen wordt overschreden bevindt zich een knik in de oploopverdeling, welke niet door de Weibull verdeling kan worden beschreven. Als voorbeeld is in figuur 6.19 de gemeten oploopverdeling van proef 161 weergegeven. In deze figuur zijn tevens drie verdelingen getekend welke zijn benaderd met achtereenvolgens de oploophoogtes $Ru_{0,5}$ tot Ru_{37} , enige oploophoogtes welke zich boven deze knik, en enige oploophoogtes welke zich onder deze knik bevinden. Het gevolg van deze werkwijze is dat de beide laatste oploopverdelingen de oploophoogtes waarop zij zijn gebaseerd goed beschrijven, maar sterk afwijken van de overige oploophoogtes.

In de figuren 6.20-6.22 is de c-waarde uitgezet voor de proeven met het brede, het PM- en het smalle spektrum. Deze proeven zijn allen uitgevoerd met een konstruktie met ondoorlatende kern en taludhelling 1:3. Het verschil in deze figuren is veroorzaakt door de benaderingswijzen van c voor de proeven met het smalle spektrum, zoals weergegeven in figuur 6.19. De parameters van deze verschillende oploopverdelingen voor het smalle spektrum zijn vermeld in tabel 11. Uit deze figuren blijkt dat als c benaderd wordt met behulp van de lagere oploophoogtes, het verschil tussen de drie spektrumvormen nagenoeg is verdwenen. Alleen voor ξ_m groter dan 3 is de c-waarde voor het smalle spektrum nog iets kleiner dan bij de andere spektrumvormen. Dit verschil gaat bijna geheel verloren in de afwijking die kan ontstaan door het niet registreren van de laagste oplopen (paragraaf 6.3).

Op basis van deze waarnemingen lijkt de vorm van de oploopverdeling onafhankelijk te zijn van de spektrumvorm. Echter, bij toepassing van een zeer smal

spektrum blijkt het hoogste gedeelte van de oploopverdeling ($p < 2-10\%$) hiervan af te wijken en een extra hoge oploop op te leveren. De oorzaak hiervan, en of dit alleen voorkomt bij een zeer smal spektrum zou nader onderzocht moeten worden. Hierop wordt teruggekomen in paragraaf 6.4.3.2, bij de bespreking van de invloed van de spektrumvorm op de schaalparameter.

6.4.2.6 Invloed voorland

In figuur 6.23 zijn de c -waarden van de proeven met en zonder voorland uitgezet. De significante golfhoogte die in de brekerparameter wordt toegepast is gemeten bij de teen van de konstruktie. De beproefde golfbrekerkonstruktie heeft een doorlatende kern en een taludhelling 1:2.

Zoals ook in paragraaf 4.3.5 werd opgemerkt zijn de oploopverdelingen onder invloed van het voorland smaller geworden. Het effect hiervan bij de laagste waterstand ($h = 0,2$) is het grootst. Tevens is uit de figuur op te maken dat de proeven met de grootste significante golfhoogte (kleinste ξ_m -waarde) de smalste oploopverdeling opleveren.

In figuur 6.24 is de relatieve afwijking van de vormparameter ten opzichte van de c -waarde die volgt uit de empirische relaties (6.9) en (6.14) uitgezet tegen de relatieve waterdiepte h/H_s . Uit deze figuur blijkt dat bij een relatieve waterdiepte van ongeveer 2 à 3 en groter de invloed hiervan op de vormparameter verdwijnt.

De konklusie die uit de proeven met een voorland getrokken kan worden is dat als de golfhoogteverdeling, onder invloed van een geringe relatieve waterdiepte h/H_s , gaat afwijken van een Rayleigh verdeling dit van grote invloed is op de vorm van de oploopverdeling. De relaties (6.9) en (6.14) voor de vormparameter, gebaseerd op proeven waarin h/H_s groter is dan 4, mogen worden toegepast indien de relatieve waterdiepte groter is dan 2 à 3. In paragraaf 4.3.5 is reeds ingegaan op de invloed van een voorland op de golfhoogteverdeling.

6.4.3 Schaalparameter

6.4.3.1 Ontwikkeling relatie

In figuur 6.25 is b/H_s uitgezet tegen de brekerparameter ξ_m voor de proeven met een ondoorlatende kern. In de waarden van b/H_s is een invloed van de taludhelling aanwezig die niet door de brekerparameter beschreven wordt. De punten met verschillende taludhelling liggen iets verschoven ten opzichte van elkaar. Het ontbreken van proeven met $\cot \alpha = 2$ en een kleine waarde van ξ_m wordt ook hier als een gemis ervaren. In figuur 6.26 is b/H_s tegen ξ_m uitgezet voor de proeven met een doorlatende kern, in figuur 6.27 voor de homogene konstruktie. De meetpunten van de proefserie 198-202 (doorlatende kern, $\cot \alpha = 3$, $T_m = 2,2$ s) zijn niet in figuur 6.26 opgenomen. Zowel de gemeten oploop als de neerloop wijken zodanig af van de overige proefseries, dat getwijfeld wordt aan de juistheid van de metingen, met name aan de ijking van de oplooppeter.

De waarden van b/H_s bij een doorlatende kern, figuur 6.26, verspringen per taludhelling sterker dan bij de proeven met een ondoorlatende kern. Deze invloed van de taludhelling, die blijkbaar niet door de brekerparameter kan worden beschreven, is aanleiding de meetpunten uit te zetten tegen de golfsteilheid s_m . In figuur 6.28 is dit gedaan voor de proeven met een ondoorlatende kern, in figuur 6.29 voor een doorlatende kern en in figuur 6.30 voor de homogene konstruktie. In deze drie figuren neemt, ongeacht de doorlatendheid van de konstruktie, b/H_s af bij een toenemende golfsteilheid s_m . Gezien de grote spreiding in de meetpunten kan b/H_s , voor zowel brekende als niet-brekende golven, worden beschreven door één machtsfunctie:

$$b/H_s = k_6 \cdot s_m^{m_5} \quad \text{met} \quad k_6 \text{ en } m_5 = f(\cot \alpha, P) \quad (6.16)$$

De koëfficiënt en exponent kunnen met regressie-analyse per taludhelling en doorlatendheid van de konstruktie bepaald worden. Het resultaat is vermeld in tabel 6.4.

doorlatendheid	taludhelling cota	k_6	m_5
ondoorlatende kern	2	0,42	-0,22
	3	0,40	-0,21
	4	0,30	-0,25
doorlatende kern	1,5	0,42	-0,18
	2	0,33	-0,25
	3	0,31	-0,25
homogene konstruktie	2	0,56	-0,12

Tabel 6.4 Waarden van regressie-koëfficiënten k_6 en m_5

De waarde van m_5 voor de homogene konstruktie wijkt sterk af van de overige waarden. Dit is het gevolg van het geringe aantal meetpunten waarmee de regressie-analyse is uitgevoerd. Een op het oog ingetekende 'best-fit' lijn met een helling van -0,25 blijkt echter ook goed door de meetpunten te gaan. Uit deze waarde en de overige m_5 -waarden blijkt dat de invloed van de golfsteilheid nauwelijks verandert bij een variërende taludhelling en doorlatendheid. Koëfficiënt m_5 kan derhalve konstant worden gehouden. De gemiddelde m_5 -waarde is -0,23, afronden tot -0,25 is gezien de spreiding verantwoord. Relatie (6.16) verandert hierdoor in:

$$b/H_s = k_7 s_m^{-0,25} \quad \text{met} \quad k_7 = f(cota, P) \quad (6.17)$$

Koëfficiënt k_7 kan vervolgens per taludhelling en doorlatendheid bepaald worden. Het resultaat is vermeld in tabel 6.5 en weergegeven in figuur 6.31.

De konstrukties met een taludhelling 1:2 en 1:3 zijn uitgevoerd met meerdere variaties in doorlatendheid, respectievelijk drie en twee.

doorlatendheid	taludhelling cota	k ₇	
		gem.	st.afw
ondoorlatende kern	2	0,36	0,03
	3	0,34	0,03
	4	0,30	0,03
doorlatende kern	1,5	0,32	0,03
	2	0,33	0,04
	3	0,31	0,05
homogene konstruktie	2	0,36	0,05

Tabel 6.5 Gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van coëfficiënt k₇

Uit figuur 6.31 blijkt echter dat de doorlatendheid niet wezenlijk van invloed is op de waarde van coëfficiënt k₇, dus op de hoogte-ligging van de lijnen (6.17). De waarde van k₇ is onafhankelijk van de doorlatendheid. Voor de taluds met cota groter of gelijk aan 2 neemt k₇ af bij een toenemende cota. Bij de doorlatende konstruktie met cota = 1,5 wordt echter een lagere waarde van k₇ gevonden, lager dan de trend die de overige taludhellingen beschreven, aangeeft. Omdat niet bekend is hoe de oploop zich op een konstruktie met gelijke taludhelling (1:1,5) maar met afwijkende doorlatendheid gedraagt, en om de relatie voor de schaalparameter niet te gekompliceerd te maken, wordt het gedrag van coëfficiënt k₇ gebaseerd op de resultaten van de taludhellingen 1:2, 1:3 en 1:4. Deze resultaten kunnen beschreven worden met de relatie:

$$k_7 = 0,4 \text{ cota}^{-0,2} \quad (6.18)$$

De relatie voor de relatieve schaalparameter ziet er als volgt uit:

$$b/H_s = 0,4 s_m^{-0,25} \text{ cota}^{-0,2} \quad (6.19)$$

Deze relatie beschrijft de invloed van de golfsteilheid en de taludhelling op de relatieve schaalparameter. Voor een taludhelling flauwer dan 1:2 blijkt zij onafhankelijk te zijn van de doorlatendheid van de konstruktie. Voor een konstruktie met doorlatende kern en taludhelling 1:1,5 overschat relatie (6.19) de waarde van b/H_s met ongeveer 15%. Derhalve is aanvullend onderzoek noodzakelijk naar het gedrag van de oploop op taluds steiler dan 1:2 bij een vari-

ërende doorlatendheid van de konstruktie. Een eerste schatting zou kunnen zijn om voor $\cot\alpha < 2$, de waarde voor $\cot\alpha = 2$ aan te houden. Dit is met een streeplijn aangegeven in figuur 6.31.

Relatie (6.19) is uitgezet in de figuren 6.25-6.30.

6.4.3.2 Invloed spektrumvorm

In de figuren 6.32-6.34 is b/H_s uitgezet tegen ξ_m voor de drie toegepaste spektrumvormen. Zoals in paragraaf 6.4.2.5 is beschreven zijn de gemeten oploopverdelingen van de proeven met het smalle spektrum op drie manieren benaderd door een Weibull verdeling: gebaseerd op de oploophniveaus $Ru_{37}-Ru_{0,5}$ (figuur 6.32), gebaseerd op de bovenste tak van de oploopverdeling ($p < 5$ à 10%) (figuur 6.33) en gebaseerd op de onderste tak van de oploopverdeling (figuur 6.34).

De schaalparameter bij toepassing van het brede spektrum wijkt gemiddeld weinig af van die voor het PM-spektrum. De spreiding in de meetpunten is echter groter. Er zullen echter meerdere proeven met andere taludhellingen moeten worden uitgevoerd om een beter beeld van de invloed van het brede spektrum op de schaalparameter te krijgen.

De waarde van de schaalparameter bij toepassing van het smalle spektrum blijkt, evenals de vormparameter (paragraaf 6.4.2.5), afhankelijk te zijn van de wijze waarop deze parameter wordt bepaald. Wordt de Weibull verdeling gebaseerd op het onderste gedeelte van de verdeling, dan blijkt de schaalparameter gelijkmatig af te nemen bij het smaller worden van het spektrum. De reducerende werking van de toenemende gegroeptheid van golven kan hieraan ten grondslag liggen. Door deze schaalparameter te hanteren worden de hogere oploophniveaus ($p < 5$ à 10%) systematisch onderschat. De Weibull verdeling is echter niet in staat dit verschijnsel te beschrijven.

Zoals ook in paragraaf 6.4.2.5 is opgemerkt dient de invloed van de spektrumvorm bij meerdere taludhellingen en bij een variërende doorlatendheid van de konstruktie onderzocht te worden en moet extra aandacht worden besteed aan spektra die, wat betreft hun vorm, liggen tussen het PM-spektrum en het hier toegepaste smalle spektrum. Dit kan gedaan worden door JONSWAP-spektra met

verschillende gepiektheden toe te passen. Daarmee zou een beter oordeel kunnen worden gegeven over het bovenste gedeelte van de oploopverdeling, bijvoorbeeld bij welke spektrumvorm zich de knik in de oploopverdeling gaat vormen.

In figuur 6.35 is de schaalparameter voor de drie spektrumvormen nog eens uitgezet tegen de brekerparameter ξ_p , welke bepaald is met de piekperiode T_p . Ook hier verschijnt het beeld dat in hoofdstuk 4 (figuren 4.13 en 4.14) naar voren kwam. De hoogste waarden van b/H_s worden bereikt door het PM-spektrum, het brede en het smalle spektrum leveren lagere waarden op. Dit onduidelijke beeld ondersteunt de keuze om de gemiddelde golfperiode T_m in de brekerparameter toe te passen.

6.4.3.3 Invloed voorland

In figuur 6.36 zijn de waarden van b/H_s van de proeven met en zonder voorland uitgezet. De relatieve schaalparameter van de verdeling van de oploop op een konstruktie met voorland en een waterdiepte van 0,4 m bij de teen van de konstruktie is niet verandert in vergelijking tot een situatie zonder voorland. De absolute waarde van de schaalparameter is derhalve evenredig toegenomen met de significante golfhoogte onder invloed van het 'shoaling-effekt'.

Bij de konstruktie met voorland en een waterdiepte van 0,2 m voor de konstruktie is de relatieve schaalparameter sterk toegenomen. Ook dit is het gevolg van 'shoaling' van de kleinere golven. De hogere golven breken op het voorland en veroorzaken een smalle oploopverdeling.

6.5 Toetsing empirische oploopverdeling aan proefresultaten

De benadering van (ongeveer) het hoogste eenderde deel van de oploopverdeling bestaat uit de relaties (6.5), (6.9), (6.14) en (6.19). Deze empirische oploopverdeling kan aan de proefresultaten worden getoetst door voor diverse overschrijdingsniveaus de gemeten relatieve oploophoogte te vergelijken met de benaderde relatieve oploophoogte welke berekend kan worden volgens:

$$R_{u_p}/H_s = b/H_s (-\ln p)^{1/c}$$

Deze vergelijking wordt uitgevoerd voor de overschrijdingspercentages 0,5%, 2%, 13,5% (ongeveer overeenkomend met de gemeten significante relatieve oploop) en 20%. De golfsteilheden in de benadering variëren van 0,005 tot 0,07. Alle proeven zijn uitgevoerd met het PM-spektrum.

In de figuren 6.37 en 6.38 zijn de gemeten en benaderde relatieve oploophoogten voor een konstruktie met ondoorlatende kern ($P = 0,1$) weergegeven. De overeenkomst is goed. In de figuren 6.39 en 6.40 wordt deze vergelijking uitgevoerd voor een konstruktie met doorlatende kern ($P = 0,5$). De overeenkomst voor de proeven met $cot\alpha = 2$ en 3 is goed, ondanks de vrij grote spreiding van de meetpunten. De oploop op de doorlatende konstruktie met een taludhelling van 1:1,5 wordt overschat door de ontwikkelde oplooprelaties. Dit was reeds opgemerkt bij het presenteren van de relatie voor de schaalparameter, relatie (6.19). Daar werd een overschatting van gemiddeld 15% verwacht. Het gedrag van de oploop op taludhellingen van 1:1,5 en steiler kan pas beter beschreven worden als er proefresultaten bekend zijn met meer en minder doorlatende stortsteenkonstrukties. In de figuren 6.41 en 6.42 wordt een vergelijking gemaakt tussen gemeten en benaderde oploop op een konstruktie met taludhelling 1:2 en variërende doorlatendheid ($P = 0,1$, $0,5$ en $0,6$). De vergelijking wordt bemoeilijkt door het ontbreken van meetpunten voor een grote golfsteilheid bij de konstruktie met een ondoorlatende kern en het geringe aantal meetpunten voor de homogene konstruktie. De overeenkomst tussen de gemeten en de benaderde oploop in deze figuren is goed.

In paragraaf 6.3 zijn enige gemeten oploopverdelingen gepresenteerd, welke tezamen met de 'best-fit' Weibull verdelingen in de figuren 6.5-6.13 zijn weergegeven. Het betreft allen geregistreerde verdelingen afkomstig van proeven die zijn uitgevoerd met een PM-spektrum. In deze figuren zijn ook de, met relaties (6.9), (6.14) en (6.19), benaderde oploopverdelingen getekend. Deze benaderde verdelingen blijken een goede beschrijving van de gemeten verdelingen te zijn; de vorm en de schaal van de gemeten verdelingen worden er goed door weergegeven. Echter ook hier moet een uitzondering gemaakt worden voor de proef met een doorlatende kern een taludhelling 1:1,5 (proef 220). De vorm van de benaderde verdeling is goed, de schaal wordt overschat.

6.6 Samenvatting en toepassing empirische oploopverdeling

Op basis van modelproeven zijn relaties ontwikkeld waarmee de verdeling van de oploop op een stortsteen talud benaderd kan worden. Bij deze benadering is uitgegaan van de Weibull verdeling voor de oploop:

$$\bullet \quad p = \Pr \{ \underline{Ru} > Ru_p \} = \exp \left\{ - \left(\frac{Ru_p}{b} \right)^c \right\} \quad (6.5)$$

De schaalparameter b is benaderd met één relatie:

$$\bullet \quad b/H_s = 0,4 s_m^{-0,25} \cot \alpha^{-0,2} \quad (6.19)$$

De benadering van de vormparameter c valt uiteen in twee relaties:

- brekende golven

$$c = 3,0 \xi_m^{-0,75} \quad (6.9)$$

- niet-brekende golven

$$c = 0,52 P^{-0,3} \xi_m^P \sqrt{\cot \alpha} \quad (6.14)$$

De overgang van relatie (6.9) naar relatie (6.14) is afhankelijk van de taludhelling en doorlatendheid van de konstruktie en kan bepaald worden met de volgende vergelijking:

$$\xi_m = [5,77 P^{0,3} \sqrt{\tan \alpha}]^{\frac{1}{P+0,75}} \quad (6.15)$$

In figuur 6.43 is relatie (6.19) in een $b/H_s - \xi_m$ grafiek uitgezet voor drie taludhellingen. De golfsteilheid s_m is gevarieerd van 0,005 tot 0,07. Relatie (6.19) is toepasbaar voor taludhellingen $\cot \alpha \geq 2$. Uitbreiding naar steilere taludhellingen is niet mogelijk gebleken op basis van de gegevens die uit dit modelonderzoek zijn voortgekomen. Met name over de eventuele invloed van de doorlatendheid op de schaalparameter bij steilere taludhellingen is te weinig bekend. In eerste instantie kan voor $\cot \alpha \leq 2$ de waarde voor $\cot \alpha = 2$ worden aangehouden.

In figuur 6.44 zijn de relaties (6.9) en (6.14) uitgezet. In de bovenste grafiek is dit gedaan voor een konstruktie met een ondoorlatende kern ($P = 0,1$), in de onderste grafiek voor een konstruktie met een doorlatende kern ($P = 0,5$). Zie voor P ook figuur 4.0.

De oploopverdeling blijkt afhankelijk te zijn van de vorm van het energiespektrum. De hier weergegeven relaties zijn gebaseerd op proeven die zijn uitgevoerd met een Pierson-Moskowitz spektrum. Grote afwijkingen worden echter pas verwacht bij zeer smalle spektra (spektrale vormparameter $\kappa > 0,8$).

De relaties zijn gebaseerd op resultaten die zijn verkregen uit modelmetingen, en zijn derhalve niet gecorrigeerd voor eventueel optredende schaafeffekten.

De golfhoogteverdeling van een onregelmatig golfveld dat een konstruktie met voorland nadert zal zich wijzigen, door het breken van golven en door 'shoaling', indien de relatieve waterdiepte gering wordt. Uit proeven met een voorland is gebleken dat de oploopverdeling, die sterk afhankelijk is van de golfhoogteverdeling, ongewijzigd blijft bij een relatieve waterdiepte h/H_s voor de konstruktie groter dan 2 à 3.

De invloed van de schaal- en vormparameter op de oploopverdeling kan verduidelijkt worden met een voorbeeld. Hierin wordt uitgegaan van een konstruktie met een doorlatende kern ($P = 0,5$) en een taludhelling 1:3 ($\cot \alpha = 3$). De parameters b en c zijn nu alleen nog afhankelijk van de golfhoogte en golfperiode, het golfklimaat. De overgang van relatie (6.9) naar (6.14) voor de berekening van de vormparameter is vastgelegd door de keuze van P en $\cot \alpha$. Volgens vergelijking (6.15) ligt deze overgang bij $\xi_m = 2,22$. De taludhelling is $\cot \alpha = 3$, de bijbehorende golfsteilheid is $s_m = 0,023$. De oploophoogte bij een bepaalde overschrijdingskans p kan worden berekend door de verdeling als volgt te schrijven:

$$Ru_p = b [-\ln p]^{-1/c}$$

In figuur 6.45 zijn de oploopverdelingen getekend die ontstaan bij de volgende golfsituaties:

1. $H_S = 2 \text{ m}$; $T_m = 4,6 \text{ s}$ ($s_m = 0,060$ en $\xi_m = 1,36$).
Volgens relatie (6.9) bedraagt $c = 2,39$ en volgens (6.19) is $b/H_S = 0,65$ en dus $b = 1,29$.
2. $H_S = 2 \text{ m}$; $T_m = 7,5 \text{ s}$ ($s_m = 0,023$ en $\xi_m = 2,21$).
Hieruit volgt $c = 1,66$, $b/H_S = 0,83$ en $b = 1,67$.
3. $H_S = 2 \text{ m}$; $T_m = 16,0 \text{ s}$ ($s_m = 0,005$ en $\xi_m = 4,71$).
Hieruit volgt $c = 2,41$, $b/H_S = 1,21$ en $b = 2,41$.
4. $H_S = 4 \text{ m}$; $T_m = 7,5 \text{ s}$ ($s_m = 0,046$ en $\xi_m = 1,56$).
Hieruit volgt $c = 2,51$, $b/H_S = 0,69$ en $b = 2,78$.

De golfsituaties 1, 2 en 3 hebben een gelijke H_S en een respectievelijk toenemende T_m . Hiermee ontstaan situaties met brekende (1) en niet-brekende golven (3) op het talud en het overgangsgebied hier tussen (2). De invloed hiervan op de oploopverdeling is heel duidelijk. Opvallend is de verdeling bij situatie 2. De gemiddelde oploop is ongeveer 20% hoger dan bij golfsituatie 1. De oploop die door 0,5% wordt overschreden is echter circa 70% hoger dan in situatie 1.

In golfsituatie 4 is H_S tweemaal zo groot als in situatie 2, de golfperioden zijn gelijk. In situatie 4 breken hierdoor meer golven op het talud en wordt de verdeling van R_{up}/b smaller. De verdeling van R_{up} is door de tweemaal zo grote H_S natuurlijk wel breder geworden.

Op dezelfde wijze kunnen vergelijkingen gemaakt worden tussen oploopverdelingen op konstrukties met variërende taludhellingen en/of doorlatendheid van de kern.

6.7 Nauwkeurigheid oploopverdeling

De relaties voor de schaal- en vormparameter van de Weibull oploopverdeling zijn gebaseerd op vele meetpunten die, uitgezet tegen de golfsteilheid of brekerparameter, een zekere spreiding vertonen. Mogelijke oorzaken van deze spreiding zijn reeds genoemd in paragraaf 5.3. De belangrijkste oorzaken (in grootte) zijn het verlopen van het nulniveau van de oplooppeter en de afwij-

king die optreedt bij de interpretatie van het oploopsignaal. De orde van grootte van deze spreiding volgt uit de herhalingsproeven 98 en 105-107.

proeven 98, 105-107	b/H_s	c
gem. waarde	0,788	2,50
hoogste waarde	0,864 (10%)	3,04 (22%)
laagste waarde	0,691 (12%)	2,14 (15%)
waarde vlgs. relaties (6.19) resp. (6.9)	0,763	2,31

De waarden tussen haakjes zijn de procentuele afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde waarde. De spreiding van de relatieve schaalparameter is even groot als de spreiding die optreedt bij de relatieve oplooptniveaus (paragraaf 5.3). De spreiding van de vormparameter is daarentegen groter. Dit is typerend voor de waarden van c in dit gebied van de brekerparameter ($\xi_m < 2$). De oplooptverdelingen zijn hier smaller dan een Rayleigh verdeling ($c > 2$) en de c-waarden zijn hier vrij gevoelig voor een kleine verandering in de gemeten oplooptverdeling. Andersom kan derhalve ook gezegd worden dat een zekere spreiding in c, bij een smalle verdeling, geen grote invloed heeft op de vorm van de oplooptverdeling. In figuur 6.46 is de invloed van c op enkele genormaliseerde oplooptniveaus Ru_p/b zichtbaar gemaakt. In deze figuur is te zien dat een afwijking van bijvoorbeeld 10% bij $c = 3$ een veel kleinere invloed heeft op de waarden van Ru_p/b dan dezelfde afwijking bij $c = 1,5$. Bij Ru_2/b levert dit voor $c = 1,5$ een spreiding op van gemiddeld 9%, voor $c = 3$ is dat 5%.

In paragraaf 6.5 zijn enige oplooptniveaus benaderd met behulp van de relaties voor de oplooptverdeling. De resultaten hiervan zijn uitgezet in de figuren 6.37-6.42. De spreiding van de meetpunten rond deze relaties blijkt geringer te zijn dan bij de relaties voor de relatieve oplooptniveaus (hoofdstuk 5). Voor de proeven met een ondoorlatende kern bevindt 90% van de meetpunten zich binnen het interval $\pm 10\%$, voor de doorlatende konstruktie is dit $\pm 15\%$. Hierbij moet de kanttekening worden gezet dat alleen hogere oplooptniveaus ($p \leq 20\%$) beschouwd zijn, en dat de meetpunten voor de konstruktie met een doorlatende kern en $\cot \alpha = 1,5$ achterwege zijn gelaten.

De relaties voor de oploopverdeling, gebaseerd op 'best fit' krommen, kunnen voor een ontwerp worden gebruikt mits men bedenkt welke afwijkingen hiervan mogelijk zijn.

REFERENTIES

Ahrens, J.P., Irregular wave run-up on smooth slopes, CERC Technical Paper No. 81-17, Fort Belvoir, december 1981.

Ahrens, J.P., Wave run-up on idealized structures, Proc. Coastal Structures 1983, ASCE, Arlington, 1983.

Allsop, N.W.H., Franco, L. en Hawkes, P.J., Wave run-up on steep slopes, Hydraulic Research, Report No. SR1, Wallingford, maart 1985.

Battjes, J.A., Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves, thesis, Delft University of Technology, 1974.

Battjes, J.A. en Roos, A., Characteristics of flow in run-up of periodic waves, Delft University of Technology, Report No. 75-2, 1975.

Battjes, J.A. en Vledder, G.P. van, Verification of Kimura's theory for wave group statistics, Proc. 19th Coastal Eng. Conf., Houston, 1984.

Bretschneider, C.L., Wave variability and wave spectra for wind-generated gravity waves, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Techn. Mem. 118, 1959.

Bruun, P. en Günbak, A.R., Stability of sloping structures in relation to $\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L_0}$ risk criteria in design, Coastal Engineering 1, Elsevier, Amsterdam, 1977.

Fischer, R.A. en Tippett, L.C.H., Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample, Proc. Cambridge Phil. Soc., No. 24, 1928.

Günbak, A.L., Rubble-mound breakwater, University of Trondheim, Report 1-1979, 1979

REFERENTIES (vervolg)

- Hölscher, P., De Groot, M.B. en Van der Meer, J.W., Simulation of internal water movement in breakwaters. Proc. Modelling Soil-Water Structure Interactions, SOWAS 88, Delft. Balkema, Rotterdam.
- Houmb, O.G. en Overvik, T., On the statistical properties of 115 wave records from the Norwegian Continental Shelf, Div. of Port and Ocean Eng., University of Trondheim, 1977.
- Hunt, I.A., Design of seawalls and breakwaters, Proc. ASCE, WW3, september 1959.
- Iribarren, C.R. en Nogales, C., Protection des ports, 17th Int. Navigation Congress, Lisbon, 1949.
- Keller, J.B., Tsunamis - Water waves produced by earthquakes, Tsun. Hydrodyn. Conf., Honolulu, 1961.
- Losada, M.A. en Giménez-Curto, L.A., Mound breakwaters under wave attack, University of Santander, Spanje, 1979.
- Méhauté, B. le, Koh, R.C.Y. en Hwang, L., A synthesis on wave run-up, Proc. ASCE, Vol. 94, No. WW1, februari 1968.
- Miche, R., Mouvements ondulatoires de la mer en profondeurs constante ou décroissante, Annales des Ports et Chaussées, 114e Année, 1944.
- Oorschot, J.H. van en d'Angremond, K., The effect of wave energy spectra on wave run-up, Proc. 11th Coastal Eng. Conf., London, 1968.
- Pocklington, H.C., Standing waves parallel to a plane beach, Proc. Cambridge Phil. Soc., Vol. 20, 1921.
- Rye, H. en Lervik, E., Wave grouping studied by means of correlation techniques, Int. Symp. on Hydronamics in Ocean Eng., Trondheim, 1981.

REFERENTIES (vervolg)

Savage, R.P., Wave run-up on roughened and permeable slopes, Proc. ASCE, Vol. 84, No. WW3, 1958.

Saville, T., Wave run-up on shore structures, Proc. ASCE, Vol. 82, No. WW2, 1956.

Saville, T., An approximation of the wave run-up frequency distribution, Proc. 8th Coastal Eng. Conf., Mexico, 1962.

Sawaragi, T., Iwata, K. en Nobuto, W., Run-up height and period of irregular waves on gentle slopes, Coastal Engineering in Japan, Vol. 26, 1983.

Stam, C.J.M., De korrelatieparameter in de twee-dimensionale Rayleigh kansdichtheidsfunctie voor opeenvolgende golfhoogten, Waterloopkundig Laboratorium, Rapport M1983/H198, afstudeerverslag Technische Universiteit Delft, 1988.

Technische adviescommissie voor de waterkeringen, golfoploop en golfoverslag, Den Haag, 1972.

Thompson, D.M. en Shuttler, R.M., Riprap design for wind wava attack, Hydraulic Research, Report EX707, Wallingford, 1975.

Thompson, E.F. en Seeling, W.N., High wave grouping in shallow water, Proc. ASCE, Journal of WPC and OE, Vol. 110, No. 2, mei 1984.

Vries, M. de, Waterloopkundig Onderzoek, Collegehandleiding b80, Technische Universiteit Delft, 1977.

Waterloopkundig Laboratorium - M1216, Grindstranden, Verslag Modelonderzoek, delen I-V, december 1974-juni 1981.

Waterloopkundig Laboratorium - M1809, Taluds van losgestorte materialen, Verslag Modelonderzoek, delen I en II, september-oktober 1987.

LIJST VAN TABELLEN

- 1 Overzicht proevenprogramma
- 2 Proefgegevens
- 3 Gemeten oploophoogten
- 4 Afgeleide relatieve oploophoogten
- 5 Parameters in relatie tot golfgegroeptheid
- 6 'Best fit'-koëfficiënten a , b en c voor relatie (5.1) en (5.2); ondoorlatende kern
- 7 Koëfficiënten a , b en c met toepassingsgebied; ondoorlatende kern
- 8 Maximale waarden van R_{u_p}/H_s ; doorlatende kern
- 9 Eerste analyse oploopverdeling
- 10 Weibull parameters
- 11 Weibull parameters voor de proeven met een smal spectrum

LIJST VAN FIGUREN

- 2.1 Relatieve oploop ten gevolge van regelmatige golven op gladde en ruwe taluds
- 2.2 Oploopverdelingen op een glad talud, verkregen met de hypothese van equivalentie, TAW (1972)
- 2.3 Oploopverdelingen door Van Oorschot en d'Angremond (1968)
- 2.4-5 Relatieve oploop op een glad talud, onregelmatige golven, Ahrens (1981)
- 2.6 Relatieve oploop ten gevolge van onregelmatige golven op een glad talud
- 2.7 Relatieve oploop op een stortsteen talud, onregelmatige golven, Thompson en Shuttler (1975)
- 2.8 Invloed stortsteendiameter op de relatieve oploop, Thompson en Shuttler (1975)
- 2.9 Relatieve oploop op een ruw, doorlatend talud, onregelmatige golven, Allsop, Franco en Hawkes (1985)
- 2.10 Relatieve oploop ten gevolge van onregelmatige golven

- 3.1 Proefopstelling Scheldegoot
- 3.2 Het model met een ondoorlatende kern
- 3.3 Doorsnede stortsteenkonstrukties Deltagoot
- 3.4 Definitieschets oploophoogte

- 4.0 De doorlatendheidscoëfficiënt P
- 4.1-2 Relatieve oploop; $D85/D15 = 2,25$
- 4.3-4 Invloed gradering $D85/D15$
- 4.5-6 Relatieve oploop; ondoorlatende kern, PM-spektrum
- 4.7 2-procents-oplooprelaties; ondoorlatende kern
- 4.8 Relatieve oploop op gladde (Ahrens, 1981) en stortsteen taluds
- 4.9 Vergelijking van spektra met gelijke spektrale momenten m_0 en m_2 , toegepast voor M1983
- 4.10 Definitieschets golfhoogte en golfgroeplengte
- 4.11-12 Invloed spektrumvorm/golfgroeptheid
- 4.13-14 $Ru_p/H_s - \xi_p$, invloed spektrumvorm/golfgroeptheid
- 4.15 Relatie spektrale vormparameter - gemiddelde groeplengte
- 4.16 Model met doorlatende kern en homogene konstruktie

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- 4.17-18 Invloed doorlatendheid; doorlatende kern.
- 4.19-20 Invloed doorlatendheid; homogene konstruktie en dikke filterlaag op ondoorlatende kern
- 4.21 Model met voorland 1:30
- 4.22 Invloed voorland op golfhoogteverdeling; $h = 0,40$ m
- 4.23 Invloed voorland op golfhoogteverdeling; $h = 0,20$ m
- 4.24-25 Invloed voorland, H_s voor de konstruktie
- 4.26 Proeven met hoge en lage dichtheid stortsteen

- 5.1 Verstoring Rayleigh verdeling door onjuiste interpretatie

- 6.1 Oploopverdelingen op basis van relaties (5.1) en (5.2), voor PM- en smal spektrum
- 6.2 Weibull verdeling
- 6.3 Aantal geregistreeerde oplopen in verhouding tot aantal golven; ondoorlatende kern, PM-spektrum
- 6.4 Aantal geregistreeerde oplopen in verhouding tot aantal golven; doorlatende kern en homogene konstruktie, PM-spektrum
- 6.5 Oploopverdeling proef 4
- 6.6 Oploopverdeling proef 11
- 6.7 Oploopverdeling proef 34
- 6.8 Oploopverdeling proef 74
- 6.9 Oploopverdeling proef 84
- 6.10 Oploopverdeling proef 208
- 6.11 Oploopverdeling proef 220
- 6.12 Oploopverdeling proef 251
- 6.13 Oploopverdeling proef 268
- 6.14 Vormparameter, ondoorlatende kern, PM-spektrum
- 6.15 Vormparameter, doorlatende kern, PM-spektrum
- 6.16 Vormparameter, homogene konstruktie, PM-spektrum
- 6.17 Gedrag stabiliteitsparameter $H_s / \Delta D_{n50}$
- 6.18 Koëfficiënt k_3 als funktie van $\cot \alpha$ en P ;
koëfficiënt k_4 als funktie van P
- 6.19 Geregistreeerde en benaderde oploopverdelingen van proef 161, smal spektrum

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- 6.20 Vormparameter, invloed spektrumvorm (smal spektrum: c gebaseerd op $Ru_{0,5}-Ru_{37}$)
- 6.21 Vormparameter, invloed spektrumvorm (smal spektrum: c gebaseerd op bovenste tak oploopverdeling)
- 6.22 Vormparameter, invloed spektrumvorm (smal spektrum: c gebaseerd op onderste tak oploopverdeling)
- 6.23 Vormparameter, invloed voorland
- 6.24 Invloed h/H_s op relatieve afwijking vormparameter
- 6.25 Schaalparameter, doorlatende kern, PM-spektrum
- 6.26 Schaalparameter, doorlatende kern, PM-spektrum
- 6.27 Schaalparameter, homogene kern, PM-spektrum
- 6.28 b/H_s-s_m , ondoorlatende kern, PM-spektrum
- 6.29 b/H_s-s_m , doorlatende kern, PM-spektrum
- 6.30 b/H_s-s_m , homogene konstruktie, PM-spektrum
- 6.31 Koëfficiënt k_7 als functie van $cota$ en P
- 6.32 Schaalparameter, invloed spektrum (smal spektrum: b gebaseerd op $Ru_{0,5}-Ru_{37}$)
- 6.33 Schaalparameter, invloed spektrumvorm (smal spektrum: b gebaseerd op bovenste tak oploopverdeling)
- 6.34 Schaalparameter, invloed spektrumvorm (smal spektrum: b gebaseerd op onderste tak oploopverdeling)
- 6.35 $b/H_s - \xi_p$, invloed spektrumvorm
- 6.36 Schaalparameter, invloed voorland
- 6.37-38 $Ru_p/H_s - \xi_m$, vergelijking metingen met relaties oploopverdeling; ondoorlatende kern, PM-spektrum
- 6.39-40 $Ru_p/H_s - \xi_m$, vergelijking metingen met relaties oploopverdeling; doorlatende kern, PM-spektrum
- 6.41-42 $Ru_p/H_s - \xi_m$, vergelijking metingen met relaties oploopverdeling; variërende doorlatendheid
- 6.43 Relatie schaalparameter, invloed taludhelling
- 6.44 Relaties vormparameter, invloed taludhelling en doorlatendheid
- 6.45 Benaderde oploopverdelingen
- 6.46 Invloed van de vormparameter c op Ru_p/b

LIJST VAN SYMBOLEN

Deze lijst bevat de belangrijkste symbolen die in de tekst zijn gebruikt. Variabelen die slechts plaatselijk in de tekst zijn gebruikt, zijn niet in deze lijst opgenomen. Sommige symbolen hebben meer dan één betekenis; uit de kontekst blijkt welke betekenis bedoeld wordt.

b	schaalparameter van de Weibull verdeling	
c	vormparameter van de Weibull verdeling	[1]
D	diameter	[m]
	index n: nominale diameter $(w/\rho_a)^{1/3}$	
	index 15: zeefdiameter die door 15% van de steen wordt onderschreden	
	index 50: idem, nu bij 50%	
	index 85: idem, nu bij 85%	
f	golffrequentie	[Hz]
g	zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]
H	golfhoogte	[m]
	index o: golfhoogte op diepwater	
	index s: significante golfhoogte; gemiddelde waarde van het hoogste eenderde deel van de inkomende golven in een onregelmatige golftrein	
h	waterdiepte	[m]
j ₁	golfgroeplengte	[-]
j ₂	totale golfgroeplengte	[-]
K	kompressibiliteit	[kg/ms ²]
L	golflengte	[m]
	index o: diepwater golflengte	
	index m: diepwater golflengte voor onregelmatige golven, berekend met T_m	
	index p: idem, berekend met T_p	
m _n	n-de orde moment van S(f) ten opzichte van f = 0	[m ²]
P	doorlatendheidscoëfficiënt	[-]
Ru	golfoploophoogte	[m]
	index m: gemiddelde golfoploophoogte	
	index max: maximale golfoploophoogte	
	index p: golfoploophoogte dat door p% van het aantal geregistreerde oplopen wordt overschreden	
	index s: significante golfoploophoogte	

LIJST VAN SYMBOLEN (vervolg)

$S()$	éénzijdig gedefinieerd variantiedichttheidspektrum van de oppervlakteuitwijking	$[m^2/Hz]$
s_m	golfsteilheid (H_s/L_{om})	$[-]$
T	golfperiode	$[s]$
	index m: gemiddelde periode	
	index p: periode behorende bij de piek van het energiespektrum	
W_{50}	massa van de steen die door 50% wordt onderschreden	$[kg]$
α	taludhelling	$[^\circ]$
Δ	relatieve massadichtheid	$[-]$
κ	spektrale vormparameter	$[-]$
ν	kinematische viscositeit	$[m^2/s]$
ξ	brekerparameter ($\tan\alpha/\sqrt{H/L}$)	$[-]$
	index m: voor onregelmatige golven op diepwater, berekend met T_m	
	index p: idem, berekend met T_p	
ρ	massadichtheid van water	$[kg/m^3]$
ρ_a	massadichtheid van steen	$[kg/m^3]$
σ	oppervlaktespanning	$[kg/s^2]$
ψ	hoek van golfinval	$[^\circ]$

	talud cot	gradatie D85/D15	Tm (s)	Hs (m)	proeven
relatie Hs - Tm	2	2,25	1,9-3,1	0,05-0,09	1-19
relatie Hs - Tm	3	2,25	1,9-3,1	0,08-0,13	21-34 56-61
relatie Hs - Tm	3	1,25	1,3-3,0	0,07-0,17	35-55
relatie Hs - Tm	4	2,25	1,4-3,2	0,07-0,20	62-82
relatie Hs - Tm	4	1,25	1,4-2,3	0,07-0,20	83-102
herhalingsproeven	4	1,25	1,8	0,15	105-107
	3	2,25	3,1	0,11	189
dikke filterlaag	3	2,25	2,2	0,07-0,12	152-156
doorlatende kern	3	1,25	1,3-3,0	0,10-0,18	198-216
doorlatende kern	2	1,25	1,3-3,0	0,09-0,16	217-236
doorlatende kern	1,5	1,25	1,3-3,0	0,08-0,15	237-257
homogene dam	2	1,25	1,3-3,0	0,10-0,19	258-273
voorland 1:30	2	1,25	1,7 en 2,2	0,09-0,16	274-289
lage dichtheid	2	1,25	1,2 en 1,6	0,05-0,09	901-910
hoge dichtheid	2	1,25	1,9 en 2,4	0,11-0,18	911-920
Deltagoot ondoorlatende kern	3	1,38	4,4	0,77-1,18	D10-D15
Deltagoot ondoorlatende kern	3	1,38	4,4	0,50-0,85	D16-D20

Tabel 1 Overzicht proevenprogramma

proef nr	opmerking	kern door- latend	D85/D15 (-)	cot α (-)	spectrum	Hs (m)	Tz (s)	ξ_z (-)	Tp (s)	ξ_p (-)	proef nr
1	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0703	1.85	4.36	2.13	5.02	1
2	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0858	1.85	3.95	2.08	4.44	2
3	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0464	1.85	5.37	2.13	6.18	3
4	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0772	1.85	4.16	2.13	4.79	4
5	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0701	1.85	4.37	2.13	5.03	5
6	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0733	2.19	5.05	2.56	5.91	6
7	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0827	2.18	4.74	2.53	5.50	7
8	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0657	2.19	5.34	2.60	6.34	8
9	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0557	2.19	5.80	2.56	6.78	9
10	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0795	2.19	4.85	2.56	5.67	10
11	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0751	2.69	6.13	3.13	7.14	11
12	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0658	2.69	6.55	3.13	7.62	12
13	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0553	2.69	7.15	3.13	8.32	13
14	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0841	2.68	5.77	3.17	6.83	14
15	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0931	2.68	5.49	3.17	6.49	15
16	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0871	3.11	6.58	3.85	8.15	16
17	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0756	3.13	7.11	3.64	8.27	17
18	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0942	3.08	6.27	3.70	7.53	18
19	stortsteen	-	2.25	2	PM	.0818	3.13	6.84	3.70	8.08	19
21	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1177	2.18	2.65	2.53	3.07	21
22	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0995	2.21	2.92	2.56	3.38	22
23	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0858	2.19	3.11	2.53	3.60	23
24	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1085	2.19	2.77	2.53	3.20	24
25	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0705	2.17	3.40	2.53	3.97	25
26	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1173	2.65	3.22	3.17	3.86	26
27	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0996	2.66	3.51	3.08	4.06	27
28	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0844	2.67	3.83	3.08	4.42	28
29	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0920	2.65	3.64	3.13	4.30	29
30	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1059	2.67	3.42	3.08	3.94	30
31	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1160	3.08	3.77	3.57	4.37	31
32	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1051	3.12	4.01	3.51	4.51	32
33	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0950	3.18	4.30	3.57	4.82	33
34	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0830	3.14	4.54	3.57	5.16	34
35	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1098	2.20	2.77	2.53	3.18	35
36	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1002	2.21	2.91	2.50	3.29	36
37	stortsteen	-	1.25	3	PM	.0860	2.20	3.12	2.50	3.55	37
38	stortsteen	-	1.25	3	PM	.0742	2.19	3.35	2.50	3.82	38
39	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1188	2.20	2.66	2.47	2.98	39
40	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1285	2.20	2.56	2.50	2.90	40
41	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1221	1.77	2.11	2.04	2.43	41
42	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1004	1.76	2.31	2.04	2.68	42
43	stortsteen	-	1.25	3	PM	.0799	1.77	2.61	2.02	2.98	43
44	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1369	1.70	1.91	2.02	2.27	44
45	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1123	1.77	2.20	2.01	2.50	45
46	stortsteen	-	1.25	3	PM	.0981	1.31	1.74	1.37	1.82	46
47	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1346	1.32	1.50	1.38	1.57	47
48	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1548	1.35	1.43	1.43	1.51	48
49	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1682	1.36	1.38	1.46	1.48	49
50	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1187	1.31	1.58	1.41	1.70	50
51	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1145	2.97	3.66	3.57	4.39	51
52	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1049	2.99	3.85	3.45	4.44	52
53	stortsteen	-	1.25	3	PM	.0975	3.00	4.00	3.51	4.68	53
54	stortsteen	-	1.25	3	PM	.0799	3.02	4.45	3.45	5.08	54
55	stortsteen	-	1.25	3	PM	.1120	2.98	3.71	3.45	4.29	55
56	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1256	1.86	2.19	2.11	2.48	56
57	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1004	1.86	2.44	2.11	2.77	57
58	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0691	1.85	2.93	2.08	3.30	58
59	stortsteen	-	2.25	3	PM	.0868	1.84	2.60	2.13	3.01	59
60	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1159	1.84	2.25	2.17	2.65	60
61	stortsteen	-	2.25	3	PM	.1326	1.87	2.14	2.11	2.41	61
62	stortsteen	-	2.25	4	PM	.1881	2.18	1.57	2.44	1.76	62
63	stortsteen	-	2.25	4	PM	.1661	2.17	1.66	2.50	1.92	63
64	stortsteen	-	2.25	4	PM	.1365	2.18	1.84	2.56	2.16	64
65	stortsteen	-	2.25	4	PM	.1162	2.20	2.02	2.50	2.29	65
66	stortsteen	-	2.25	4	PM	.0893	2.20	2.30	2.44	2.55	66
67	stortsteen	-	2.25	4	PM	.1343	2.67	2.28	3.13	2.67	67
68	stortsteen	-	2.25	4	PM	.1189	2.68	2.43	3.10	2.81	68
69	stortsteen	-	2.25	4	PM	.0874	2.69	2.84	3.13	3.31	69
70	stortsteen	-	2.25	4	PM	.0721	2.69	3.13	3.17	3.69	70
71	stortsteen	-	2.25	4	PM	.1022	2.70	2.64	3.17	3.10	71

Tabel 2. Proefgegevens

proef nr	opmerking	kern door- latend	D85/D15 (-)	cot α (-)	spectrum	Hs (m)	Tz (s)	Σz (-)	Tp (s)	Σp (-)	proef nr
72	startsteen	-	2.25	4	PM	.1132	3.19	2.96	3.64	3.38	72
73	startsteen	-	2.25	4	PM	.0867	3.25	3.45	3.64	3.86	73
74	startsteen	-	2.25	4	PM	.0762	3.26	3.69	3.64	4.12	74
75	startsteen	-	2.25	4	PM	.0998	3.23	3.19	3.64	3.60	75
76	startsteen	-	2.25	4	PM	.1233	3.18	2.83	3.64	3.24	76
77	startsteen	-	2.25	4	PM	.1850	1.61	1.17	1.83	1.33	77
78	startsteen	-	2.25	4	PM	.1951	1.62	1.15	1.82	1.29	78
79	startsteen	-	2.25	4	PM	.1548	1.37	1.09	1.49	1.18	79
80	startsteen	-	2.25	4	PM	.1633	1.40	1.08	1.50	1.16	80
81	startsteen	-	2.25	4	PM	.1748	1.41	1.05	1.48	1.11	81
82	startsteen	-	2.25	4	PM	.1907	1.44	1.03	1.52	1.09	82
83	startsteen	-	1.25	4	PM	.1163	2.19	2.01	2.44	2.24	83
84	startsteen	-	1.25	4	PM	.1338	2.18	1.86	2.53	2.16	84
85	startsteen	-	1.25	4	PM	.0991	2.20	2.18	2.50	2.48	85
86	startsteen	-	1.25	4	PM	.0695	2.20	2.61	2.53	3.00	86
87	startsteen	-	1.25	4	PM	.1573	2.19	1.72	2.53	1.99	87
88	startsteen	-	1.25	4	PM	.1190	2.98	2.70	3.51	3.18	88
89	startsteen	-	1.25	4	PM	.0830	3.00	3.25	3.51	3.81	89
90	startsteen	-	1.25	4	PM	.1084	3.02	2.87	3.51	3.33	90
91	startsteen	-	1.25	4	PM	.0965	3.02	3.04	3.51	3.53	91
92	startsteen	-	1.25	4	PM	.1396	2.95	2.47	3.51	2.93	92
93	startsteen	-	1.25	4	PM	.1214	1.33	1.19	1.42	1.27	93
94	startsteen	-	1.25	4	PM	.1721	1.35	1.02	1.49	1.12	94
95	startsteen	-	1.25	4	PM	.1975	1.41	.99	1.49	1.05	95
96	startsteen	-	1.25	4	PM	.1481	1.35	1.10	1.42	1.15	96
97	startsteen	-	1.25	4	PM	.1333	1.32	1.13	1.42	1.21	97
98	startsteen	-	1.25	4	PM	.1521	1.77	1.42	1.96	1.57	98
99	startsteen	-	1.25	4	PM	.1168	1.75	1.60	1.92	1.75	99
100	startsteen	-	1.25	4	PM	.0884	1.75	1.84	1.96	2.06	100
101	startsteen	-	1.25	4	PM	.1356	1.76	1.49	1.94	1.65	101
102	startsteen	-	1.25	4	PM	.1804	1.76	1.29	1.96	1.44	102
105	herh. proef	-	1.25	4	PM	.1534	1.78	1.42	2.00	1.60	105
106	herh. proef	-	1.25	4	PM	.1529	1.78	1.42	1.96	1.57	106
107	herh. proef	-	1.25	4	PM	.1532	1.77	1.41	1.96	1.56	107
152	dikke filterlaag	-	2.25	3	PM	.0855	2.19	3.12	2.50	3.56	152
153	dikke filterlaag	-	2.25	3	PM	.1075	2.19	2.78	2.53	3.21	153
154	dikke filterlaag	-	2.25	3	PM	.0989	2.19	2.90	2.50	3.31	154
155	dikke filterlaag	-	2.25	3	PM	.0704	2.16	3.39	2.50	3.92	155
156	dikke filterlaag	-	2.25	3	PM	.1175	2.20	2.67	2.56	3.11	156
158	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0938	2.23	3.03	2.25	3.06	158
159	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0621	2.22	3.71	2.25	3.76	159
160	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0793	2.22	3.28	2.24	3.31	160
161	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.1108	2.22	2.78	2.24	2.80	161
162	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0689	2.22	3.52	2.25	3.57	162
163	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0837	1.79	2.58	1.79	2.58	163
164	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.1193	1.79	2.16	1.79	2.16	164
165	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.1006	1.78	2.34	1.79	2.35	165
166	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.1094	1.78	2.24	1.79	2.25	166
167	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.1354	1.78	2.01	1.80	2.04	167
168	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1332	1.78	2.03	2.72	3.10	168
169	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0908	1.82	2.52	2.60	3.59	169
170	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1065	1.82	2.32	2.47	3.15	170
171	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1221	1.81	2.16	2.67	3.18	171
172	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0736	1.81	2.78	2.47	3.79	172
173	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0847	2.89	4.14	4.25	6.08	173
174	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0632	2.92	4.84	4.25	7.04	174
175	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1056	2.85	3.65	4.25	5.45	175
176	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0745	2.91	4.44	4.25	6.49	176
177	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0955	2.86	3.85	4.25	5.73	177
178	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0886	2.16	3.02	3.00	4.20	178
179	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0589	2.16	3.71	3.28	5.63	179
180	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0746	2.17	3.31	3.23	4.93	180
181	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1015	2.16	2.82	3.23	4.22	181
182	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1117	2.16	2.69	3.17	3.95	182
183	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0799	3.06	4.51	3.23	4.76	183
184	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0593	3.10	5.30	3.23	5.52	184
185	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0696	3.09	4.88	3.23	5.10	185
186	invloed spectrum	-	2.25	3	small	.0970	3.07	4.11	3.20	4.28	186
187	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1070	1.39	1.77	1.54	1.96	187
188	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1253	1.41	1.66	1.83	2.15	188

Tabel 2. (vervolg)

proef nr	opmerking	kern door- latend	D85/D15 (-)	cot a (-)	spectrum	Hs (m)	Tz (s)	ξ_z (-)	Tp (s)	ξ_p (-)	proef nr
189	invl.sp. herh.32	-	2.25	3	PM	.1069	3.09	3.94	3.64	4.64	189
190	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0671	1.39	2.23	1.89	3.04	190
191	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.0867	1.37	1.94	1.89	2.67	191
192	invloed spectrum	-	2.25	3	breed	.1404	1.45	1.61	1.89	2.10	192
193	invloed spectrum	-	2.25	3	smal	.1090	1.41	1.78	1.40	1.77	193
194	invloed spectrum	-	2.25	3	smal	.0793	1.40	2.07	1.40	2.07	194
195	invloed spectrum	-	2.25	3	smal	.1240	1.40	1.66	1.40	1.66	195
196	invloed spectrum	-	2.25	3	smal	.1391	1.41	1.57	1.40	1.56	196
197	invloed spectrum	-	2.25	3	smal	.1666	1.41	1.44	1.40	1.43	197
198	startsteen	+	1.25	3	PM	.0946	2.19	2.97	2.53	3.43	198
199	startsteen	+	1.25	3	PM	.1044	2.21	2.85	2.53	3.26	199
200	startsteen	+	1.25	3	PM	.1213	2.17	2.60	2.53	3.03	200
201	startsteen	+	1.25	3	PM	.1436	2.17	2.39	2.53	2.78	201
202	startsteen	+	1.25	3	PM	.1792	2.17	2.14	2.53	2.49	202
203	startsteen	+	1.25	3	PM	.1287	2.98	3.46	3.51	4.08	203
204	startsteen	+	1.25	3	PM	.1631	2.90	2.99	3.51	3.62	204
205	startsteen	+	1.25	3	PM	.1465	2.93	3.19	3.51	3.82	205
206	startsteen	+	1.25	3	PM	.1132	3.00	3.71	3.51	4.35	206
207	startsteen	+	1.25	3	PM	.1757	2.89	2.87	3.51	3.49	207
208	startsteen	+	1.25	3	PM	.1520	1.33	1.42	1.46	1.56	208
209	startsteen	+	1.25	3	PM	.1692	1.35	1.37	1.45	1.47	209
210	startsteen	+	1.25	3	PM	.1279	1.33	1.55	1.44	1.68	210
211	startsteen	+	1.25	3	PM	.1468	1.78	1.93	2.06	2.24	211
212	startsteen	+	1.25	3	PM	.1778	1.79	1.77	2.04	2.02	212
213	startsteen	+	1.25	3	PM	.1620	1.79	1.85	2.04	2.11	213
214	startsteen	+	1.25	3	PM	.1305	1.77	2.04	2.06	2.38	214
217	startsteen	+	1.25	2	PM	.0897	1.70	3.55	1.95	4.07	217
218	startsteen	+	1.25	2	PM	.1028	1.69	3.29	1.94	3.78	218
219	startsteen	+	1.25	2	PM	.1152	1.70	3.13	1.94	3.57	219
220	startsteen	+	1.25	2	PM	.1381	1.69	2.84	1.95	3.28	220
221	startsteen	+	1.25	2	PM	.1305	1.72	2.97	1.95	3.37	221
222	startsteen	+	1.25	2	PM	.1127	2.16	4.02	2.52	4.69	222
223	startsteen	+	1.25	2	PM	.0905	2.15	4.47	2.50	5.19	223
224	startsteen	+	1.25	2	PM	.1250	2.16	3.82	2.53	4.47	224
225	startsteen	+	1.25	2	PM	.1038	2.15	4.17	2.52	4.89	225
226	startsteen	+	1.25	2	PM	.1327	2.16	3.70	2.45	4.20	226
227	startsteen	+	1.25	2	PM	.1026	2.98	5.81	3.48	6.79	227
228	startsteen	+	1.25	2	PM	.1166	2.94	5.38	3.51	6.42	228
229	startsteen	+	1.25	2	PM	.1324	2.88	4.94	3.51	6.03	229
230	startsteen	+	1.25	2	PM	.1597	2.81	4.39	3.48	5.44	230
231	startsteen	+	1.25	2	PM	.1480	2.83	4.60	3.48	5.64	231
232	startsteen	+	1.25	2	PM	.1142	1.31	2.42	1.39	2.57	232
233	startsteen	+	1.25	2	PM	.1364	1.32	2.23	1.40	2.37	233
234	startsteen	+	1.25	2	PM	.1590	1.35	2.12	1.46	2.29	234
235	startsteen	+	1.25	2	PM	.0909	1.30	2.69	1.42	2.94	235
236	startsteen	+	1.25	2	PM	.1236	1.32	2.35	1.41	2.51	236
237	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1131	2.15	5.33	2.56	6.34	237
238	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.0861	2.16	6.13	2.53	7.18	238
239	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.0962	2.15	5.77	2.50	6.71	239
240	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1048	2.15	5.53	2.56	6.59	240
241	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1208	2.16	5.18	2.53	6.06	241
242	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1154	1.72	4.22	1.98	4.86	242
243	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.0843	1.69	4.85	1.96	5.62	243
244	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1011	1.71	4.48	1.96	5.13	244
245	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1240	1.71	4.05	1.96	4.64	245
246	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1317	2.13	4.89	2.56	5.88	246
247	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1084	1.31	3.31	1.43	3.62	247
248	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.0905	1.30	3.60	1.43	3.96	248
249	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1230	1.32	3.14	1.42	3.37	249
250	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1386	1.33	2.98	1.43	3.20	250
251	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1004	1.30	3.42	1.43	3.76	251
252	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.0921	1.70	4.67	1.98	5.43	252
253	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1050	2.95	7.58	3.45	8.87	253
254	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1220	2.92	6.96	3.51	8.37	254
255	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1387	2.87	6.42	3.51	7.85	255
256	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1507	2.82	6.05	3.51	7.53	256
257	startsteen	+	1.25	1.5	PM	.1302	2.88	6.65	3.51	8.10	257
258	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1049	2.15	4.15	2.60	5.02	258
259	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1384	2.14	3.59	2.60	4.37	259
260	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1715	2.14	3.23	2.63	3.97	260

Tabel 2. (vervolg)

proef nr	opmerking	kerr. door- latend	D85/D15 (-)	cot α (-)	spectrum	Hs (m)	Tz (s)	ξ_z (-)	Tp (s)	ξ_p (-)	proef nr
261	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1532	2.14	3.42	2.60	4.15	261
262	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1346	1.70	2.89	2.00	3.41	262
263	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1805	1.71	2.52	1.98	6.00	263
264	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1583	1.71	2.69	2.00	3.14	264
265	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1053	1.69	3.25	2.00	3.85	265
266	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1420	1.33	2.21	1.40	2.32	266
267	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1697	1.37	2.08	1.47	2.23	267
268	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1009	1.31	2.58	1.45	2.85	268
269	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1882	1.40	2.02	1.47	2.12	269
270	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1385	2.30	4.87	3.64	6.11	270
271	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1613	2.82	4.39	3.70	5.76	271
272	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1762	2.76	4.11	3.64	5.42	272
273	homogene dam	++	1.25	2	PM	.1111	2.97	5.57	3.57	6.69	273
274	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.1253	1.68	2.97	2.04	3.60	274
275	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.0900	1.69	3.52	2.00	4.17	275
276	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.1088	1.68	3.18	2.04	3.86	276
277	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.1359	1.67	2.83	1.96	3.32	277
278	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.1286	2.19	3.82	2.60	4.53	278
279	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.1052	2.19	4.22	2.56	4.93	279
280	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.1555	2.18	3.45	2.60	4.12	280
281	voorland d=0.4m	+	1.25	2	PM	.1215	2.20	3.94	2.56	4.59	281
282	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1345	2.18	3.71	2.53	4.31	282
283	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1275	2.17	3.80	2.50	4.37	283
284	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1415	2.17	3.60	2.56	4.25	284
285	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1445	2.18	3.58	2.53	4.16	285
286	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1270	1.70	2.98	2.04	3.58	286
287	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1320	1.73	2.97	2.00	3.44	287
288	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1350	1.74	2.96	2.04	3.47	288
289	voorland d=0.2m	+	1.25	2	PM	.1350	1.77	3.01	2.08	3.54	289
901	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0735	1.25	2.88	1.35	3.11	901
902	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0929	1.27	2.60	1.33	2.73	902
903	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0829	1.25	2.71	1.35	2.93	903
904	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0597	1.25	3.20	1.33	3.40	904
905	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0461	1.24	3.61	1.36	3.96	905
906	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0730	1.57	3.63	1.80	4.16	906
907	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0868	1.57	3.33	1.72	3.65	907
908	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0599	1.57	4.01	1.71	4.37	908
909	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0800	1.56	3.45	1.72	3.80	909
910	lage dichtheid	+	-	2	PM	.0931	1.57	3.21	1.72	3.52	910
911	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1422	1.90	3.15	2.17	3.60	911
912	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1668	1.91	2.92	2.22	3.40	912
913	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1122	1.90	3.54	2.15	4.01	913
914	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1841	1.92	2.80	2.20	3.20	914
915	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1292	1.90	3.30	2.22	3.86	915
916	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1330	2.36	4.04	2.86	4.90	916
917	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1651	2.36	3.63	2.86	4.40	917
918	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1490	2.36	3.82	2.86	4.63	918
919	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1184	2.36	4.28	2.86	5.19	919
920	hoge dichtheid	+	-	2	PM	.1566	2.35	3.71	2.86	4.52	920

Tabel 2. (vervolg)

proef nr	Ru. max (m)	Ru. 5 (m)	Ru1 (m)	Ru2 (m)	Ru5 (m)	Ru10 (m)	Ru. 5 (m)	Ru20 (m)	Ru37 (m)	Ru. gem (m)	proef nr
1	.210	.203	.175	.160	.124	.105	.100	.088	.073	.063	1
2	.229	.225	.202	.191	.161	.135	.125	.110	.087	.076	2
3	.145	.135	.121	.112	.098	.084	.074	.064	.048	.044	3
4	.212	.197	.171	.158	.142	.127	.113	.102	.073	.068	4
5	.194	.190	.175	.160	.139	.120	.112	.100	.081	.068	5
6	.232	.217	.208	.182	.166	.132	.126	.106	.095	.076	6
7	.245	.240	.231	.196	.170	.141	.131	.107	.091	.079	7
8	.221	.192	.186	.159	.141	.117	.113	.101	.091	.070	8
9	.189	.172	.158	.137	.124	.106	.093	.083	.058	.057	9
10	.256	.231	.215	.195	.169	.144	.131	.109	.094	.082	10
11	.256	.249	.233	.214	.170	.146	.137	.123	.090	.082	11
12	.244	.202	.188	.164	.141	.123	.113	.101	.077	.069	12
13	.196	.172	.159	.137	.119	.111	.101	.092	.068	.061	13
14	.342	.282	.263	.244	.211	.175	.167	.150	.122	.109	14
15	.355	.295	.268	.249	.203	.184	.171	.153	.120	.106	15
16	.355	.286	.276	.256	.226	.192	.176	.157	.119	.109	16
17	.279	.235	.231	.210	.185	.158	.144	.126	.097	.088	17
18	.359	.300	.269	.252	.229	.191	.173	.152	.115	.104	18
19	.321	.276	.251	.233	.207	.167	.159	.142	.108	.098	19
21	.294	.261	.253	.230	.204	.182	.168	.151	.121	.106	21
22	.223	.218	.204	.180	.154	.139	.131	.126	.091	.083	22
23	.195	.178	.182	.163	.148	.128	.121	.113	.086	.077	23
24	.222	.221	.214	.197	.174	.140	.133	.119	.093	.081	24
25	.152	.146	.141	.125	.113	.099	.090	.081	.066	.056	25
26	.319	.273	.268	.242	.197	.179	.164	.141	.122	.107	26
27	.285	.249	.238	.208	.192	.164	.150	.133	.103	.093	27
28	.248	.210	.205	.185	.156	.135	.129	.115	.102	.083	28
29	.277	.223	.216	.203	.175	.149	.140	.123	.105	.088	29
30	.290	.250	.246	.224	.189	.163	.160	.149	.120	.100	30
31	.341	.295	.287	.271	.237	.216	.195	.177	.135	.120	31
32	.323	.280	.272	.253	.213	.193	.174	.151	.118	.108	32
33	.281	.255	.240	.222	.201	.168	.159	.140	.111	.100	33
34	.262	.237	.218	.190	.170	.151	.139	.121	.098	.086	34
35	.246	.238	.235	.198	.176	.153	.147	.133	.110	.095	35
36	.217	.213	.206	.189	.163	.143	.134	.128	.096	.084	36
37	.189	.180	.177	.158	.137	.129	.117	.112	.079	.072	37
38	.164	.158	.150	.134	.118	.109	.095	.085	.067	.061	38
39	.263	.255	.244	.234	.194	.171	.162	.152	.120	.106	39
40		niet gemeten									
41	.250	.240	.231	.210	.190	.167	.158	.147	.117	.099	41
42	.231	.210	.181	.177	.158	.134	.124	.109	.092	.081	42
43	.185	.167	.144	.138	.126	.110	.101	.094	.070	.064	43
44	.272	.260	.248	.236	.207	.184	.168	.152	.123	.108	44
45	.234	.224	.199	.191	.166	.139	.130	.116	.097	.086	45
46	.175	.144	.136	.128	.114	.106	.098	.092	.073	.061	46
47	.241	.202	.193	.179	.156	.135	.132	.121	.104	.083	47
48	.284	.243	.224	.214	.187	.171	.159	.150	.111	.096	48
49	.311	.247	.243	.231	.207	.175	.165	.148	.121	.120	49
50	.211	.188	.182	.172	.153	.133	.126	.115	.097	.080	50
51	.353	.287	.288	.266	.241	.215	.200	.183	.141	.125	51
52	.331	.269	.268	.249	.225	.198	.181	.162	.130	.113	52
53	.297	.256	.243	.233	.198	.181	.163	.150	.113	.102	53
54	.258	.204	.207	.199	.169	.145	.136	.125	.094	.083	54
55	.348	.282	.277	.269	.232	.210	.191	.172	.131	.118	55
56	.262	.254	.240	.227	.201	.173	.159	.142	.117	.096	56
57	.258	.237	.233	.224	.203	.187	.170	.158	.123	.107	57
58	.158	.146	.140	.125	.109	.098	.088	.079	.063	.056	58
59	.201	.178	.168	.157	.134	.119	.111	.100	.084	.072	59
60	.254	.245	.235	.211	.184	.159	.147	.132	.104	.090	60
61	.279	.270	.256	.239	.213	.193	.175	.159	.126	.110	61
62	.329	.310	.305	.288	.246	.216	.208	.193	.169	.131	62
63	.293	.280	.266	.244	.211	.182	.175	.160	.131	.116	63
64	.252	.237	.224	.205	.193	.168	.154	.139	.115	.103	64
65	.213	.202	.194	.174	.162	.142	.131	.118	.098	.087	65
66	.179	.154	.147	.133	.122	.116	.103	.094	.078	.069	66
67	.307	.263	.251	.228	.191	.173	.163	.151	.123	.107	67
68	.257	.230	.224	.212	.182	.160	.148	.131	.110	.094	68
69	.193	.185	.168	.146	.131	.120	.111	.105	.084	.073	69
70	.176	.165	.153	.138	.116	.107	.098	.089	.069	.061	70
71	.231	.208	.202	.188	.160	.136	.131	.118	.103	.089	71

Tabel 3. Gemeten oploophoogten

proef nr	Ru. max (m)	Ru. 5 (m)	Ru1 (m)	Ru2 (m)	Ru5 (m)	Ru10 (m)	Ru. s (m)	Ru20 (m)	Ru37 (m)	Ru. gem (m)	proef nr
72	.271	.243	.236	.218	.196	.175	.160	.145	.112	.102	72
73	.218	.194	.194	.186	.159	.145	.131	.118	.094	.081	73
74	.193	.181	.168	.156	.143	.123	.113	.101	.084	.071	74
75	.256	.226	.213	.192	.180	.157	.146	.135	.105	.092	75
76	.294	.256	.250	.238	.213	.184	.173	.160	.127	.109	76
77	.230	.220	.211	.204	.195	.180	.161	.149	.120	.111	77
78	.240	.230	.220	.210	.199	.187	.171	.160	.133	.115	78
79	.190	.186	.173	.165	.148	.132	.127	.121	.098	.082	79
80	.197	.178	.166	.156	.147	.135	.123	.113	.094	.079	80
81	.200	.179	.168	.161	.143	.131	.124	.117	.102	.081	81
82	.208	.202	.189	.181	.165	.149	.138	.130	.101	.088	82
83	.231	.220	.207	.187	.166	.145	.137	.123	.105	.090	83
84	.241	.235	.219	.202	.191	.167	.155	.142	.118	.104	84
85	.207	.190	.182	.165	.146	.126	.119	.107	.086	.078	85
86	.146	.125	.113	.110	.104	.089	.083	.078	.058	.053	86
87	.309	.266	.262	.233	.210	.192	.178	.164	.132	.117	87
88	.299	.256	.243	.232	.198	.179	.165	.154	.111	.102	88
89	.206	.187	.183	.169	.148	.127	.122	.112	.089	.077	89
90	.266	.231	.220	.205	.189	.165	.154	.140	.110	.098	90
91	.253	.213	.206	.199	.183	.147	.139	.124	.099	.087	91
92	.350	.283	.271	.256	.238	.216	.200	.187	.148	.126	92
93	.148	.144	.132	.125	.108	.097	.088	.081	.058	.054	93
94	.189	.183	.181	.174	.155	.142	.136	.130	.105	.089	94
95	.209	.206	.198	.190	.173	.163	.153	.150	.113	.097	95
96	.184	.170	.168	.162	.148	.130	.121	.114	.088	.076	96
97	.175	.151	.145	.138	.128	.120	.105	.100	.067	.062	97
98	.260	.239	.231	.225	.203	.176	.160	.148	.112	.105	98
99	.200	.191	.187	.179	.159	.129	.122	.107	.091	.083	99
100	.161	.156	.146	.135	.119	.102	.095	.084	.070	.063	100
101	.242	.222	.215	.206	.181	.162	.150	.132	.117	.103	101
102	.274	.270	.267	.257	.240	.218	.203	.191	.155	.140	102
105	.245	.241	.236	.229	.206	.176	.168	.156	.127	.111	105
106	.223	.209	.206	.195	.174	.152	.142	.133	.103	.090	106
107	.230	.228	.219	.207	.191	.174	.165	.155	.132	.110	107
152	.229	.193	.191	.173	.145	.131	.122	.115	.085	.074	152
153	.288	.251	.248	.225	.203	.177	.161	.143	.114	.100	153
154	.270	.225	.206	.189	.162	.144	.140	.130	.106	.088	154
155	.187	.158	.148	.118	.106	.100	.096	.092	.073	.061	155
156	.299	.262	.243	.218	.182	.167	.149	.133	.104	.095	156
158	.234	.213	.190	.162	.132	.112	.111	.100	.082	.072	158
159	.146	.128	.124	.102	.089	.075	.073	.067	.050	.045	159
160	.188	.148	.131	.115	.097	.079	.079	.072	.057	.046	160
161	.276	.242	.203	.174	.138	.124	.120	.121	.103	.075	161
162	.180	.156	.141	.126	.101	.093	.086	.077	.058	.051	162
163	.176	.152	.141	.118	.098	.088	.081	.076	.050	.048	163
164	.241	.211	.194	.181	.155	.141	.128	.118	.091	.083	164
165	.177	.171	.153	.140	.121	.105	.102	.094	.078	.066	165
166	.187	.185	.169	.159	.140	.129	.119	.111	.090	.075	166
167	.299	.279	.228	.205	.181	.158	.146	.132	.082	.079	167
168	.261	.244	.236	.207	.170	.152	.145	.132	.111	.094	168
169	.246	.220	.212	.184	.166	.147	.141	.133	.101	.089	169
170	.222	.215	.207	.184	.159	.146	.136	.123	.107	.089	170
171	.249	.233	.228	.201	.169	.150	.139	.127	.105	.093	171
172	.139	.134	.132	.116	.102	.091	.087	.081	.065	.058	172
173	.226	.209	.203	.172	.154	.124	.119	.105	.084	.071	173
174	.175	.165	.155	.130	.117	.097	.091	.078	.063	.055	174
175	.289	.255	.241	.216	.194	.169	.154	.136	.114	.095	175
176	.210	.192	.177	.152	.134	.118	.108	.094	.075	.065	176
177	.277	.257	.246	.214	.187	.158	.151	.132	.112	.095	177
178	.247	.193	.173	.159	.140	.125	.116	.103	.081	.072	178
179	.184	.152	.135	.123	.099	.091	.080	.068	.055	.050	179
180	.210	.168	.156	.149	.131	.113	.102	.089	.077	.062	180
181	.265	.223	.198	.189	.167	.147	.137	.130	.092	.084	181
182	.284	.240	.216	.204	.182	.162	.150	.136	.113	.098	182
183	.262	.241	.204	.188	.148	.132	.131	.120	.092	.081	183
184	.206	.184	.166	.145	.120	.092	.097	.088	.069	.059	184
185	.257	.227	.207	.186	.148	.126	.123	.110	.084	.076	185
186	.302	.291	.264	.219	.181	.154	.156	.142	.110	.095	186
187	.166	.157	.148	.140	.123	.109	.104	.096	.073	.069	187
188	.201	.188	.171	.167	.145	.127	.119	.107	.094	.079	188

Tabel 3. (vervolg)

proef nr	Ru. max (m)	Ru. 5 (m)	Ru1 (m)	Ru2 (m)	Ru5 (m)	Ru10 (m)	Ru. s (m)	Ru20 (m)	Ru37 (m)	Ru. gem (m)	proef nr
189	.269	.242	.224	.205	.182	.165	.149	.134	.108	.094	189
190	.113	.104	.096	.091	.080	.065	.059	.051	.041	.038	190
191	.149	.131	.117	.109	.094	.086	.080	.078	.056	.050	191
192	.218	.213	.202	.193	.170	.145	.133	.109	.100	.088	192
193	.207	.167	.136	.120	.113	.105	.093	.085	.065	.057	193
194	.166	.123	.107	.098	.090	.081	.073	.067	.050	.045	194
195	.201	.174	.155	.139	.129	.116	.104	.095	.070	.063	195
196	.201	.175	.154	.144	.130	.116	.105	.093	.072	.063	196
197	.215	.214	.194	.174	.151	.132	.118	.103	.077	.073	197
198	.178	.159	.149	.136	.120	.103	.094	.083	.066	.059	198
199	---	.178	.174	.152	.131	.114	.107	.095	.075	.067	199
200	.202	.184	.177	.157	.135	.119	.111	.101	.080	.071	200
201	.278	.276	.275	.263	.251	.230	.222	.208	.179	.169	201
202	.300	.268	.257	.243	.201	.171	.158	.138	.110	.096	202
203	.305	.250	.245	.228	.190	.168	.156	.140	.110	.097	203
204	.199	.197	.186	.177	.161	.145	.138	.121	.098	.091	204
205	---	---	.336	.311	.283	.253	.228	.204	.165	.150	205
206	.265	.253	.227	.215	.177	.160	.149	.134	.102	.091	206
207	---	---	---	---	.326	.295	.278	.250	.211	.188	207
208	.205	.201	.182	.173	.149	.128	.123	.114	.091	.079	208
209	.213	.202	.181	.175	.156	.142	.135	.126	.108	.096	209
210	.160	.139	.130	.112	.099	.088	.084	.076	.065	.055	210
211	.300	.280	.265	.246	.220	.189	.174	.161	.117	.109	211
212	.324	.313	.292	.266	.234	.217	.198	.180	.149	.129	212
213	.343	.332	.320	.274	.238	.210	.198	.180	.144	.129	213
214	.250	.250	.233	.196	.169	.139	.131	.114	.094	.085	214
217	.219	.205	.195	.171	.136	.113	.103	.088	.061	.058	217
218	.243	.230	.222	.191	.153	.129	.116	.098	.069	.068	218
219	.296	.265	.250	.220	.187	.158	.149	.131	.097	.086	219
220	---	.336	.284	.271	.228	.189	.177	.153	.121	.106	220
221	---	.297	.276	.250	.213	.192	.171	.149	.114	.102	221
222	.311	.296	.268	.246	.206	.187	.170	.149	.121	.101	222
223	.242	.224	.216	.191	.156	.137	.126	.113	.081	.074	223
224	.342	.312	.295	.267	.232	.200	.188	.171	.131	.110	224
225	.280	.260	.235	.216	.179	.157	.148	.134	.093	.084	225
226	.356	.332	.318	.290	.248	.224	.204	.178	.152	.125	226
227	.332	.271	.262	.236	.215	.169	.167	.153	.113	.097	227
228	---	.309	.293	.285	.241	.211	.191	.168	.122	.109	228
229	---	.321	.304	.295	.256	.227	.204	.190	.130	.119	229
230	---	---	---	---	.328	.291	.262	.239	.171	.155	230
231	---	---	---	.346	.308	.259	.245	.229	.157	.144	231
232	.282	.260	.225	.199	.150	.131	.127	.112	.086	.074	232
233	.302	.266	.249	.227	.188	.155	.140	.115	.094	.082	233
234	.315	.285	.273	.253	.218	.186	.176	.161	.125	.103	234
235	.187	.177	.143	.125	.103	.089	.083	.075	.053	.051	235
236	.301	.258	.236	.206	.165	.145	.128	.105	.081	.077	236
237	.262	.237	.230	.193	.165	.147	.137	.122	.094	.082	237
238	.189	.161	.150	.141	.119	.109	.100	.091	.066	.060	238
239	.219	.193	.186	.176	.150	.131	.123	.122	.094	.075	239
240	.221	.192	.185	.175	.158	.141	.133	.122	.093	.081	240
241	.282	.239	.226	.211	.184	.160	.152	.138	.105	.091	241
242	.300	.283	.275	.254	.211	.176	.163	.142	.108	.103	242
243	.200	.190	.184	.164	.150	.124	.116	.101	.078	.069	243
244	.256	.240	.234	.213	.190	.147	.146	.130	.098	.092	244
245	.308	.273	.255	.241	.211	.173	.166	.147	.116	.104	245
246	.319	.264	.248	.228	.209	.177	.163	.142	.110	.099	246
247	.290	.256	.241	.212	.170	.147	.133	.112	.083	.079	247
248	.241	.221	.193	.163	.134	.116	.106	.089	.068	.063	248
249	.296	.284	.249	.219	.183	.168	.150	.130	.100	.096	249
250	.304	.289	.261	.237	.189	.154	.143	.120	.088	.084	250
251	.258	.210	.197	.159	.138	.122	.112	.100	.063	.065	251
252	.208	.197	.191	.179	.145	.119	.109	.093	.072	.066	252
253	.295	.230	.222	.211	.188	.154	.143	.124	.096	.087	253
254	.328	.268	.241	.230	.213	.190	.170	.151	.111	.103	254
255	.324	.274	.271	.260	.212	.191	.175	.160	.118	.108	255
256	---	.339	.333	.307	.262	.229	.212	.191	.139	.129	256
257	---	.310	.289	.270	.243	.209	.193	.173	.134	.122	257
258	.246	.218	.209	.192	.165	.143	.137	.125	.089	.082	258
259	---	.302	.290	.273	.218	.190	.187	.168	.140	.121	259
260	---	---	---	.349	.310	.267	.246	.218	.171	.149	260

Tabel 3. (vervolg)

proef nr	Ru. max (m)	Ru. 5 (m)	Ru1 (m)	Ru2 (m)	Ru5 (m)	Ru10 (m)	Ru. s (m)	Ru20 (m)	Ru37 (m)	Ru. gem (m)	proef nr
261	---	---	---	.341	.288	.253	.227	.202	.140	.136	261
262	---	.345	.329	.297	.256	.209	.191	.158	.126	.117	262
263	---	---	---	---	.321	.290	.260	.236	.170	.153	263
264	---	.345	.324	.310	.270	.233	.202	.163	.132	.124	264
265	.248	.239	.231	.210	.171	.144	.135	.116	.093	.083	265
266	.318	.292	.275	.251	.204	.178	.170	.153	.118	.104	266
267	---	.344	.317	.293	.261	.232	.212	.198	.158	.135	267
268	.249	.220	.210	.183	.152	.124	.112	.091	.071	.073	268
269	---	.360	.334	.314	.274	.248	.235	.214	.178	.145	269
270	---	.337	.315	.301	.257	.224	.202	.174	.142	.125	270
271	---	---	---	---	.308	.271	.243	.213	.163	.150	271
272	---	---	---	---	.348	.303	.276	.250	.189	.166	272
273	.313	.261	.251	.239	.207	.182	.167	.151	.109	.101	273
274	.239	.235	.227	.212	.196	.177	.164	.155	.115	.102	274
275	.173	.165	.160	.145	.114	.097	.093	.082	.066	.061	275
276	.231	.223	.194	.167	.149	.126	.123	.110	.092	.081	276
277	.310	.290	.262	.249	.226	.195	.182	.165	.127	.114	277
278	.297	.276	.264	.227	.192	.166	.151	.130	.097	.090	278
279	.240	.222	.211	.194	.168	.142	.133	.118	.090	.080	279
280	.329	.310	.295	.269	.239	.196	.181	.157	.123	.111	280
281	.252	.240	.235	.211	.195	.165	.156	.140	.110	.095	281
282	.271	.260	.249	.229	.209	.190	.180	.168	.141	.120	282
283	.284	.258	.244	.234	.223	.211	.187	.177	.120	.109	283
284	.341	.296	.278	.269	.243	.228	.218	.208	.169	.142	284
285	---	.354	.335	.302	.273	.248	.237	.217	.197	.168	285
286	.226	.215	.210	.202	.191	.182	.175	.166	.148	.119	286
287	.283	.255	.235	.227	.213	.199	.188	.180	.156	.138	287
288	.301	.284	.273	.261	.245	.232	.220	.213	.175	.156	288
289	.338	.314	.289	.280	.258	.240	.227	.217	.176	.162	289
901	.136	.117	.101	.083	.064	.053	.053	.046	.036	.034	901
902	.224	.155	.141	.126	.109	.087	.079	.065	.046	.047	902
903	.146	.115	.111	.103	.088	.075	.068	.057	.045	.042	903
904	.097	.082	.073	.061	.051	.044	.043	.038	.032	.028	904
905	.058	.056	.049	.043	.038	.033	.032	.028	.023	.021	905
906	.133	.116	.101	.088	.077	.065	.061	.054	.043	.039	906
907	.148	.135	.111	.101	.087	.077	.072	.064	.051	.046	907
908	.105	.097	.090	.080	.063	.054	.051	.043	.038	.035	908
909	.156	.140	.130	.121	.100	.091	.083	.073	.059	.055	909
910	.166	.162	.153	.132	.113	.101	.093	.082	.067	.060	910
911	.321	.307	.286	.263	.239	.191	.182	.161	.131	.119	911
912	.341	.324	.319	.299	.252	.213	.203	.178	.148	.133	912
913	.235	.213	.207	.198	.171	.148	.133	.118	.090	.083	913
914	.296	.230	.287	.273	.252	.207	.197	.179	.141	.124	914
915	.243	.233	.227	.208	.183	.150	.143	.130	.100	.090	915
916	.267	.259	.252	.240	.211	.181	.172	.160	.123	.111	916
917	.322	.309	.301	.290	.254	.229	.211	.195	.162	.137	917
918	.270	.263	.254	.243	.204	.190	.174	.161	.121	.109	918
919	.243	.229	.217	.190	.173	.159	.149	.137	.111	.098	919
920	.299	.278	.271	.261	.229	.202	.188	.173	.132	.122	920

Tabel 3. (vervolg)

proef nr	<u>Ru. max</u> Hs	<u>Ru. 5</u> Hs	<u>Ru1</u> Hs	<u>Ru2</u> Hs	<u>Ru5</u> Hs	<u>Ru10</u> Hs	<u>Ru. s</u> Hs	<u>Ru20</u> Hs	<u>Ru37</u> Hs	<u>Ru. gem</u> Hs	proef nr
1	2.987	2.888	2.489	2.276	1.764	1.494	1.422	1.252	1.038	.896	1
2	2.669	2.622	2.354	2.226	1.876	1.573	1.457	1.282	1.014	.886	2
3	3.125	2.909	2.608	2.414	2.112	1.810	1.595	1.379	1.034	.948	3
4	2.746	2.552	2.215	2.047	1.839	1.645	1.464	1.321	.946	.881	4
5	2.767	2.710	2.496	2.282	1.983	1.712	1.538	1.427	1.155	.970	5
6	3.165	2.960	2.838	2.483	2.265	1.801	1.719	1.446	1.296	1.037	6
7	2.963	2.902	2.793	2.370	2.056	1.705	1.584	1.294	1.100	.955	7
8	3.364	2.922	2.831	2.420	2.146	1.781	1.720	1.537	1.385	1.065	8
9	3.393	3.088	2.837	2.460	2.226	1.903	1.670	1.490	1.041	1.023	9
10	3.220	2.906	2.704	2.453	2.126	1.811	1.648	1.371	1.182	1.031	10
11	3.409	3.316	3.103	2.850	2.264	1.944	1.824	1.638	1.198	1.092	11
12	3.708	3.070	2.857	2.492	2.143	1.869	1.717	1.535	1.170	1.049	12
13	3.544	3.110	2.875	2.477	2.152	2.007	1.826	1.664	1.230	1.103	13
14	4.067	3.353	3.127	2.901	2.509	2.081	1.986	1.784	1.451	1.296	14
15	3.813	3.169	2.879	2.675	2.180	1.976	1.837	1.643	1.289	1.139	15
16	4.076	3.284	3.169	2.939	2.595	2.204	2.021	1.803	1.366	1.251	16
17	3.690	3.108	3.056	2.778	2.447	2.090	1.905	1.667	1.283	1.164	17
18	3.811	3.185	2.856	2.675	2.431	2.028	1.837	1.614	1.221	1.104	18
19	3.924	3.374	3.068	2.848	2.531	2.042	1.944	1.736	1.320	1.198	19
21	2.438	2.218	2.150	1.954	1.733	1.546	1.427	1.283	1.028	.901	21
22	2.241	2.191	2.050	1.809	1.548	1.397	1.317	1.266	.915	.834	22
23	2.273	2.075	2.121	1.900	1.725	1.492	1.410	1.317	1.002	.897	23
24	2.046	2.037	1.972	1.806	1.594	1.290	1.226	1.097	.857	.747	24
25	2.156	2.071	2.000	1.773	1.603	1.404	1.277	1.149	.936	.794	25
26	2.720	2.327	2.285	2.063	1.679	1.526	1.398	1.202	1.040	.912	26
27	2.861	2.500	2.390	2.088	1.928	1.647	1.506	1.335	1.034	.934	27
28	2.938	2.488	2.429	2.192	1.848	1.600	1.528	1.363	1.209	.983	28
29	3.011	2.424	2.348	2.207	1.902	1.620	1.522	1.337	1.141	.957	29
30	2.738	2.361	2.323	2.115	1.785	1.539	1.511	1.407	1.133	.944	30
31	2.940	2.543	2.474	2.336	2.043	1.862	1.681	1.526	1.164	1.034	31
32	3.073	2.664	2.588	2.407	2.027	1.836	1.656	1.437	1.123	1.028	32
33	2.958	2.684	2.526	2.337	2.116	1.768	1.674	1.474	1.168	1.053	33
34	3.157	2.855	2.627	2.289	2.048	1.819	1.675	1.458	1.181	1.036	34
35	2.240	2.168	2.140	1.803	1.603	1.393	1.339	1.211	1.002	.865	35
36	2.166	2.126	2.056	1.886	1.627	1.427	1.337	1.277	.958	.838	36
37	2.198	2.093	2.058	1.837	1.593	1.500	1.360	1.302	.919	.837	37
38	2.210	2.129	2.022	1.806	1.590	1.469	1.280	1.146	.903	.822	38
39	2.214	2.146	2.054	1.970	1.633	1.439	1.364	1.279	1.010	.892	39
40				niet gemeten							40
41	2.048	1.966	1.892	1.720	1.556	1.368	1.294	1.204	.958	.811	41
42	2.301	2.092	1.803	1.763	1.574	1.335	1.235	1.086	.916	.807	42
43	2.315	2.090	1.802	1.727	1.577	1.377	1.264	1.176	.876	.801	43
44	1.987	1.899	1.812	1.724	1.512	1.344	1.227	1.110	.898	.789	44
45	2.084	1.995	1.772	1.701	1.478	1.238	1.158	1.033	.864	.766	45
46	1.784	1.468	1.386	1.305	1.162	1.081	.999	.938	.744	.622	46
47	1.790	1.501	1.434	1.330	1.159	1.003	.981	.899	.773	.617	47
48	1.835	1.570	1.447	1.382	1.208	1.105	1.027	.969	.717	.620	48
49	1.849	1.468	1.445	1.373	1.231	1.040	.981	.880	.719	.713	49
50	1.778	1.584	1.533	1.449	1.289	1.120	1.061	.969	.817	.674	50
51	3.083	2.594	2.515	2.323	2.105	1.878	1.747	1.598	1.231	1.092	51
52	3.155	2.564	2.555	2.374	2.145	1.888	1.725	1.544	1.239	1.077	52
53	3.046	2.626	2.492	2.390	2.031	1.856	1.672	1.538	1.159	1.046	53
54	3.229	2.553	2.591	2.491	2.115	1.815	1.702	1.564	1.176	1.039	54
55	3.107	2.518	2.473	2.402	2.071	1.875	1.705	1.536	1.170	1.054	55
56	2.086	2.022	1.911	1.807	1.600	1.377	1.266	1.131	.932	.764	56
58	2.287	2.113	2.026	1.809	1.577	1.411	1.274	1.143	.912	.810	58
59	2.316	2.051	1.935	1.809	1.544	1.371	1.279	1.152	.968	.829	59
60	2.192	2.114	2.028	1.821	1.588	1.372	1.268	1.139	.897	.777	60
61	2.104	2.036	1.931	1.802	1.606	1.456	1.320	1.199	.950	.830	61
62	1.749	1.648	1.621	1.531	1.308	1.148	1.106	1.026	.898	.696	62
63	1.764	1.686	1.601	1.469	1.270	1.096	1.054	.963	.789	.698	63
64	1.846	1.736	1.641	1.502	1.414	1.231	1.128	1.018	.842	.755	64
65	1.833	1.738	1.670	1.497	1.394	1.222	1.127	1.015	.843	.749	65
66	2.004	1.725	1.646	1.489	1.366	1.299	1.153	1.053	.873	.773	66
67	2.286	1.958	1.869	1.698	1.422	1.288	1.214	1.124	.916	.797	67
68	2.161	1.934	1.884	1.783	1.531	1.346	1.245	1.102	.925	.791	68
69	2.208	2.117	1.922	1.670	1.499	1.373	1.270	1.201	.961	.835	69
70	2.441	2.288	2.122	1.914	1.609	1.484	1.359	1.234	.957	.846	70
71	2.260	2.035	1.977	1.840	1.566	1.331	1.282	1.155	1.008	.871	71

Tabel 4. Afgeleide relatieve oploophoogten

proef nr	Ru.max Hs	Ru.5 Hs	Ru1 Hs	Ru2 Hs	Ru5 Hs	Ru10 Hs	Ru. s Hs	Ru20 Hs	Ru37 Hs	Ru. gem Hs	proef nr
72	2.394	2.147	2.085	1.926	1.731	1.546	1.413	1.281	.989	.901	72
73	2.514	2.238	2.238	2.145	1.834	1.672	1.511	1.361	1.084	.934	73
74	2.533	2.375	2.205	2.047	1.877	1.614	1.483	1.325	1.102	.932	74
75	2.565	2.265	2.134	1.924	1.804	1.573	1.463	1.353	1.052	.922	75
76	2.384	2.076	2.028	1.930	1.727	1.492	1.403	1.298	1.030	.884	76
77	1.243	1.189	1.141	1.103	1.054	.973	.870	.805	.649	.600	77
78	1.230	1.179	1.128	1.076	1.020	.958	.876	.820	.682	.589	78
79	1.227	1.202	1.118	1.066	.956	.853	.820	.782	.633	.530	79
80	1.206	1.090	1.017	.955	.900	.827	.753	.692	.576	.484	80
81	1.144	1.024	.961	.921	.818	.749	.709	.669	.584	.463	81
82	1.091	1.059	.931	.949	.865	.781	.724	.682	.530	.461	82
83	1.986	1.832	1.780	1.608	1.427	1.247	1.178	1.058	.903	.774	83
84	1.801	1.756	1.637	1.510	1.428	1.248	1.158	1.061	.882	.777	84
85	2.089	1.917	1.837	1.665	1.473	1.271	1.201	1.080	.868	.787	85
86	2.101	1.799	1.626	1.583	1.496	1.281	1.194	1.122	.835	.763	86
87	1.964	1.691	1.666	1.481	1.335	1.221	1.132	1.043	.839	.744	87
88	2.513	2.151	2.042	1.950	1.664	1.504	1.387	1.294	.933	.857	88
89	2.482	2.253	2.205	2.036	1.783	1.530	1.470	1.349	1.072	.928	89
90	2.454	2.131	2.030	1.891	1.744	1.522	1.421	1.292	1.015	.904	90
91	2.622	2.207	2.135	2.062	1.896	1.523	1.440	1.285	1.026	.902	91
92	2.507	2.027	1.941	1.834	1.705	1.547	1.433	1.340	1.060	.903	92
93	1.219	1.186	1.087	1.030	.890	.799	.725	.667	.478	.445	93
94	1.098	1.063	1.052	1.011	.901	.825	.790	.755	.610	.517	94
95	1.058	1.043	1.003	.962	.876	.825	.775	.759	.572	.491	95
96	1.242	1.148	1.134	1.094	.999	.878	.817	.770	.594	.513	96
97	1.313	1.133	1.088	1.035	.960	.900	.788	.750	.503	.465	97
98	1.709	1.571	1.513	1.479	1.335	1.157	1.052	.973	.736	.690	98
99	1.712	1.635	1.601	1.533	1.361	1.104	1.045	.916	.779	.711	99
100	1.821	1.765	1.652	1.527	1.346	1.154	1.075	.950	.792	.713	100
101	1.785	1.637	1.586	1.519	1.335	1.195	1.106	.973	.863	.760	101
102	1.513	1.497	1.480	1.425	1.330	1.208	1.125	1.059	.859	.776	102
105	1.597	1.571	1.538	1.493	1.343	1.147	1.095	1.017	.828	.724	105
106	1.458	1.367	1.347	1.275	1.138	.994	.929	.870	.674	.589	106
107	1.501	1.488	1.430	1.351	1.247	1.136	1.077	1.012	.862	.718	107
152	2.678	2.257	2.234	2.023	1.696	1.532	1.427	1.345	.994	.865	152
153	2.679	2.335	2.307	2.093	1.888	1.647	1.498	1.330	1.060	.930	153
154	2.730	2.275	2.083	1.911	1.638	1.456	1.416	1.314	1.072	.890	154
155	2.656	2.244	2.102	1.676	1.506	1.420	1.364	1.307	1.037	.866	155
156	2.545	2.230	2.068	1.855	1.549	1.421	1.268	1.132	.885	.809	156
158	2.495	2.271	2.026	1.727	1.407	1.194	1.183	1.066	.874	.768	158
159	2.351	2.061	1.997	1.643	1.433	1.208	1.176	1.079	.805	.725	159
160	2.371	1.866	1.652	1.450	1.223	.996	.996	.908	.719	.580	160
161	2.491	2.184	1.832	1.570	1.245	1.119	1.083	1.092	.930	.677	161
162	2.612	2.264	2.046	1.829	1.466	1.350	1.248	1.118	.842	.740	162
163	2.103	1.816	1.685	1.410	1.171	1.051	.968	.908	.597	.573	163
164	2.020	1.769	1.626	1.517	1.299	1.182	1.073	.989	.763	.696	164
165	1.759	1.700	1.521	1.392	1.203	1.044	1.014	.934	.775	.656	165
166	1.709	1.691	1.545	1.453	1.280	1.173	1.088	1.015	.823	.686	166
167	2.208	2.061	1.684	1.514	1.337	1.167	1.078	.975	.606	.583	167
168	1.959	1.832	1.772	1.554	1.276	1.141	1.089	.991	.833	.706	168
169	2.709	2.423	2.335	2.026	1.828	1.619	1.553	1.465	1.112	.980	169
170	2.085	2.019	1.944	1.728	1.493	1.371	1.277	1.155	1.005	.836	170
171	2.039	1.908	1.867	1.646	1.384	1.229	1.138	1.040	.860	.762	171
172	1.889	1.821	1.793	1.576	1.386	1.236	1.182	1.101	.883	.788	172
173	2.668	2.468	2.397	2.031	1.818	1.464	1.405	1.240	.992	.838	173
174	2.769	2.611	2.453	2.057	1.851	1.535	1.440	1.234	.997	.870	174
175	2.737	2.415	2.282	2.045	1.837	1.600	1.458	1.288	1.080	.900	175
176	2.819	2.577	2.376	2.040	1.799	1.584	1.450	1.262	1.007	.872	176
177	2.901	2.691	2.576	2.241	1.958	1.654	1.581	1.382	1.173	.995	177
178	2.788	2.178	1.953	1.795	1.580	1.411	1.309	1.163	.914	.813	178
179	3.124	2.581	2.292	2.088	1.681	1.545	1.358	1.154	.934	.849	179
180	2.815	2.252	2.091	1.997	1.756	1.515	1.367	1.193	1.032	.831	180
181	2.611	2.197	1.951	1.862	1.645	1.448	1.350	1.281	.906	.828	181
182	2.543	2.149	1.934	1.826	1.629	1.450	1.343	1.218	1.012	.877	182
183	3.279	3.016	2.553	2.353	1.852	1.652	1.640	1.502	1.151	1.014	183
184	3.474	3.103	2.799	2.445	2.024	1.551	1.636	1.484	1.164	.995	184
185	3.693	3.261	2.974	2.672	2.126	1.810	1.767	1.580	1.207	1.092	185
186	3.113	3.000	2.722	2.258	1.866	1.588	1.608	1.464	1.134	.979	186
187	1.551	1.467	1.383	1.308	1.150	1.013	.972	.897	.682	.645	187
188	1.604	1.500	1.365	1.333	1.157	1.014	.950	.854	.750	.630	188

Tabel 4. (vervolg)

proef nr	Ru.max Hs	Ru.5 Hs	Ru1 Hs	Ru2 Hs	Ru5 Hs	Ru10 Hs	Ru.s Hs	Ru20 Hs	Ru37 Hs	Ru.gem Hs	proef nr
188	1.604	1.500	1.365	1.333	1.157	1.014	.950	.854	.750	.630	188
189	2.516	2.264	2.095	1.918	1.703	1.543	1.394	1.254	1.010	.879	189
190	1.684	1.550	1.428	1.356	1.192	.969	.879	.760	.611	.566	190
191	1.719	1.511	1.349	1.257	1.084	.992	.923	.900	.646	.577	191
192	1.553	1.517	1.439	1.375	1.211	1.033	.947	.776	.712	.627	192
193	1.899	1.532	1.248	1.101	1.037	.963	.853	.780	.596	.523	193
194	2.093	1.551	1.349	1.236	1.135	1.021	.921	.845	.631	.567	194
195	1.621	1.403	1.250	1.121	1.040	.935	.839	.766	.565	.508	195
196	1.445	1.258	1.107	1.035	.935	.834	.755	.669	.518	.453	196
197	1.291	1.285	1.164	1.044	.906	.792	.708	.618	.462	.438	197
198	1.882	1.681	1.575	1.438	1.268	1.089	.994	.877	.698	.624	198
199	---	1.705	1.667	1.456	1.255	1.092	1.025	.910	.718	.642	199
200	1.665	1.517	1.459	1.294	1.113	.981	.915	.833	.660	.585	200
201	1.936	1.922	1.915	1.831	1.748	1.602	1.546	1.448	1.247	1.177	201
202	1.674	1.496	1.434	1.356	1.122	.954	.882	.770	.614	.536	202
203	2.370	1.943	1.904	1.772	1.476	1.305	1.212	1.088	.855	.754	203
204	1.220	1.208	1.140	1.085	.967	.889	.846	.742	.601	.558	204
205	---	---	2.294	2.123	1.932	1.727	1.556	1.392	1.126	1.024	205
206	2.341	2.235	2.005	1.899	1.564	1.413	1.316	1.184	.901	.806	206
207	---	---	---	---	1.855	1.679	1.582	1.423	1.201	1.070	207
208	1.349	1.322	1.197	1.138	.980	.842	.809	.750	.599	.520	208
209	1.259	1.194	1.070	1.034	.922	.839	.798	.745	.638	.567	209
210	1.251	1.087	1.016	.876	.774	.688	.657	.594	.508	.430	210
211	2.044	1.907	1.805	1.676	1.499	1.287	1.185	1.097	.797	.743	211
212	1.822	1.760	1.642	1.496	1.316	1.220	1.114	1.012	.838	.726	212
213	2.117	2.049	1.975	1.691	1.469	1.296	1.222	1.111	.889	.796	213
214	1.916	1.916	1.785	1.502	1.295	1.065	1.004	.874	.720	.651	214
217	2.441	2.285	2.174	1.906	1.516	1.260	1.148	.981	.680	.647	217
218	2.364	2.237	2.160	1.858	1.488	1.255	1.128	.953	.671	.661	218
219	2.569	2.300	2.170	1.910	1.623	1.372	1.293	1.137	.842	.747	219
220	---	2.433	2.056	1.962	1.651	1.369	1.282	1.108	.876	.768	220
221	---	2.276	2.115	1.916	1.632	1.471	1.310	1.142	.874	.782	221
222	2.760	2.626	2.378	2.183	1.828	1.659	1.508	1.322	1.074	.896	222
223	2.674	2.475	2.387	2.110	1.724	1.514	1.392	1.249	.895	.818	223
224	2.736	2.496	2.360	2.136	1.856	1.600	1.504	1.368	1.048	.880	224
225	2.697	2.505	2.264	2.081	1.724	1.513	1.426	1.291	.896	.809	225
226	2.683	2.502	2.396	2.185	1.869	1.688	1.537	1.341	1.145	.942	226
227	3.236	2.641	2.554	2.300	2.096	1.647	1.628	1.491	1.101	.945	227
228	---	2.650	2.513	2.444	2.067	1.810	1.638	1.441	1.046	.935	228
229	---	2.424	2.296	2.228	1.934	1.715	1.541	1.435	.982	.899	229
230	---	---	---	---	2.054	1.822	1.641	1.497	1.071	.971	230
231	---	---	---	2.338	2.081	1.750	1.655	1.547	1.061	.973	231
232	2.469	2.277	1.970	1.743	1.313	1.147	1.112	.981	.753	.648	232
233	2.214	1.950	1.826	1.664	1.378	1.136	1.026	.843	.689	.601	233
234	1.981	1.792	1.717	1.591	1.371	1.170	1.107	1.013	.786	.648	234
235	2.057	1.947	1.573	1.375	1.133	.979	.913	.825	.583	.561	235
236	2.435	2.087	1.909	1.667	1.335	1.173	1.036	.850	.655	.623	236
237	2.317	2.095	2.034	1.706	1.459	1.300	1.211	1.079	.831	.725	237
238	2.195	1.870	1.742	1.638	1.382	1.266	1.161	1.057	.767	.697	238
239	2.277	2.006	1.933	1.830	1.559	1.362	1.279	1.268	.977	.780	239
240	2.109	1.832	1.765	1.670	1.508	1.345	1.269	1.164	.887	.773	240
241	2.334	1.978	1.871	1.747	1.523	1.325	1.258	1.142	.869	.753	241
242	2.600	2.452	2.383	2.201	1.828	1.525	1.412	1.231	.936	.893	242
243	2.372	2.254	2.183	1.945	1.779	1.471	1.376	1.198	.925	.819	243
244	2.532	2.374	2.315	2.107	1.879	1.454	1.444	1.286	.969	.910	244
245	2.484	2.202	2.056	1.944	1.702	1.395	1.339	1.185	.935	.839	245
246	2.422	2.005	1.883	1.731	1.587	1.344	1.238	1.078	.835	.752	246
247	2.675	2.362	2.223	1.956	1.568	1.356	1.227	1.033	.766	.729	247
248	2.663	2.442	2.133	1.801	1.481	1.282	1.171	.983	.751	.696	248
249	2.407	2.309	2.024	1.780	1.488	1.366	1.220	1.057	.813	.780	249
250	2.193	2.085	1.883	1.638	1.364	1.111	1.032	.866	.635	.606	250
251	2.570	2.092	1.962	1.584	1.375	1.215	1.116	.996	.627	.647	251
252	2.258	2.139	2.074	1.944	1.574	1.292	1.183	1.010	.782	.717	252
253	2.810	2.190	2.114	2.010	1.790	1.467	1.362	1.181	.914	.829	253
254	2.689	2.197	1.975	1.885	1.746	1.557	1.393	1.238	.910	.844	254
255	2.336	1.975	1.954	1.875	1.528	1.377	1.262	1.154	.851	.779	255
256	---	2.250	2.210	2.037	1.739	1.520	1.407	1.267	.922	.856	256
257	---	2.381	2.220	2.074	1.866	1.605	1.482	1.329	1.029	.937	257
258	2.345	2.078	1.992	1.830	1.573	1.363	1.306	1.192	.848	.782	258
259	---	2.182	2.095	1.973	1.575	1.373	1.351	1.214	1.012	.874	259
260	---	---	---	2.035	1.808	1.557	1.434	1.271	.997	.869	260

Tabel 4. (vervolg)

proef nr	$\frac{Ru_{max}}{H_s}$	$\frac{Ru_5}{H_s}$	$\frac{Ru_1}{H_s}$	$\frac{Ru_2}{H_s}$	$\frac{Ru_5}{H_s}$	$\frac{Ru_{10}}{H_s}$	$\frac{Ru_s}{H_s}$	$\frac{Ru_{20}}{H_s}$	$\frac{Ru_{37}}{H_s}$	$\frac{Ru_{gem}}{H_s}$	proef nr
261	---	---	---	2.226	1.880	1.651	1.482	1.319	.914	.888	261
262	---	2.563	2.444	2.207	1.902	1.553	1.419	1.174	.936	.869	262
263	---	---	---	---	1.778	1.607	1.440	1.307	.942	.848	263
264	---	2.179	2.047	1.958	1.706	1.472	1.276	1.030	.834	.783	264
265	2.355	2.270	2.194	1.994	1.624	1.368	1.282	1.102	.883	.788	265
266	2.239	2.056	1.937	1.768	1.437	1.254	1.197	1.077	.831	.732	266
267	---	2.027	1.868	1.727	1.538	1.367	1.249	1.167	.931	.796	267
268	2.468	2.180	2.081	1.814	1.506	1.229	1.110	.902	.704	.723	268
269	---	1.913	1.775	1.668	1.456	1.318	1.249	1.137	.946	.770	269
270	---	2.433	2.274	2.173	1.856	1.617	1.458	1.256	1.025	.903	270
271	---	---	---	---	1.909	1.680	1.507	1.321	1.011	.930	271
272	---	---	---	---	1.975	1.720	1.566	1.419	1.073	.942	272
273	2.817	2.349	2.259	2.151	1.863	1.638	1.503	1.359	.981	.909	273
274	1.907	1.875	1.812	1.692	1.564	1.413	1.309	1.237	.918	.814	274
275	1.922	1.833	1.778	1.611	1.267	1.078	1.033	.911	.733	.678	275
276	2.123	2.050	1.783	1.535	1.369	1.158	1.131	1.011	.846	.744	276
277	2.281	2.134	1.928	1.832	1.663	1.435	1.339	1.214	.935	.839	277
278	2.309	2.146	2.053	1.765	1.493	1.291	1.174	1.011	.754	.700	278
279	2.281	2.110	2.006	1.844	1.597	1.350	1.264	1.122	.856	.760	279
280	2.116	1.934	1.897	1.730	1.537	1.260	1.164	1.010	.791	.714	280
281	2.074	1.975	1.934	1.737	1.605	1.358	1.284	1.152	.905	.782	281
282	2.015	1.933	1.851	1.703	1.554	1.413	1.338	1.249	1.048	.892	282
283	2.227	2.024	1.914	1.835	1.749	1.655	1.467	1.388	.941	.855	283
284	2.410	2.092	1.965	1.901	1.717	1.611	1.541	1.470	1.194	1.004	284
285	---	2.450	2.318	2.090	1.889	1.716	1.640	1.502	1.363	1.163	285
286	1.780	1.693	1.654	1.591	1.504	1.433	1.378	1.307	1.165	.937	286
287	2.144	1.932	1.780	1.720	1.614	1.508	1.424	1.364	1.182	1.045	287
288	2.230	2.104	2.022	1.933	1.815	1.719	1.630	1.578	1.296	1.156	288
289	2.504	2.326	2.141	2.074	1.911	1.778	1.681	1.607	1.304	1.200	289
901	1.850	1.592	1.374	1.129	.871	.721	.721	.626	.490	.463	901
902	2.411	1.668	1.518	1.356	1.173	.936	.850	.700	.495	.506	902
903	1.761	1.387	1.339	1.242	1.062	.905	.820	.688	.543	.507	903
904	1.625	1.374	1.223	1.022	.854	.737	.720	.637	.536	.469	904
905	1.258	1.215	1.063	.933	.824	.716	.683	.607	.499	.453	905
906	1.822	1.589	1.384	1.205	1.055	.890	.836	.740	.589	.534	906
907	1.705	1.555	1.279	1.164	1.002	.887	.829	.737	.588	.530	907
908	1.753	1.619	1.503	1.336	1.052	.902	.851	.718	.634	.584	908
909	1.950	1.750	1.625	1.513	1.250	1.138	1.038	.913	.738	.688	909
910	1.783	1.740	1.643	1.418	1.214	1.085	.999	.881	.720	.644	910
911	2.257	2.159	2.011	1.892	1.681	1.343	1.280	1.132	.921	.837	911
912	2.044	1.942	1.912	1.793	1.511	1.277	1.217	1.067	.887	.797	912
913	2.094	1.898	1.845	1.765	1.524	1.319	1.185	1.052	.802	.740	913
914	1.608	1.249	1.559	1.483	1.369	1.124	1.070	.972	.766	.674	914
915	1.881	1.803	1.757	1.610	1.416	1.161	1.107	1.006	.774	.697	915
916	2.008	1.947	1.895	1.805	1.586	1.361	1.293	1.203	.925	.835	916
917	1.950	1.872	1.823	1.757	1.538	1.387	1.278	1.181	.981	.830	917
918	1.812	1.765	1.705	1.631	1.369	1.275	1.168	1.081	.812	.732	918
919	2.052	1.934	1.833	1.605	1.461	1.343	1.258	1.157	.938	.828	919
920	1.909	1.775	1.731	1.667	1.462	1.290	1.201	1.105	.843	.779	920

Tabel 4. (vervolg)

proef nr.	Toppen			Dalen			χ_f	$\gamma_f(\chi)$	gemiddelde waarden			
	Yaa.t	Kaa.t	Yaa.t(χ)	Yaa.t	Kaa.t	Yaa.t(χ)			j1(Hgem)	j2(Hgem)	j1(Hs)	j2(Hs)
PM-spektrum												
25	.336	.589	.326	.296	.552	.285	.493	.226	2.68	5.77	1.51	11.48
23	.325	.579	.315	.280	.541	.273	.487	.220	2.58	5.63	1.51	11.07
22	.340	.587	.325	.282	.538	.270	.480	.214	2.53	5.48	1.45	10.23
24	.336	.589	.327	.275	.537	.269	.473	.208	2.57	5.53	1.57	11.07
21	.343	.593	.331	.276	.529	.261	.478	.212	2.52	5.46	1.50	10.75
60	.317	.567	.301	.305	.544	.276	.481	.215	2.47	5.39	1.49	11.30
31	.297	.584	.320	.277	.540	.272	.437	.177	2.68	5.69	1.68	12.11
gem s	.328	.584	.321	.284	.540	.272	.476	.209	2.60	5.60	1.54	11.29
									.09	.16	.08	.68
Smal spektrum												
195	-	-	-	.802	.907	.804	.912	.809	5.29	13.24	2.77	21.41
164	.843	.934	.856	.809	.915	.819	.907	.799	6.36	14.71	3.17	21.42
161	.820	.922	.834	.805	.909	.808	.892	.771	5.06	11.51	3.03	23.88
186	.793	.893	.776	.809	.911	.813	.897	.781	5.00	11.10	2.83	21.09
gem s	.818	.916	.822	.806	.910	.811	.902	.790	5.43	12.64	2.95	21.95
									.63	1.66	.18	1.30
Breed spektrum												
188	.130	.367	.125	.083	.309	.090	.280	.072	2.33	4.90	1.36	9.94
171	.109	.346	.113	.075	.329	.100	.247	.056	2.09	4.82	1.24	10.03
182	.136	.425	.167	.250	.283	.305	.249	.057	2.19	4.77	1.40	10.06
175	.094	.414	.161	.030	.236	.051	.220	.044	2.04	4.54	1.39	11.11
gem s	.117	.388	.141	.110	.289	.136	.249	.057	2.16	4.76	1.35	10.29
									.13	.15	.07	.55

Tabel 5. Parameters in relatie tot golfgegroeptheid

p	PM-spektrum (cota=2, 3, 4)			PM-spektrum (cota=3)		smal spektrum		breed spektrum	
	a	b	c	b	c	b	c	b	c
max (ca.0,14%)	1.12	1.34	.55	1.41	.51	1.03	.74	1.20	.63
1 %	1.01	1.24	.48	1.21	.50	.87	.71	1.08	.57
2 %	.96	1.17	.46	1.15	.49	.80	.69	1.01	.53
5 %	.86	1.05	.44	1.00	.47	.71	.67	.91	.51
10 %	.77	.94	.42	.89	.42	.63	.64	.82	.47
sign	.72	.88	.41	.85	.46	.59	.63	.77	.46
gem	.47	.60	.34	.55	.43	.38	.58	.54	.37

Tabel 6. 'Best fit' koëfficiënten a, b en c voor relatie (5.1) en (5.2) ;
 ondoorlatende kern

p	PM- en breder spektrum			smal spektrum		geldig als $\xi_m <$
	a	b	c	b	c	
max (ca.0,14%)	1.12	1.34	.55	1.03	.74	4.0
1 %	1.01	1.24	.48	.87	.71	4.7
2 %	.96	1.17	.46	.80	.69	5.2
5 %	.86	1.05	.44	.71	.67	5.5
10 %	.77	.94	.42	.63	.64	6.2
sign	.72	.88	.41	.59	.63	6.2
gem	.47	.60	.34	.38	.58	6.7

Tabel 7. Koëfficiënten a, b en c, en toepassingsgebied ;
 ondoorlatende kern

p	max. Ru_p/H_s
max (ca.0,14%)	2.58
1 %	2.15
2 %	1.97
5%	1.68
10 %	1.45
sign	1.35
gem	.82

Tabel 8. Maximale waarden voor Ru_p/H_s ;
 doorlatende konstruktie

Ru.p/Ru.s	PM-spektrum
max (ca.0,14%)	1.56
1 %	1.40
2 %	1.33
5 %	1.19
10 %	1.07
sign	1.00
gem	.65

brekende golven; m.b.v. relatie (5.1)

Rup/Rus, ksi= 2	PM	Rayleigh verdeling	Saal
max (ca.0,14%)	1.68	1.81	1.88
1 %	1.48	1.52	1.56
2 %	1.38	1.40	1.41
5 %	1.22	1.22	1.24
10 %	1.08	1.07	1.08
sign	1.00	1.00	1.00
gem	.65	.63	.62

Rup/Rus, ksi= 4	PM	Saal
max (ca.0,14%)	1.85	2.03
1 %	1.55	1.65
2 %	1.42	1.47
5 %	1.24	1.27
10 %	1.08	1.08
sign	1.00	1.00
gem	.62	.60

Rup/Rus, sm= .005	PM als cote = 2 7.07 = ksi	PM als cote = 3 4.71 = ksi	PM als cote = 4 3.54 = ksi
max (ca.0,14%)	2.00	1.89	1.82
1 %	1.62	1.57	1.54
2 %	1.47	1.44	1.42
5 %	1.27	1.25	1.24
10 %	1.09	1.08	1.08
sign	1.00	1.00	1.00
gem	.59	.61	.62

Rup/Rus, sm= .01	PM als cote = 2 5.00 = ksi	PM als cote = 3 3.33 = ksi	PM als cote = 4 2.50 = ksi
max (ca.0,14%)	1.91	1.80	1.73
1 %	1.58	1.53	1.50
2 %	1.44	1.41	1.39
5 %	1.25	1.24	1.23
10 %	1.09	1.08	1.08
sign	1.00	1.00	1.00
gem	.61	.63	.64

Rup/Rus, sm= .02	PM als cote = 2 3.54 = ksi	PM als cote = 3 2.36 = ksi	PM als cote = 4 1.77 = ksi
max (ca.0,14%)	1.82	1.72	1.65
1 %	1.54	1.50	1.47
2 %	1.42	1.39	1.37
5 %	1.24	1.22	1.21
10 %	1.08	1.08	1.07
sign	1.00	1.00	1.00
gem	.62	.64	.66

niet-brekende golven; m.b.v. relatie (5.2)

Tabel 9. Eerste analyse oploopverdeling

proef nr	b	c	b/Hs	proef nr	b	c	b/Hs
1	---	---	---	72	.115	2.28	1.014
2	.085	1.73	.992	73	.095	2.41	1.098
3	.048	1.62	1.044	74	.083	2.14	1.089
4	.075	1.77	.978	75	.107	2.33	1.071
5	.079	1.94	1.131	76	.129	2.30	1.044
6	.088	1.82	1.196	77	.124	2.70	.670
7	.085	1.60	1.029	78	.136	3.07	.698
8	.083	2.02	1.263	79	.099	2.66	.636
9	.060	1.57	1.075	80	.095	2.65	.582
10	.089	1.75	1.121	81	.100	2.94	.573
11	.089	1.62	1.192	82	.104	2.47	.546
12	.076	1.73	1.160	83	.101	2.19	.871
13	.069	1.86	1.243	84	.118	2.43	.881
14	.119	1.93	1.410	85	.085	2.06	.861
15	.118	1.86	1.267	86	.060	2.24	.868
16	.121	1.85	1.390	87	.133	2.35	.844
17	.098	1.81	1.295	88	.116	2.20	.971
18	.117	1.75	1.237	89	.089	2.17	1.071
19	.108	1.78	1.317	90	.112	2.24	1.035
21	---	---	---	91	.099	2.18	1.027
22	.092	1.97	.928	92	.152	2.53	1.092
23	.088	2.20	1.025	93	.060	2.18	.497
24	.092	1.84	.850	94	.107	2.34	.622
25	.065	2.05	.927	95	.118	2.86	.599
26	.115	1.90	.984	96	.091	2.45	.615
27	.104	1.87	1.040	97	.072	3.34	.543
28	.095	2.09	1.127	98	.116	2.14	.763
29	.101	2.05	1.102	99	.088	2.03	.755
30	.117	2.16	1.105	100	.068	2.02	.773
31	.139	2.09	1.199	101	.114	2.40	.838
32	.119	1.86	1.130	102	.159	2.91	.884
33	.111	1.97	1.168	105	.128	2.47	.833
34	.096	2.00	1.156	106	.106	2.33	.691
35	.106	2.06	.964	107	.132	3.04	.864
36	.098	2.09	.974	152	.102	2.60	1.197
37	.083	2.05	.961	153	.115	2.02	1.067
38	.067	1.93	.908	154	.103	2.23	1.042
39	.119	2.15	1.005	155	.070	2.16	.987
40	---	---	---	156	.103	1.80	.876
41	.118	2.19	.964	158	.075	1.69	.795
42	.089	2.02	.889	159	.049	1.75	.789
43	.072	2.03	.899	160	.053	1.73	.674
44	.124	2.17	.902	161	.088	1.83	.792
45	.094	1.96	.833	162	.057	1.71	.828
46	.074	2.51	.759	163	.051	1.63	.612
47	.100	2.39	.743	164	.092	1.87	.770
48	.115	2.21	.743	165	.075	1.74	.742
49	.121	2.19	.718	166	---	---	---
50	.096	2.32	.806	167	.086	1.95	.638
51	.145	2.22	1.268	168	.105	1.99	.785
52	.132	2.17	1.254	169	.102	2.12	1.122
53	.116	2.03	1.192	170	.102	2.08	.961
54	.096	2.01	1.202	171	.101	1.99	.828
55	.135	2.09	1.206	172	.064	2.26	.872
56	.116	2.08	.922	173	.081	1.75	.955
58	.063	1.95	.906	174	.060	1.93	.957
59	.082	2.15	.942	175	.111	2.01	1.053
60	.103	1.91	.892	176	.073	2.09	.982
61	---	---	---	177	.106	2.12	1.110
62	.162	2.51	.862	178	.081	2.02	.913
63	.128	2.14	.770	179	---	---	---
64	.115	2.28	.842	180	.073	2.20	.984
65	.097	2.26	.838	181	.096	1.99	.943
66	.078	2.45	.878	182	.112	2.24	.999
67	.120	2.15	.894	183	.087	1.77	1.093
68	.108	2.12	.908	184	.063	1.62	1.067
69	.082	2.50	.944	185	.081	1.65	1.160
70	.069	1.93	.953	186	.102	1.69	1.055
71	.098	2.17	.954	187	.075	2.13	.698
				188	.090	2.32	.721

Tabel 10. Weibull parameters

proef nr	b	c	b/Hs	proef nr	b	c	b/Hs
189	.108	2.08	1.009	261	---	---	---
190	.040	2.01	.600	262	.123	1.43	.911
191	.058	2.00	.664	263	---	---	---
192	.094	2.17	.668	264	.130	1.62	.823
193	.065	1.91	.532	265	.090	1.66	.851
194	.051	1.97	.645	266	.116	1.60	.816
195	.072	1.93	.581	267	.158	2.14	.932
196	.073	1.94	.524	268	.068	1.39	.678
197	.078	1.92	.465	269	.176	2.22	.934
198	.066	1.86	.693	270	.140	2.01	1.011
199	.074	1.87	.708	271	---	---	---
200	.079	1.96	.651	272	---	---	---
201	---	---	---	273	.114	2.23	1.022
202	.108	1.77	.603	274	.120	2.365	.961
203	.110	1.95	.852	275	.063	1.697	.696
204	---	---	---	276	.086	1.883	.788
205	.166	2.12	1.131	277	.129	2.069	.951
206	.102	1.87	.902	278	.097	1.567	.751
207	---	---	---	279	.090	1.814	.860
208	.090	2.12	.590	280	.122	1.738	.785
209	.106	2.73	.626	281	.111	2.080	.913
210	.062	2.14	.481	282	.141	2.726	1.045
211	.121	1.93	.826	283	.129	2.182	1.014
212	.147	2.25	.829	284	.172	3.095	1.219
213	.140	1.96	.866	285	.187	2.720	1.294
214	.088	1.63	.673	286	.149	4.457	1.173
217	.061	1.35	.682	287	.156	3.560	1.185
218	.069	1.35	.671	288	.180	3.575	1.333
219	.097	1.65	.841	289	.180	3.043	1.332
220	.117	1.64	.846	901	.032	1.371	.435
221	.115	1.74	.878	902	.046	1.359	.500
222	.118	1.86	1.047	903	.045	1.681	.539
223	.082	1.62	.905	904	.029	1.713	.485
224	.131	1.92	1.051	905	.022	1.900	.476
225	.095	1.67	.919	906	.041	1.701	.564
226	.147	1.84	1.107	907	.049	1.786	.564
227	.114	2.05	1.111	908	.034	1.627	.569
228	.126	2.10	1.082	909	.058	1.895	.724
229	.138	1.85	1.042	910	.065	1.845	.694
230	---	---	---	911	.128	1.874	.898
231	---	---	---	912	.143	1.960	.860
232	.080	1.49	.699	913	.092	1.852	.817
233	.090	1.50	.657	914	.138	2.161	.749
234	.125	1.98	.786	915	.100	1.899	.774
235	---	---	---	916	.125	2.183	.942
236	.078	1.40	.633	917	.162	2.471	.983
237	.092	1.77	.817	918	.125	2.130	.836
238	.068	1.91	.792	919	.110	2.338	.933
239	.095	2.29	.983	920	.136	2.182	.867
240	.096	2.30	.918				
241	.107	2.03	.883				
242	.107	1.65	.931				
243	.078	1.82	.930				
244	.098	1.77	.965				
245	.115	1.82	.927				
246	.111	1.88	.845				
247	.082	1.45	.755				
248	.065	1.42	.717				
249	.098	1.30	.796				
250	.086	1.39	.622				
251	.066	1.43	.656				
252	.070	1.55	.765				
253	.097	2.02	.921				
254	.116	2.21	.949				
255	---	---	---				
256	.143	1.83	.949				
257	.136	2.06	1.044				
258	.092	2.03	.876				
259	.133	1.83	.962				
260	---	---	---				

Tabel 10. (vervolg).

proef nr	b	c	b/Hs
158	.075	1.69	.795
159	.049	1.75	.789
160	.053	1.73	.674
161	.088	1.83	.792
162	.057	1.71	.828
163	.051	1.63	.612
164	.092	1.87	.770
165	.075	1.74	.742
166	---	---	---
167	.086	1.95	.638
183	.087	1.77	1.093
184	.063	1.62	1.067
185	.081	1.65	1.160
186	.102	1.69	1.055
193	.065	1.91	.532
194	.051	1.97	.645
195	.072	1.93	.581
196	.073	1.94	.524
197	.078	1.92	.465

158	.057	1.28	.795
159	.042	1.47	.789
160	.043	1.35	.674
161	.058	1.21	.792
162	.051	1.51	.828
163	.047	1.43	.612
164	.092	2.03	.770
165	.064	1.74	.742
166	---	---	---
167	.087	1.50	.638
183	.069	1.36	1.093
184	.047	1.21	1.067
185	.068	1.38	1.160
186	.078	1.27	1.055
193	.059	1.70	.532
194	.052	2.04	.645
195	.076	2.08	.581
196	.077	2.10	.524
197	.081	1.73	.465

158	---	---	---
159	.049	1.81	.789
160	.053	1.75	.668
161	.083	2.21	.749
162	.059	1.86	.856
163	.055	1.89	.657
164	.092	2.04	.771
165	.076	2.19	.755
166	.087	2.18	.795
167	.106	2.02	.783
183	.089	1.84	1.114
184	.066	1.83	1.113
185	.088	1.79	1.264
186	.105	1.90	1.082
193	.067	2.01	.615
194	.051	2.03	.643
195	.072	1.91	.581
196	.074	1.99	.532
197	.085	1.94	.510

parameters bepaald

m.b.v. $Ru_{0.5}-Ru_{37}$

parameters bepaald

m.b.v. bovenste

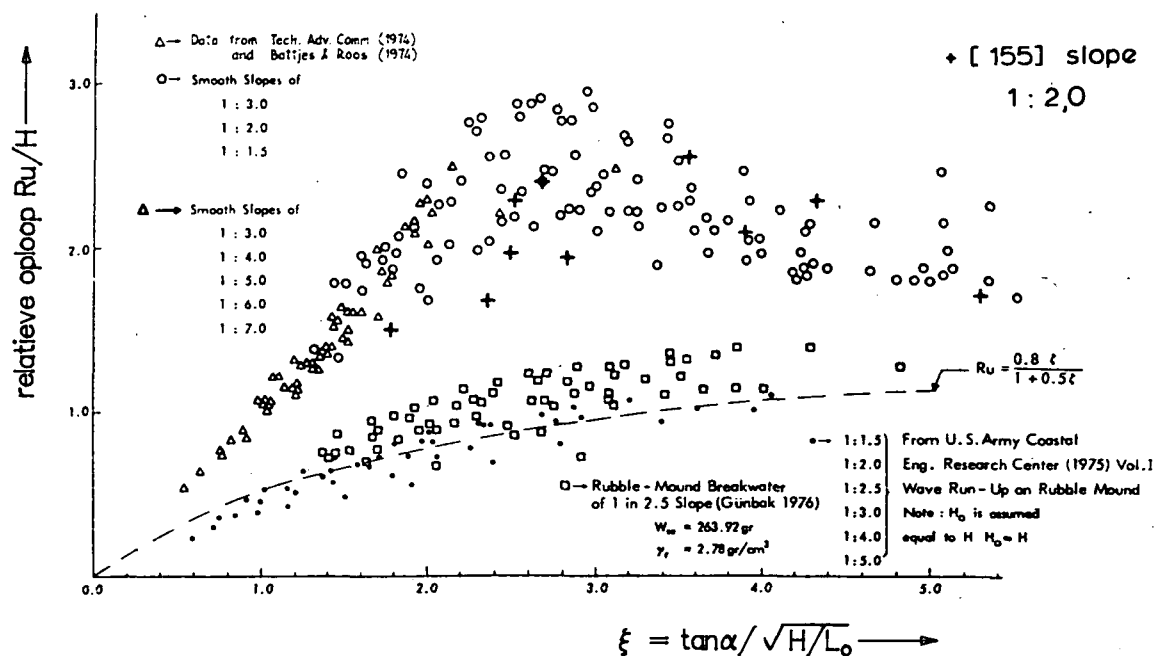
gedeelte oploopverdeling

parameters bepaald

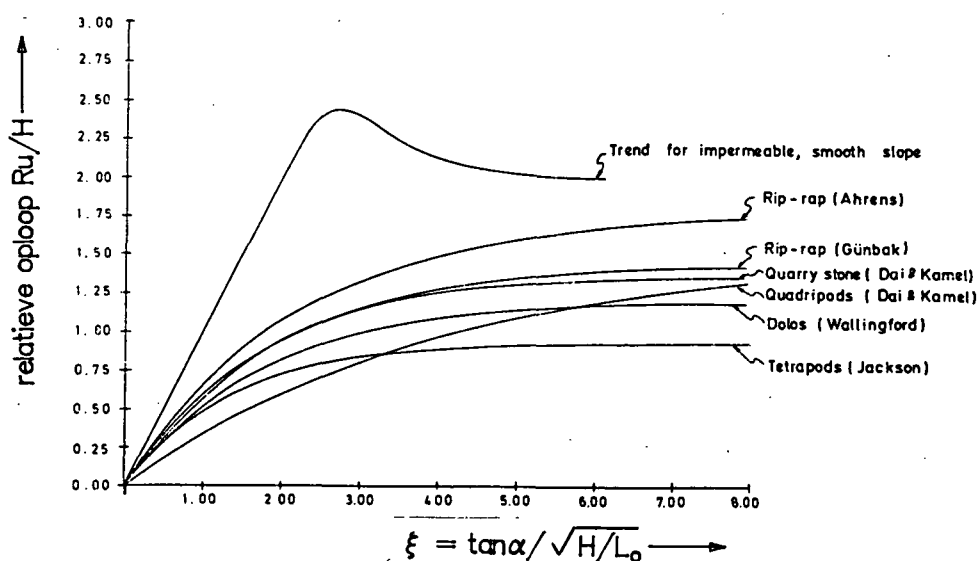
m.b.v. onderste

gedeelte oploopverdeling

Tabel 11. Weibull parameters voor de
proeven met een smal spectrum



a) Opleop op gladde en stortsteen taluds , Günbak (1979)



b) Opleop op diverse taluds , Losada en Giménez-Curto (1981)

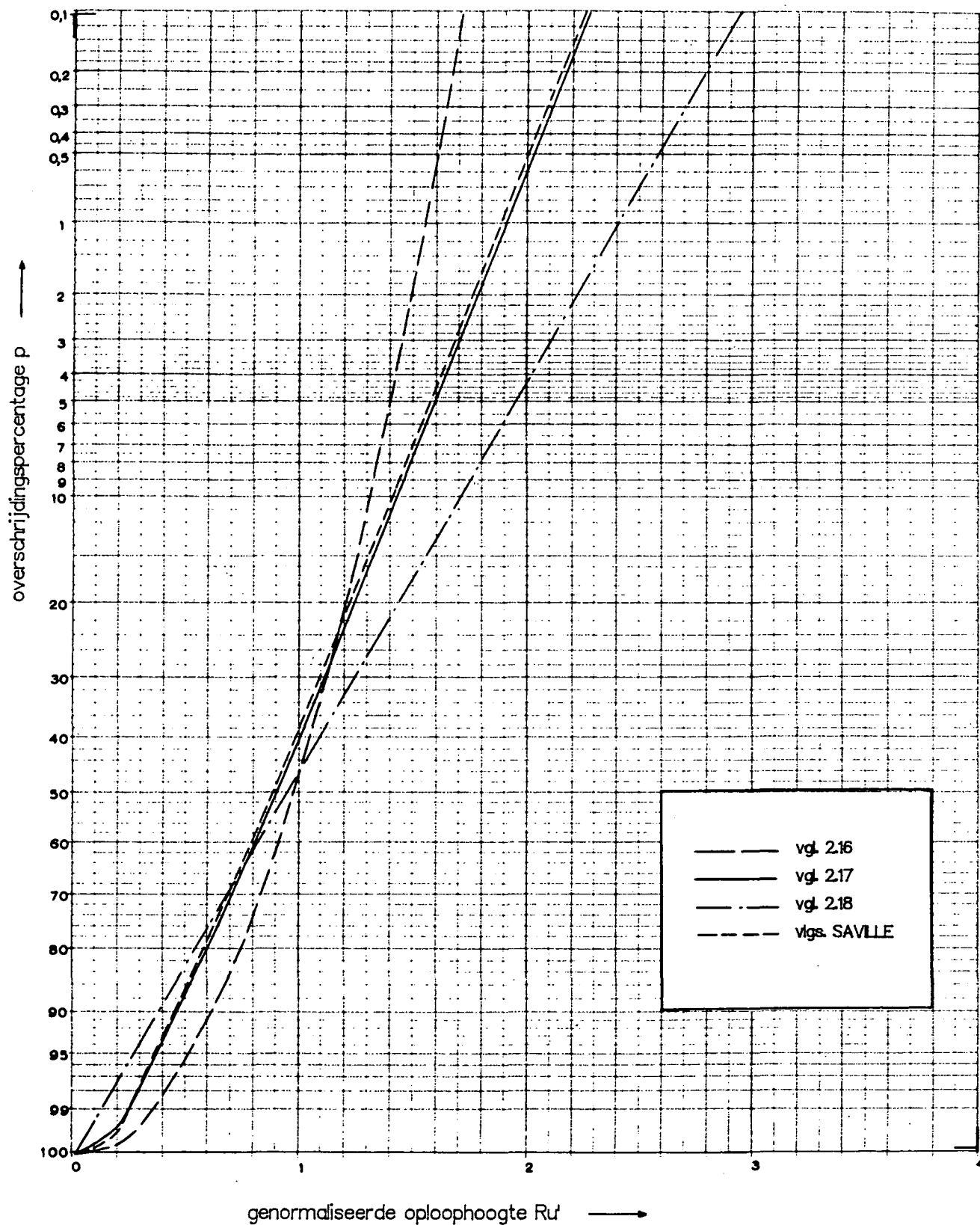
RELATIEVE OPLOOP DOOR REGELMATIGE GOLVEN ,

GLADDE EN RUWE TALUDS

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.1

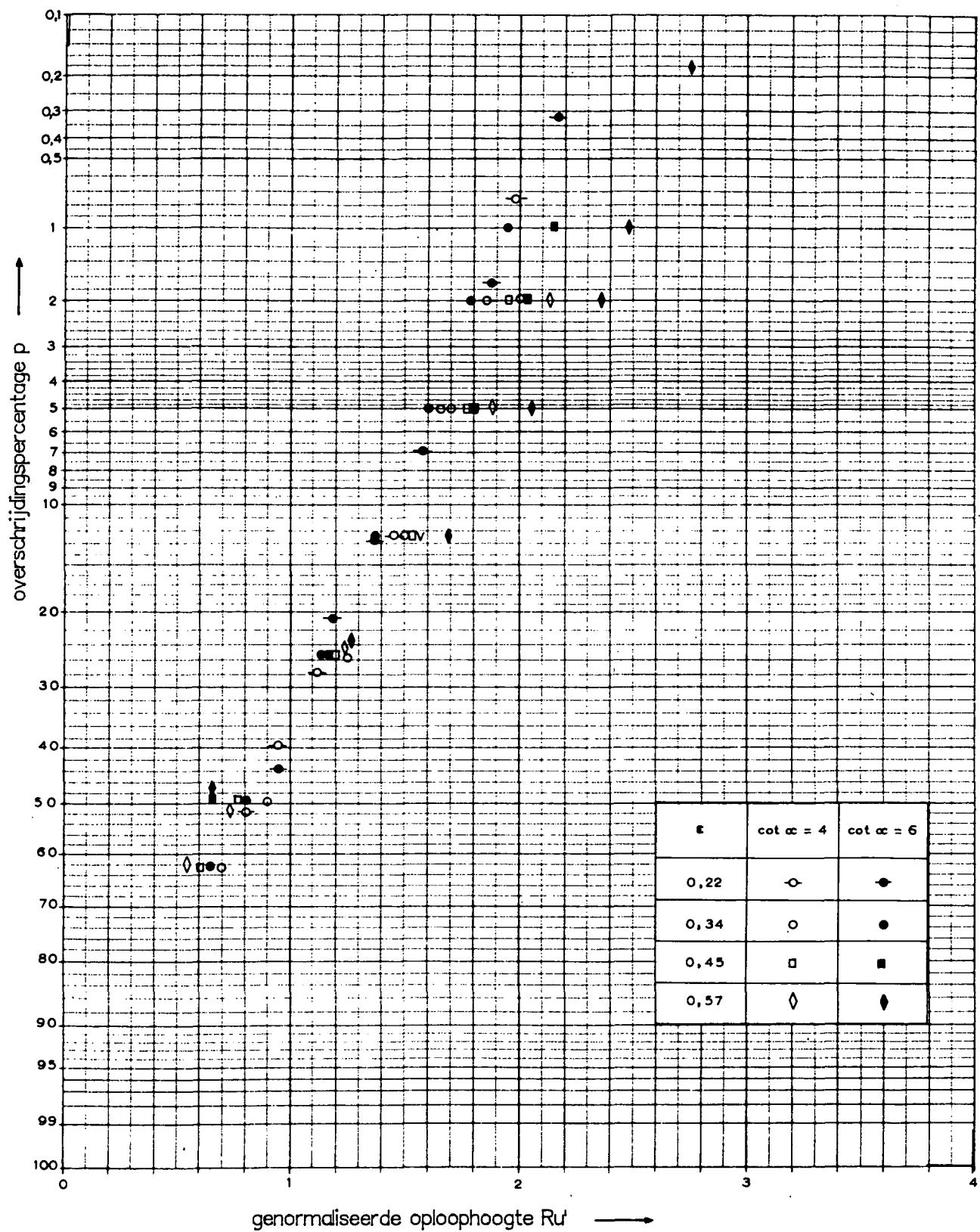


OPLOOPVERDELINGEN OP EEN GLAD TALUD , VERKREGEN MET DE
HYPOTHESE VAN EQUIVALENTIE , TAW (1972)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.2



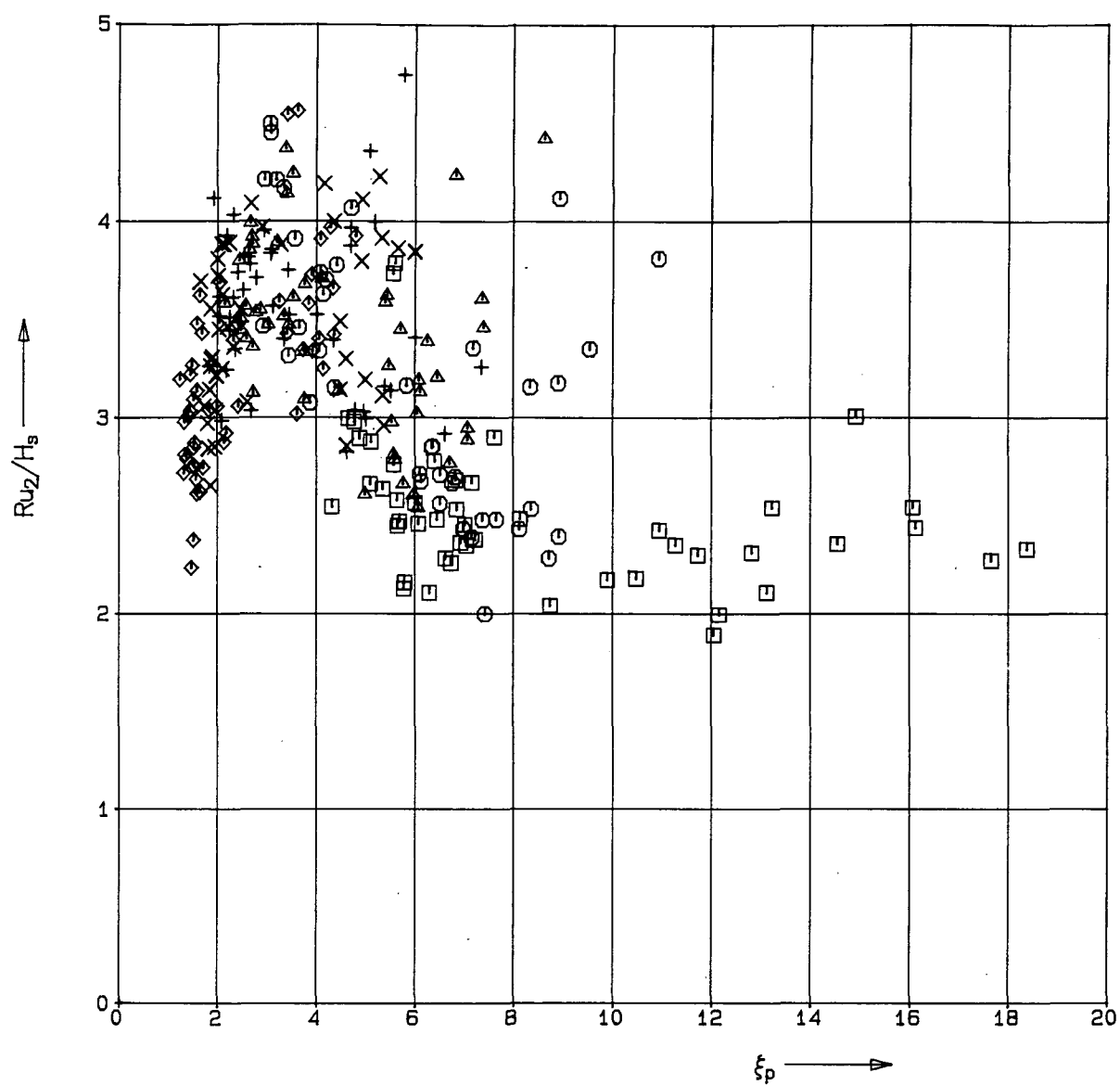
ϵ = spektrale breedteparameter

OPLOOPVERDELINGEN DOOR VAN OORSCHOT EN D'ANGREMOND (1968)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.3



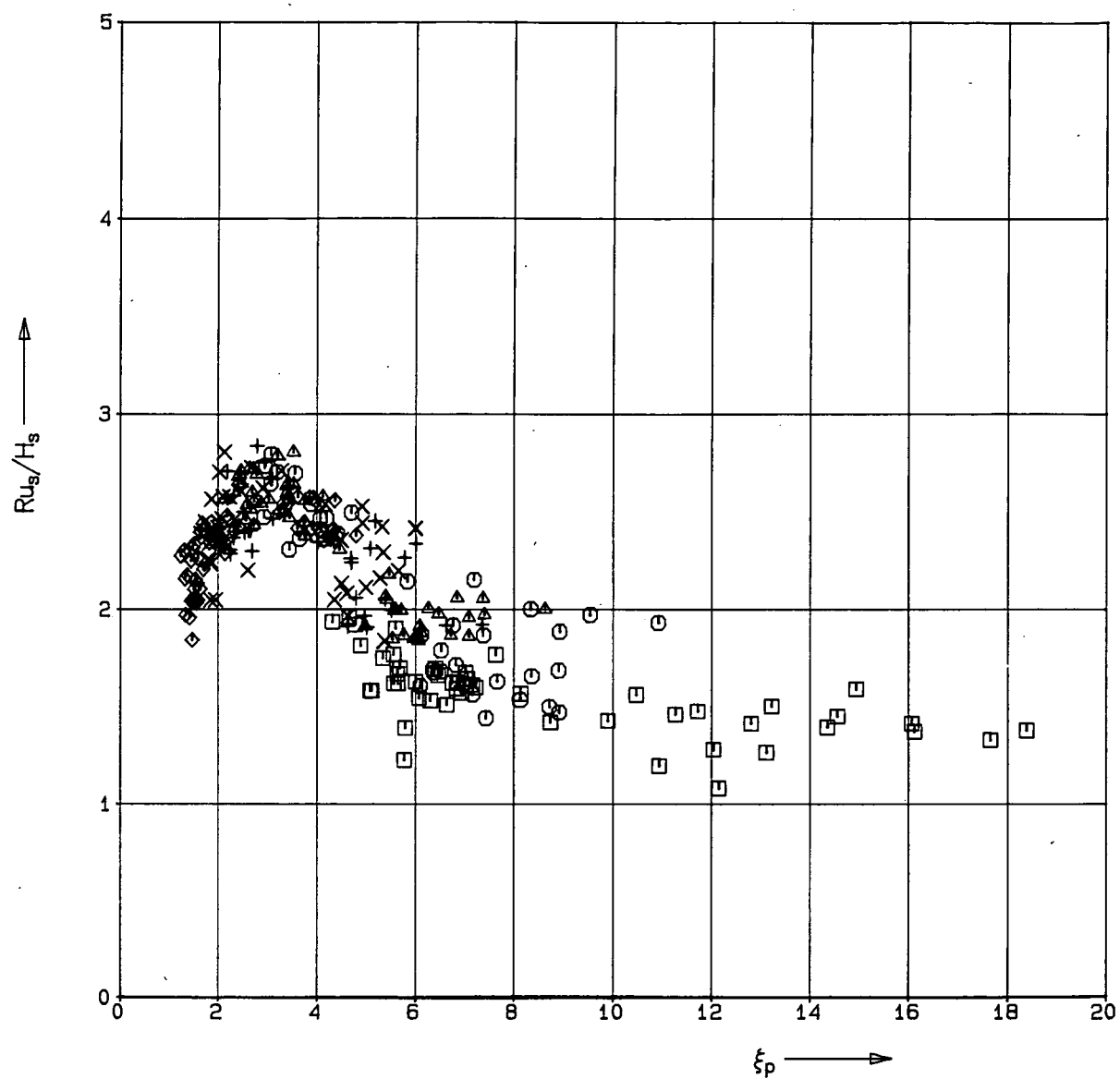
- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| $\square$ $\cot \alpha = 1$ | $+$ $\cot \alpha = 2,5$ |
| $\oplus$ $\cot \alpha = 1,5$ | $\times$ $\cot \alpha = 3$ |
| $\triangle$ $\cot \alpha = 2$ | $\diamond$ $\cot \alpha = 4$ |

RELATIEVE OPLOOP OP EEN GLAD TALUD,
ONREGELMATIGE GOLVEN, AHRENS (1981)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.4

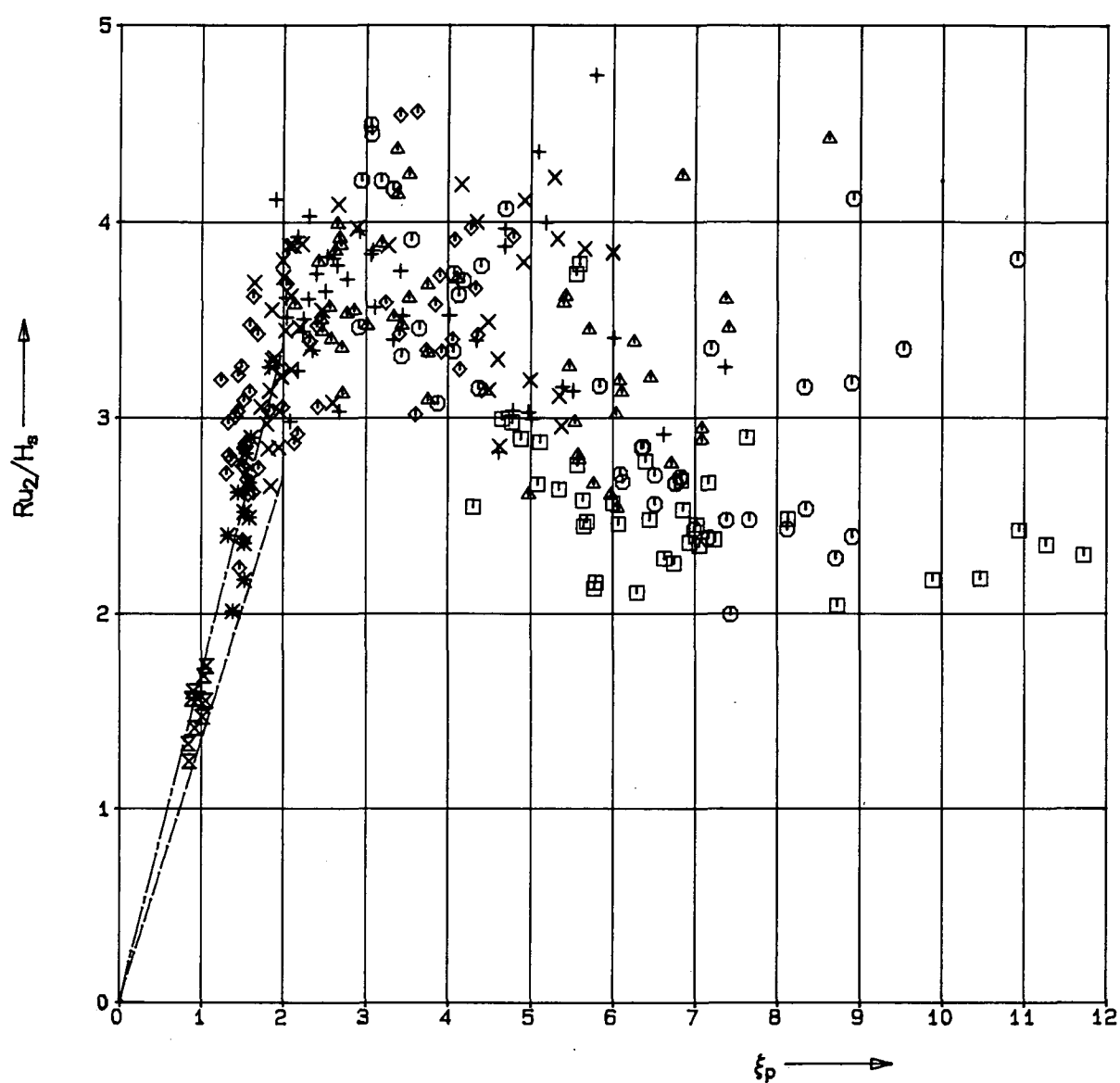


RELATIEVE OPLOOP OP EEN GLAD TALUD,
ONREGELMATIGE GOLVEN, AHRENS (1981)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.5



Ahrens (1981)

□ $\cot \alpha = 1$

○ $\cot \alpha = 1,5$

△ $\cot \alpha = 2$

+ $\cot \alpha = 2,5$

x $\cot \alpha = 3$

◇ $\cot \alpha = 4$

Van Oorschot en d'Angremond (1968)

* $\cot \alpha = 4$

z $\cot \alpha = 6$

TAW (1972)

----- $\rho = 0$

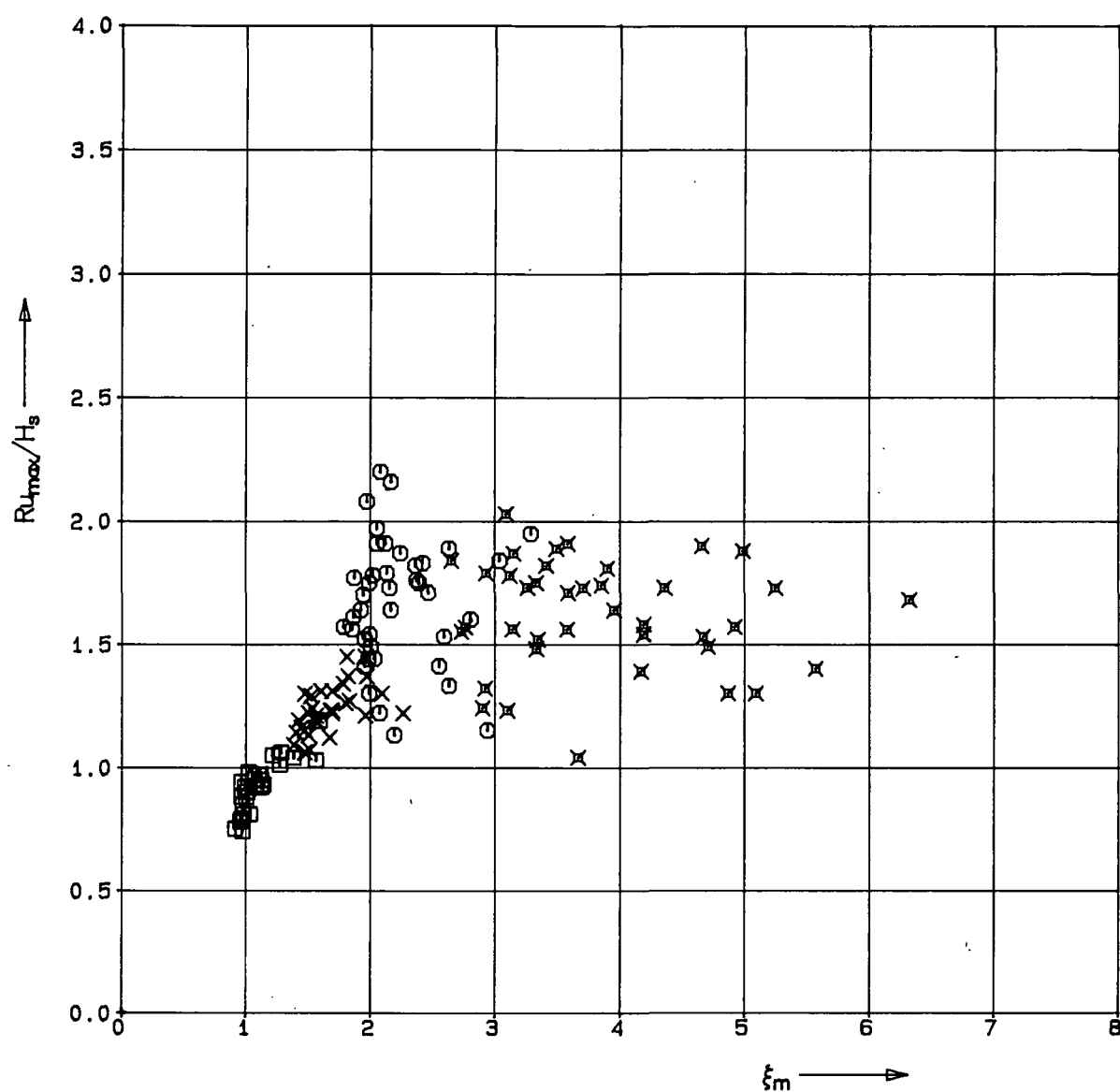
————— $\rho = 1$

RELATIEVE OPLOOP TEN GEVOLGE VAN ONREGELMATIGE GOLVEN
OP EEN GLAD TALUD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.6



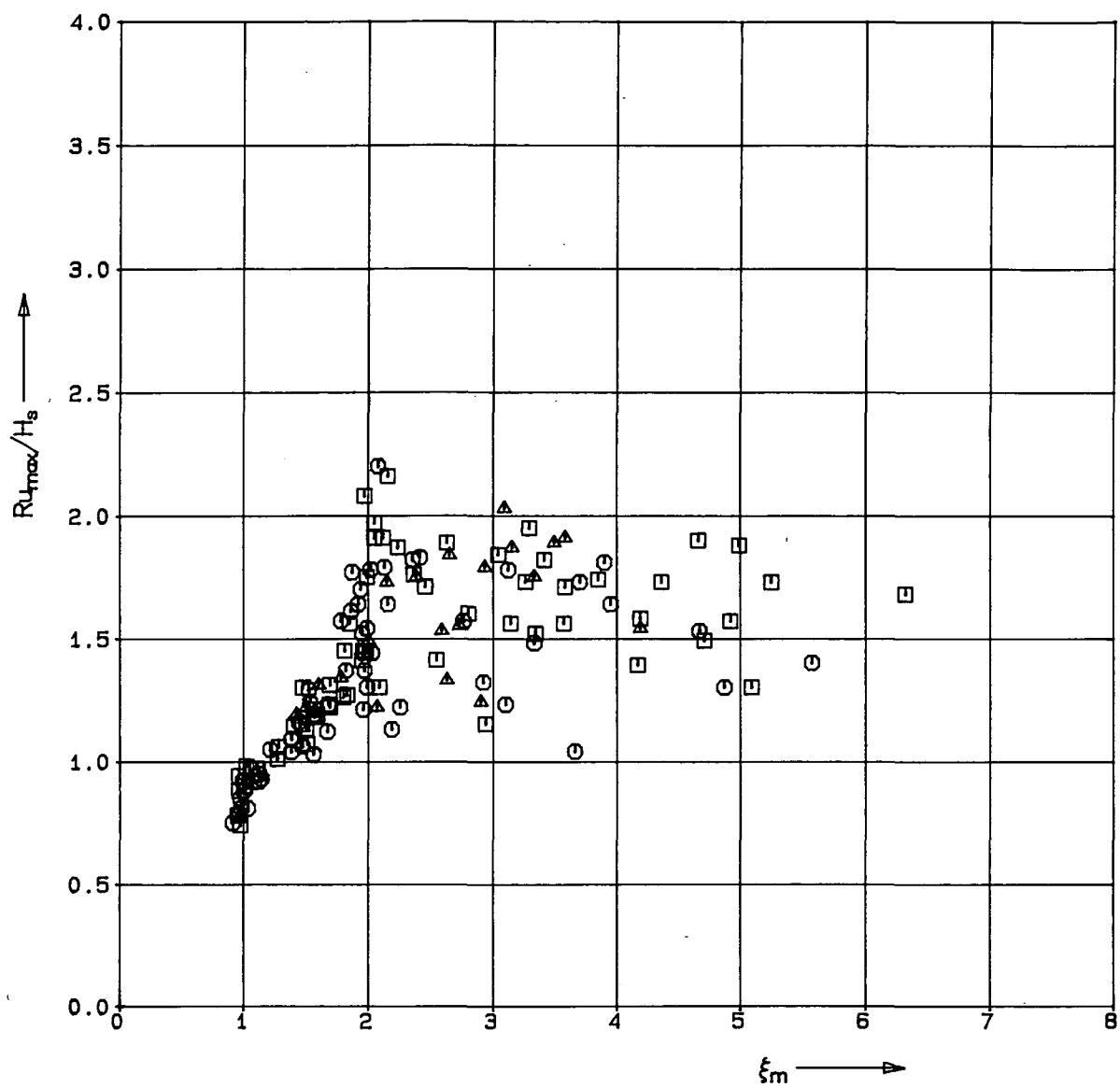
- x $\cot \alpha = 2$
- o $\cot \alpha = 3$
- x $\cot \alpha = 4$
- $\cot \alpha = 6$

RELATIEVE GOLFOFLOOP OP EEN STORTSTEEN TALUD , ONREGEL-
MATIGE GOLVEN , THOMPSON EN SHUTTLE (1975)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.7



$\square$ $D_{50} = 20$ mm

$\circ$ $D_{50} = 30$ mm

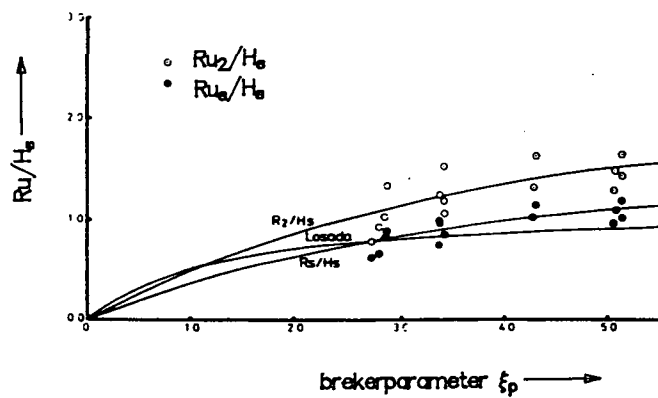
$\triangle$ $D_{50} = 40$ mm

INVLOED STORTSTEENDIAMETER OP DE RELATIEVE OPLOOP ,
THOMPSON EN SHUTTLE (1975)

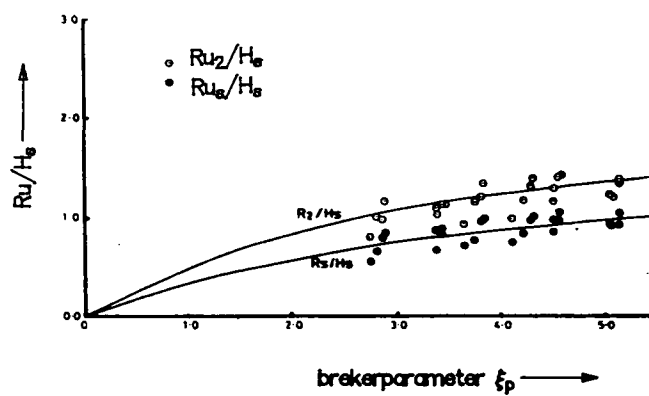
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.8



a) Oploop op taluds van tetrapoden



b) Oploop op taluds van anti-fer kubussen

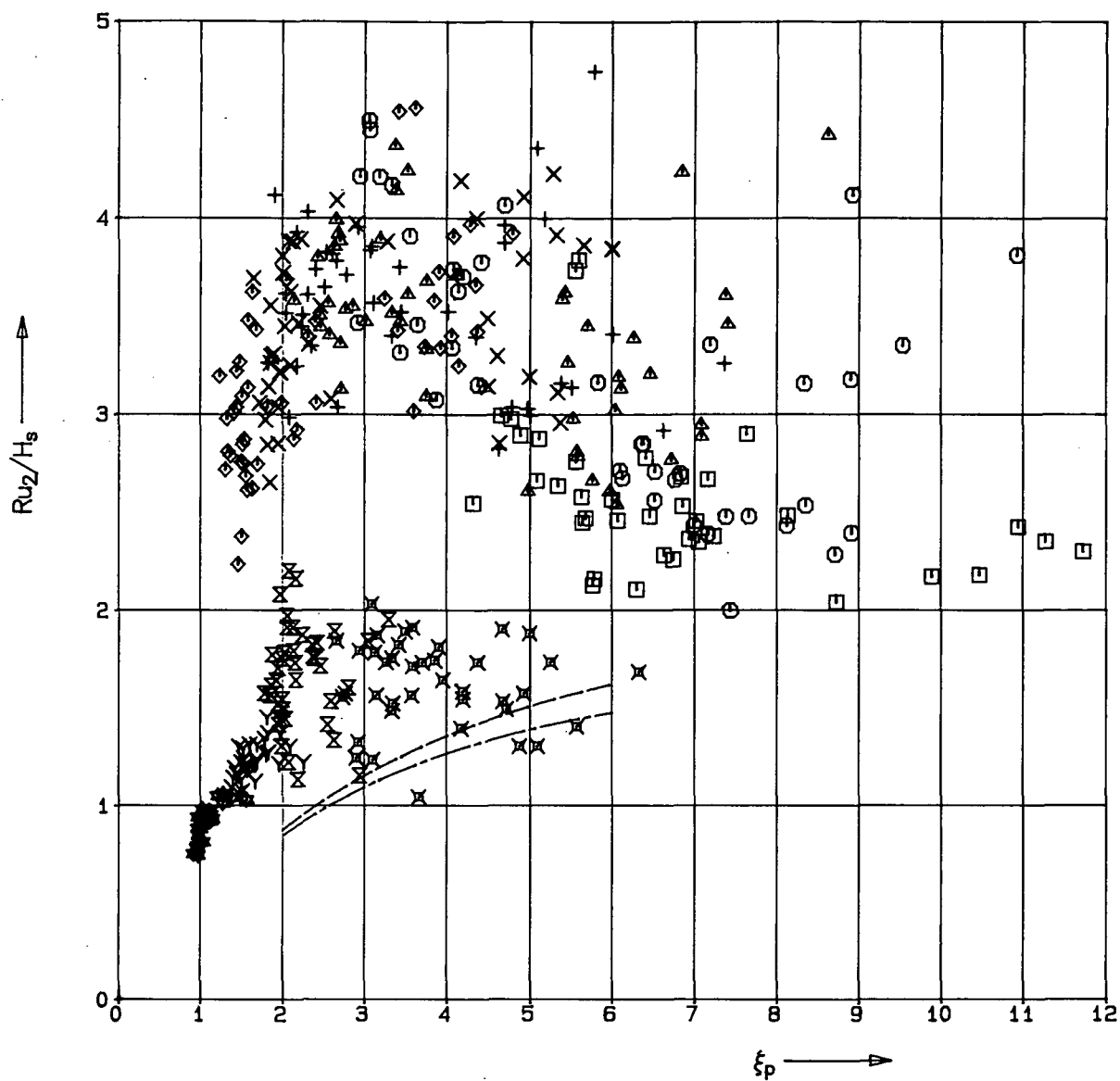
RELATIEVE OPLOOP OP RUW, DOORLATEND TALUD

ALLSOP, FRANCO EN HAWKES (1985)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 2.9



Ahrens (1981) - glad talud

□ $\cot \alpha = 1$

○ $\cot \alpha = 1,5$

△ $\cot \alpha = 2$

+ $\cot \alpha = 2,5$

× $\cot \alpha = 3$

◇ $\cot \alpha = 4$

Thompson en Shuttler - stortsteen talud

× $\cot \alpha = 2$

× $\cot \alpha = 3$

γ $\cot \alpha = 4$

★ $\cot \alpha = 6$

Allsop et al.

tetrapoden

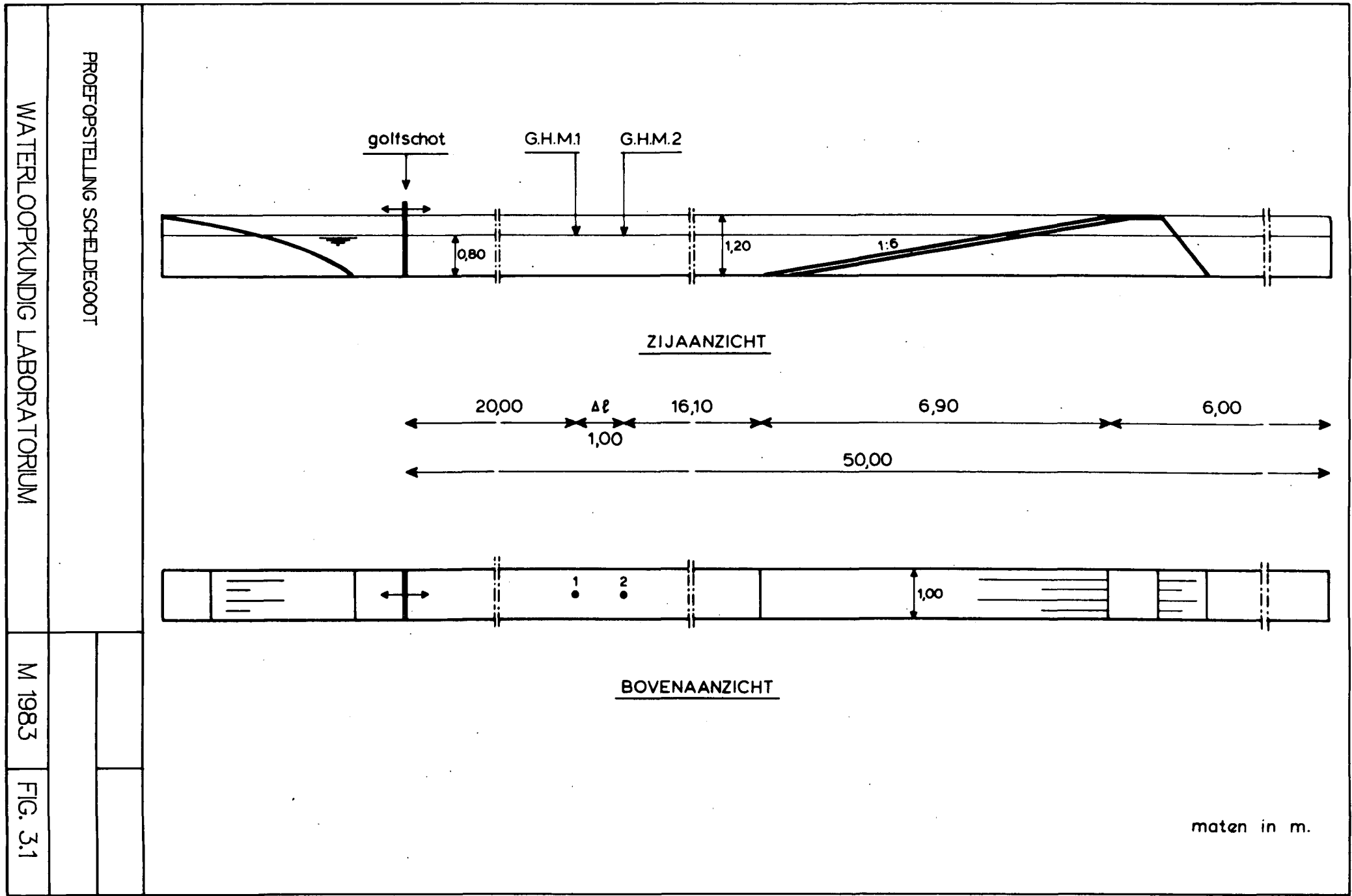
antifer kubussen

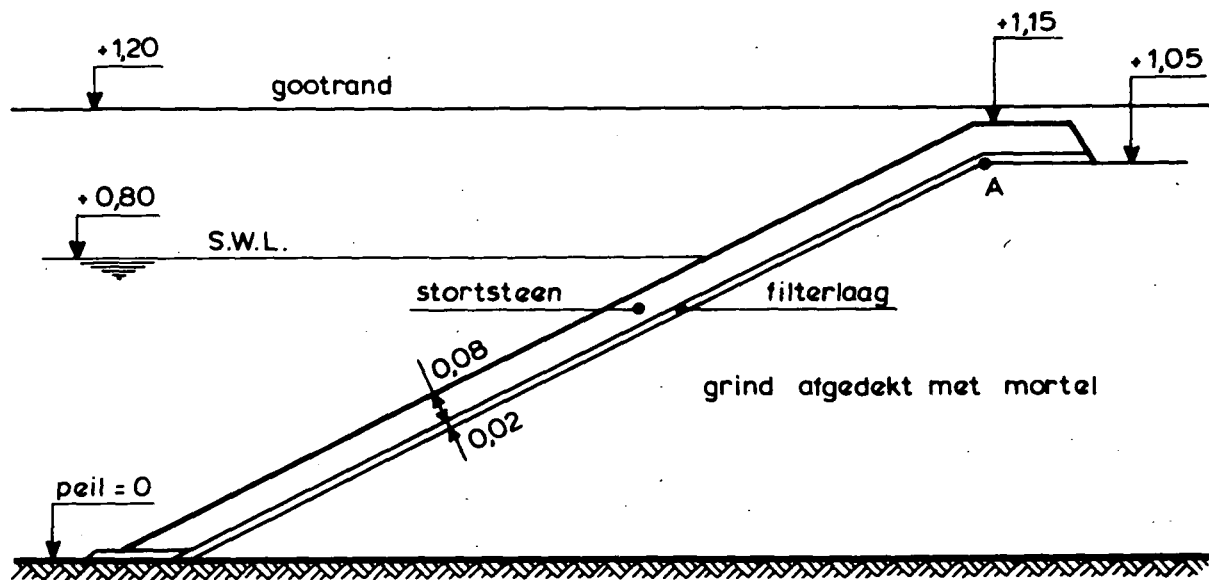
RELATIEVE OPLOOP TEN GEVOLGE VAN ONREGELMATIGE GOLVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

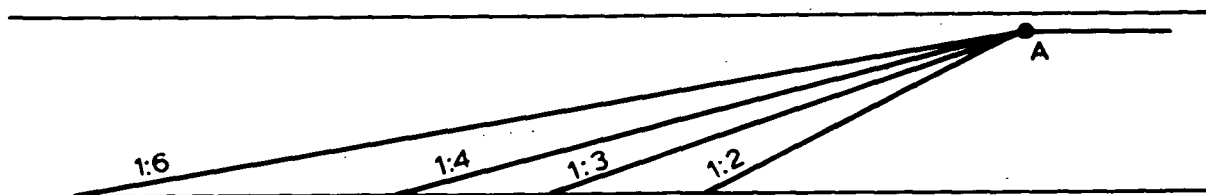
M 1983

FIG. 2.10





a. Model



b. Taludhellingen

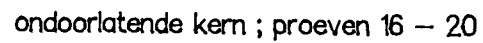
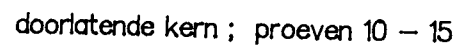
maten in m.

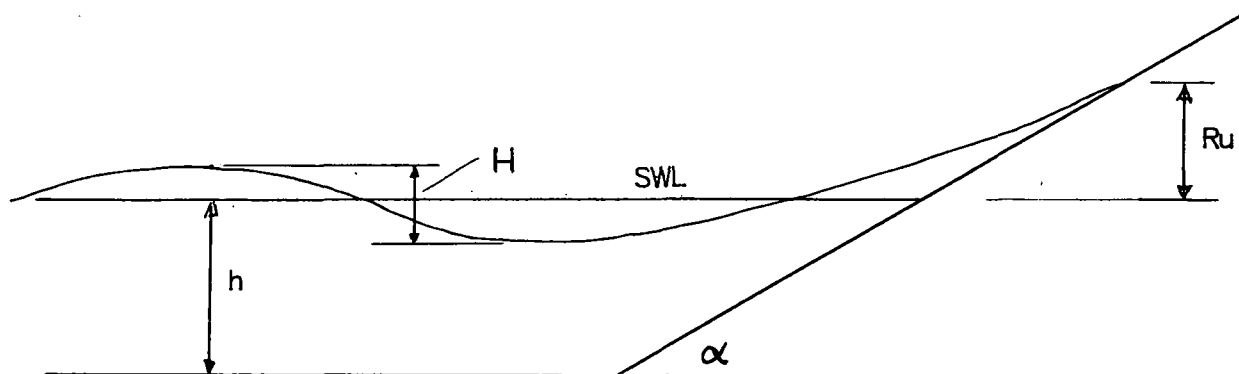
HET MODEL MET EEN ONDOORLATENDE KERN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

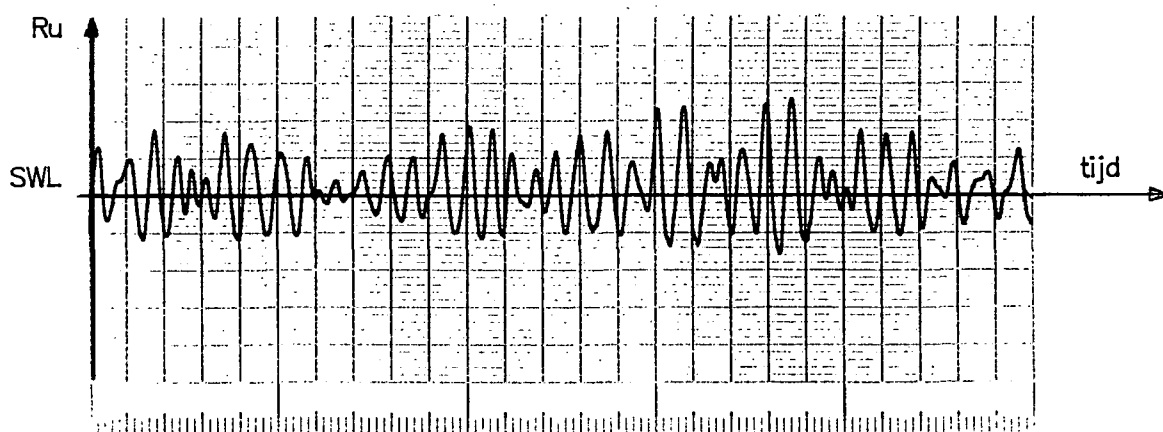
M 1983

FIG. 3.2





a) Definitie oploophoogte R_u



b) Fragment registratie oploophoogte

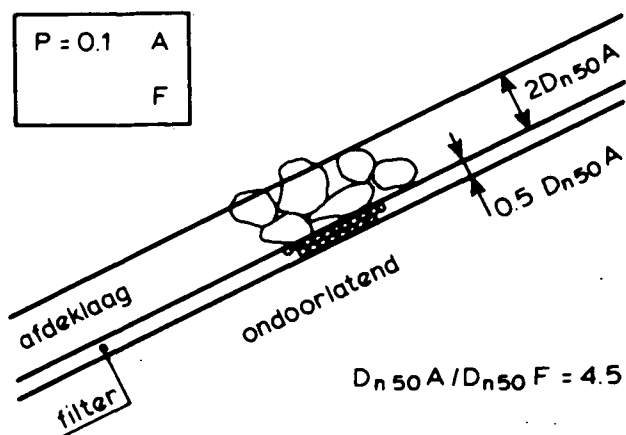
DEFINITE OPLOOPHOOGTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

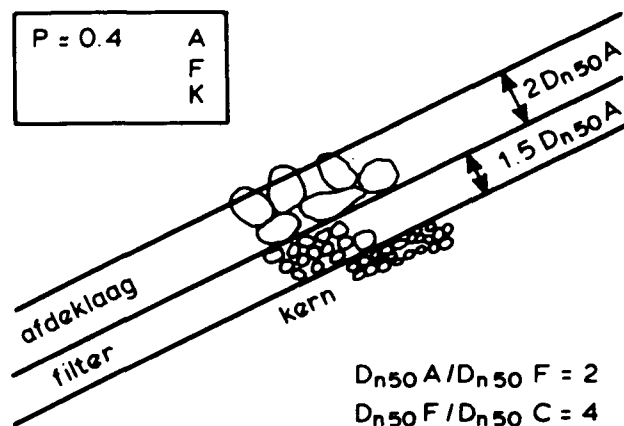
FIG. 3.4

P = 0.1 A
 F



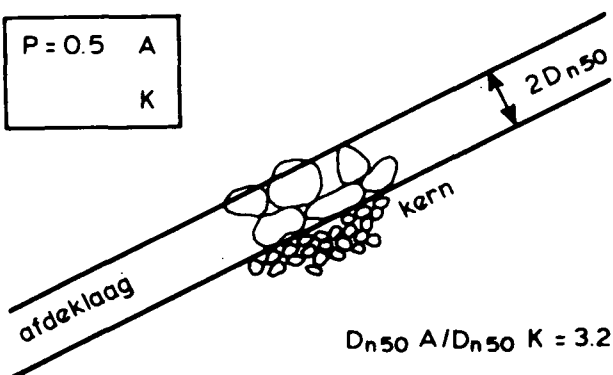
a) Ondoorlatende kern
P = 0.1 Proeven 1... 197

P = 0.4 A
 F
 K



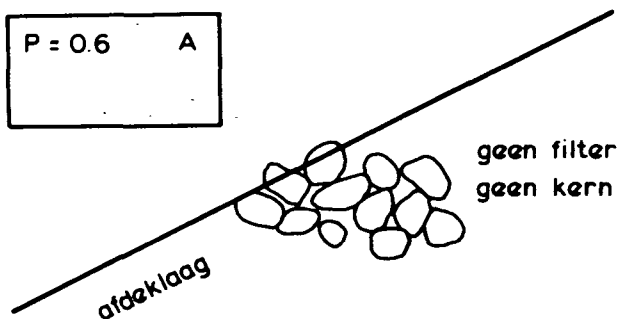
b) Golfbreker
P = 0.4 Niet onderzocht

P = 0.5 A
 K



c) Doorlatende kern
P = 0.5 Proeven 198 - 257
274 - 289
901 - 920

P = 0.6 A



d) Homogene dam
P = 0.6 Proeven 258 - 273

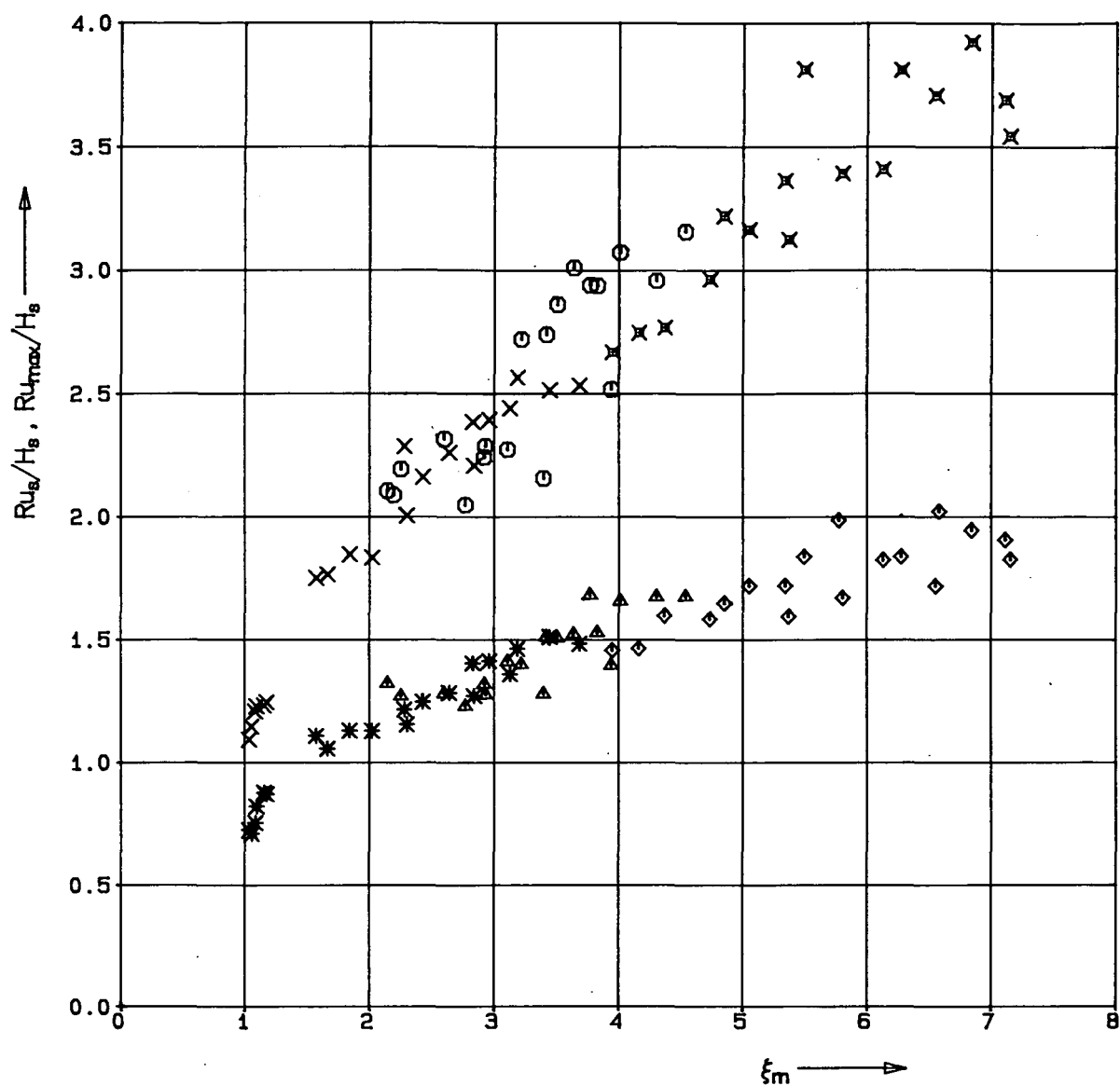
$D_{n50} A$ = nominale diameter afdeklaag
 $D_{n50} F$ = nominale diameter filterlaag
 $D_{n50} K$ = nominale diameter kern

DE DOORLATENDHEIDSKOEFFICIENT P

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.0



Ru_{max}/H_s : $\times$ $\cot \alpha = 2$

$\odot$ $\cot \alpha = 3$

$\times$ $\cot \alpha = 4$

Ru_s/H_s : $\diamond$ $\cot \alpha = 2$

$\triangle$ $\cot \alpha = 3$

$*$ $\cot \alpha = 4$

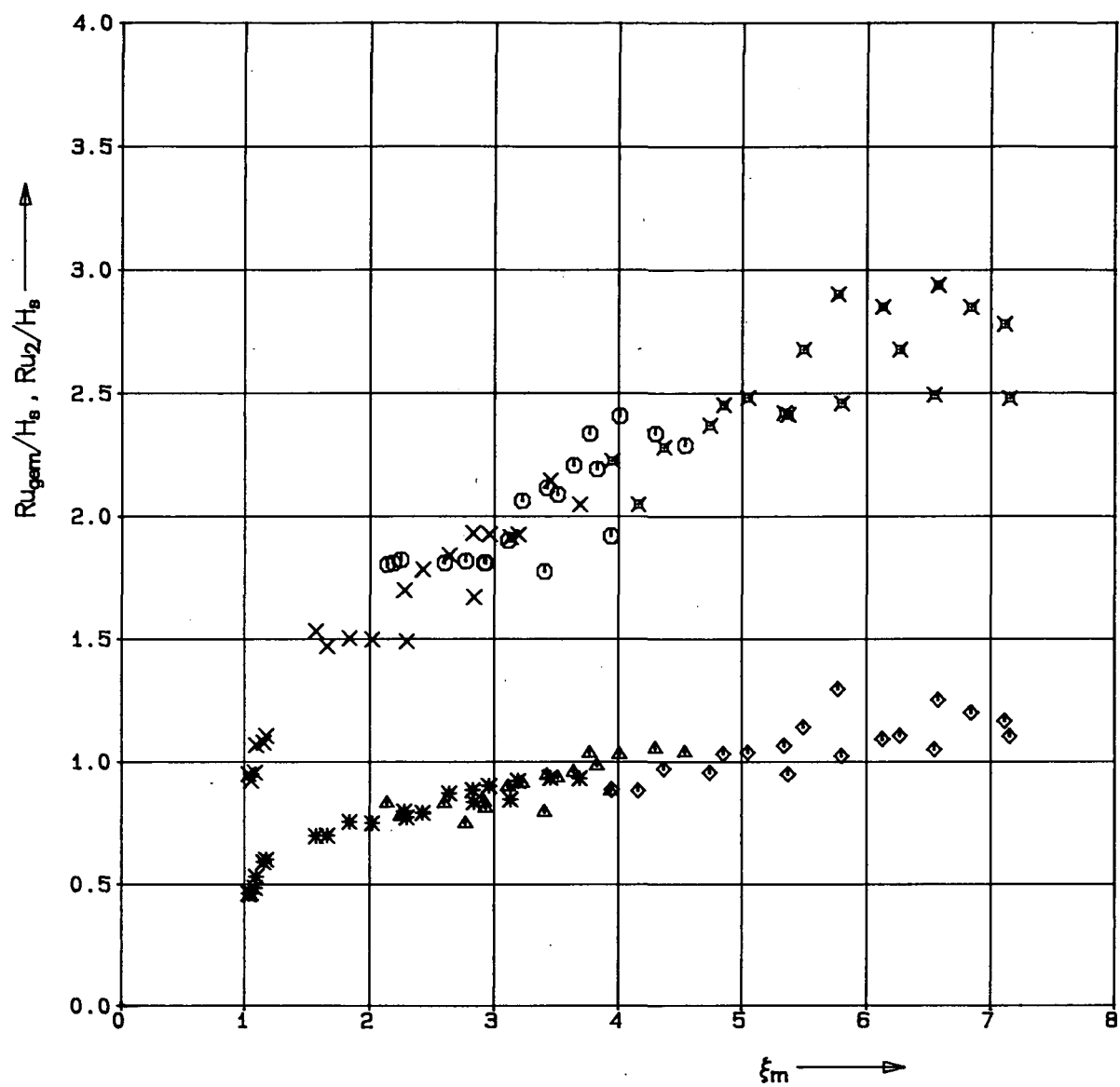
ondoorlatende kern , PM-spectrum

RELATIEVE OPLOOP ; D85/D15 = 2,25

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.1



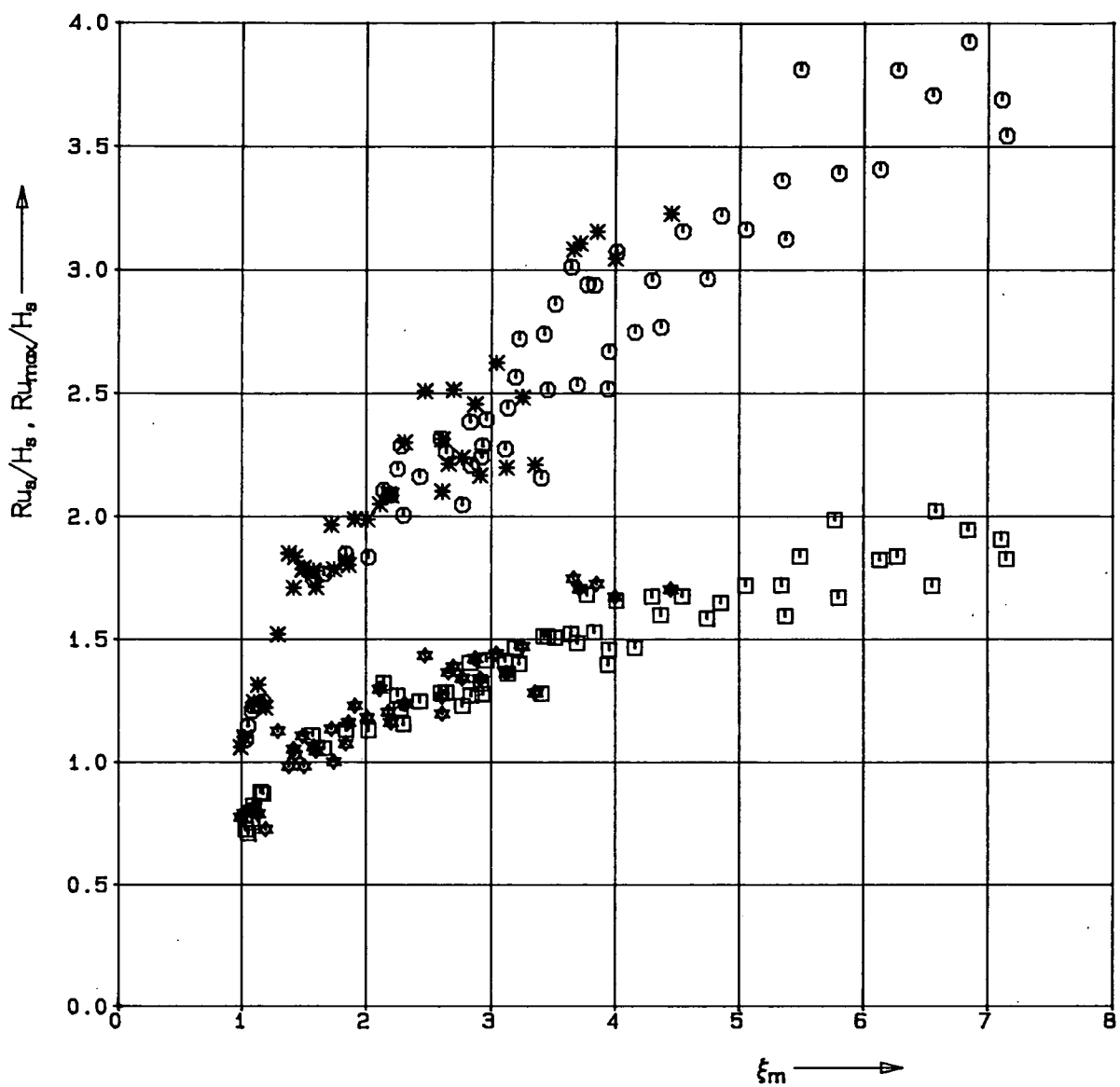
ondoorlatende kern , PM-spectrum

RELATIEVE OPMOEP ; $D85/D15 = 2,25$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.2



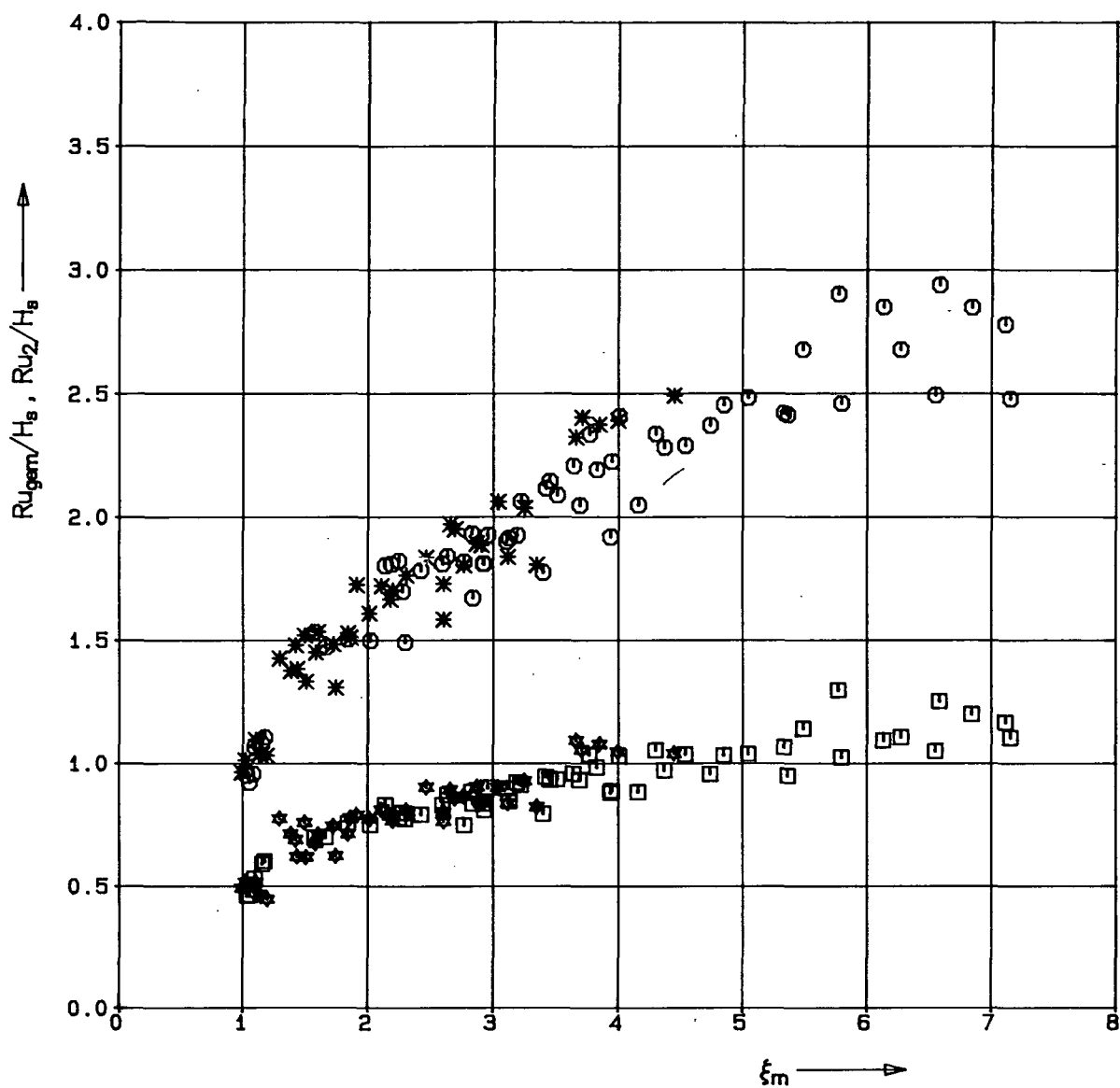
ondoorlatende kern , PM-spektrum

INVLOED GRADERING D85/D15

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.3



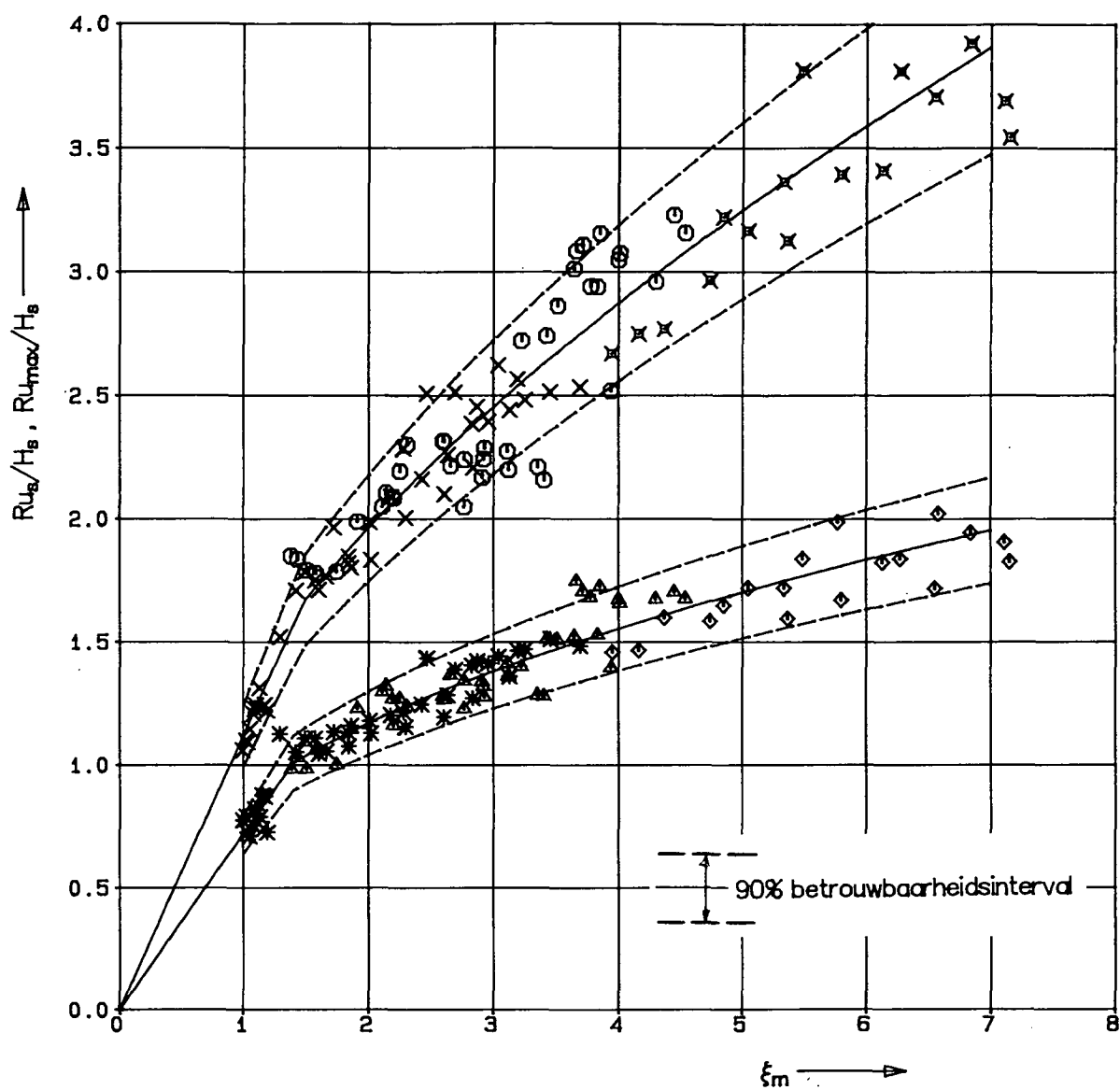
ondoorlatende kern , PM-spektrum

INVLOED GRADERING D85/D15

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.4



Ru_{max}/H_s : $\times$ $\cot \alpha = 2$

$\odot$ $\cot \alpha = 3$

$\times$ $\cot \alpha = 4$

— oplooprelatie ondoorlatende kern

Ru_s/H_s : $\diamond$ $\cot \alpha = 2$

$\triangle$ $\cot \alpha = 3$

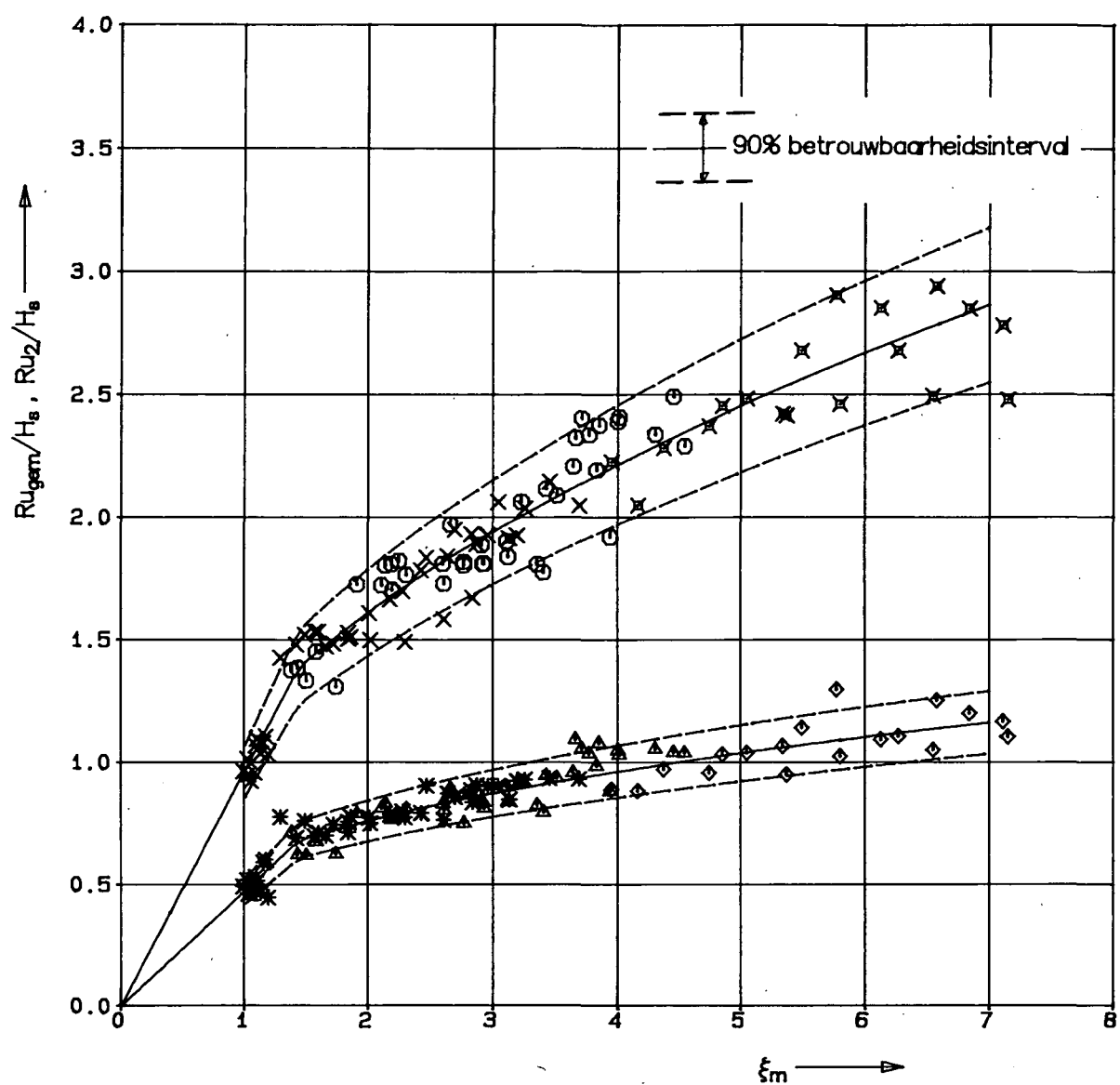
$*$ $\cot \alpha = 4$

RELATIEVE OPLOOP ; ONDOORLATENDE KERN , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.5



Ru_{u2}/H_s : x $\cot \alpha = 2$

o $\cot \alpha = 3$

x $\cot \alpha = 4$

Ru_{gem}/H_s : $\diamond$ $\cot \alpha = 2$

$\triangle$ $\cot \alpha = 3$

* $\cot \alpha = 4$

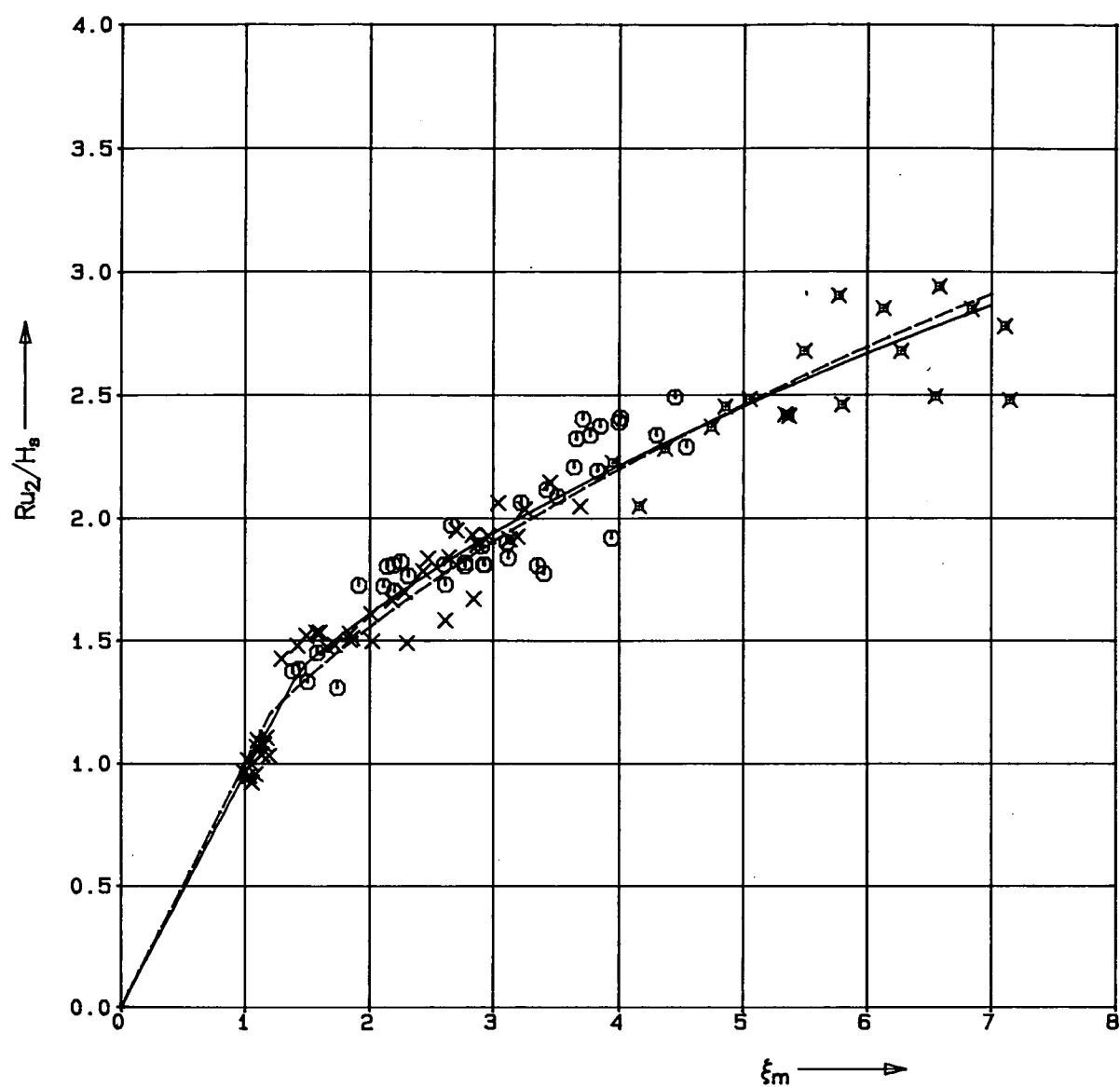
———— oplooprelatie ondoorlatende kern

RELATIEVE OPLOOP ; ONDOORLATENDE KERN , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.6



Ru_2/H_g : $\times$ $\cot \alpha = 2$

$\circ$ $\cot \alpha = 3$

$\times$ $\cot \alpha = 4$

———— oplooprelaties (5.3) en (5.4)

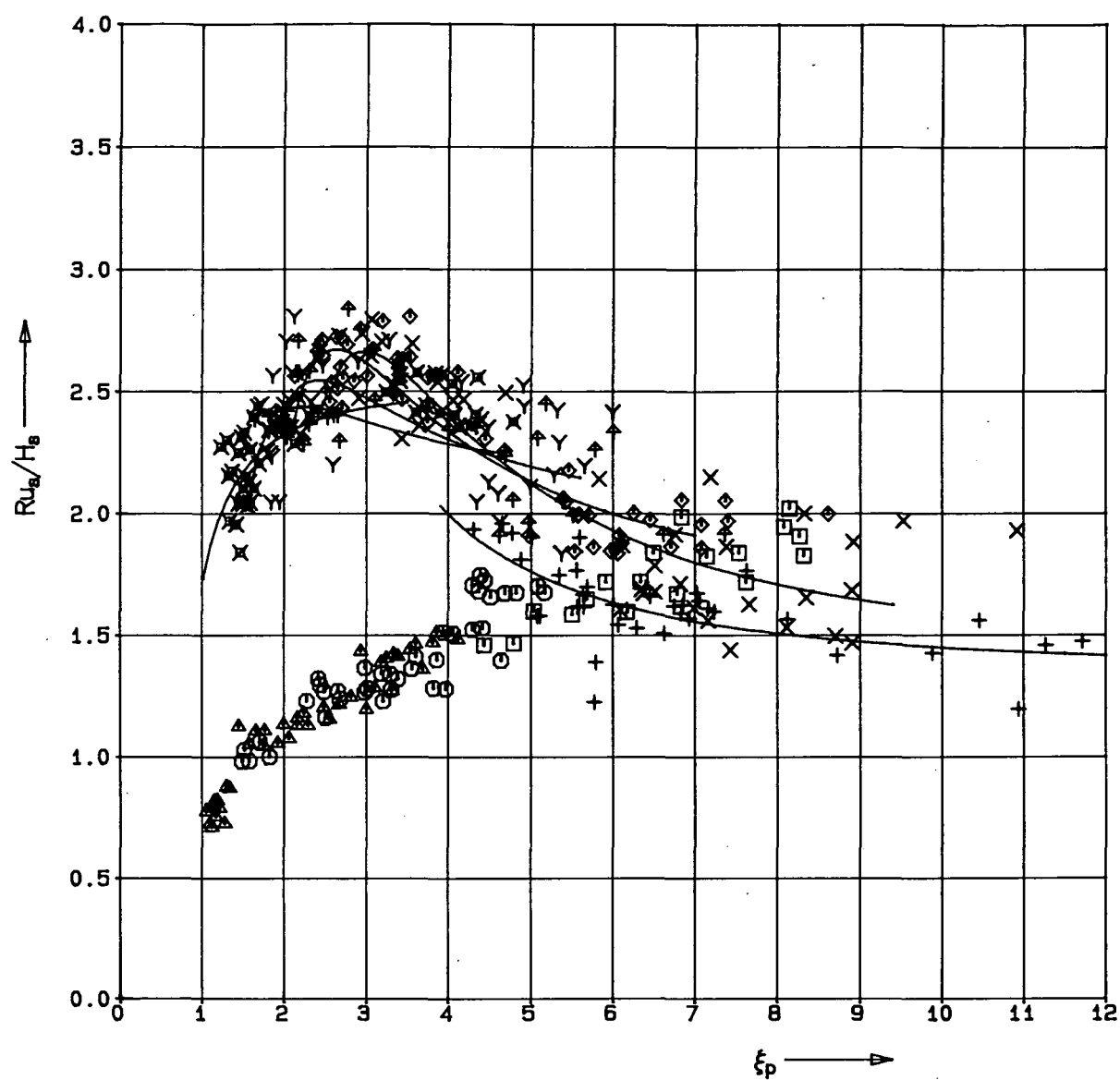
----- oplooprelaties (5.5) en (5.6)

2-PROCENTS-OPLOOPRELATIES ; ONDOORLATENDE KERN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

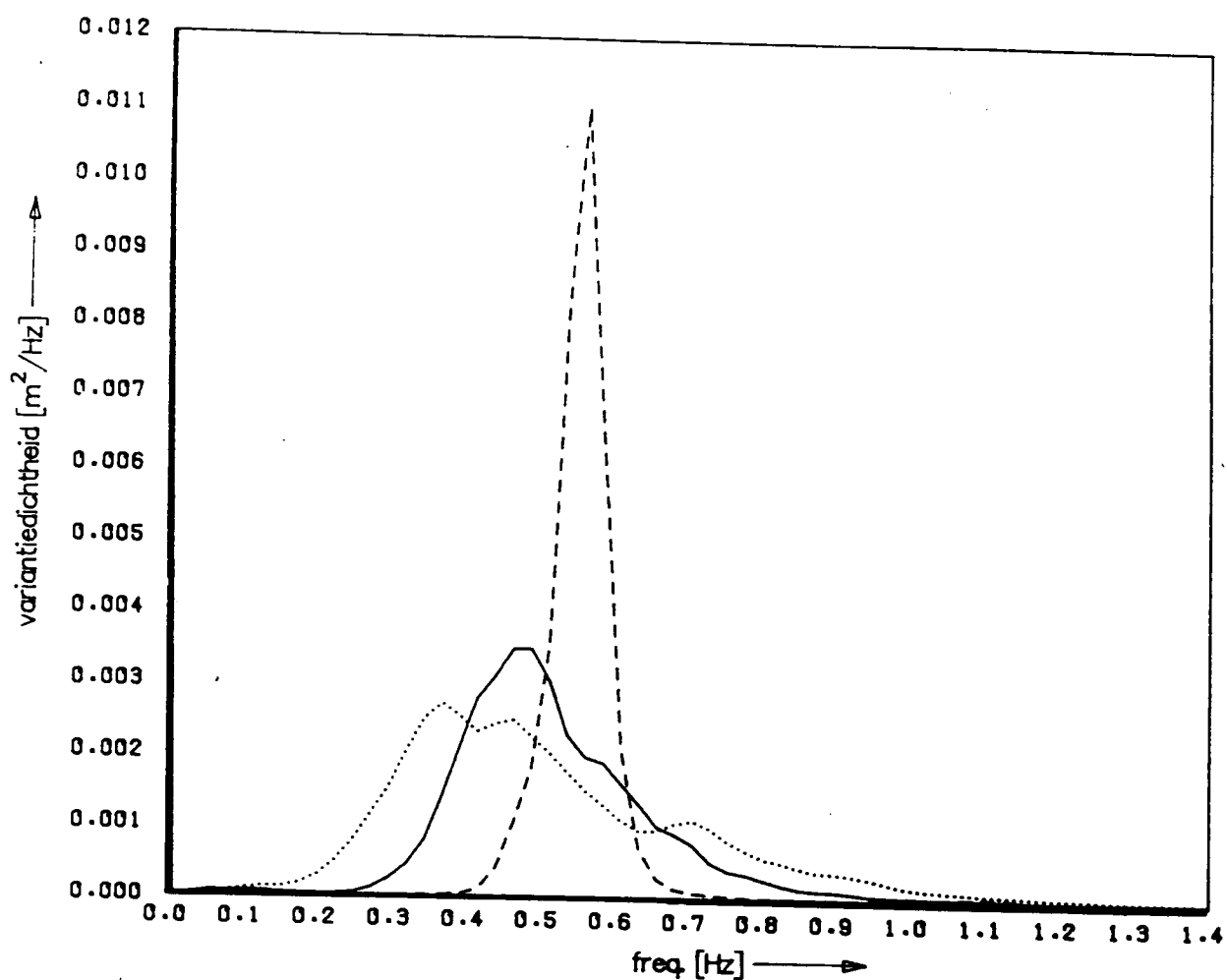
FIG. 4.7



stortsteen : $\square$ $\cot \alpha = 2$
 $\circ$ $\cot \alpha = 3$
 $\triangle$ $\cot \alpha = 4$

glad : $+$ $\cot \alpha = 1$
 $\times$ $\cot \alpha = 1,5$
 $\diamond$ $\cot \alpha = 2$
 ∇ $\cot \alpha = 2,5$
 γ $\cot \alpha = 3$
 $\star$ $\cot \alpha = 4$

RELATIEVE OPLOOP OP GLADDE (AHRENS, 1981) EN STORTSTEEN TALUDS



..... BREED SPECTRUM HSI = 0.1221 M TZ = 1.81 S TP = 2.67 S PROEF: P171
 ——— P.M.- SPECTRUM HSI = 0.1159 M TZ = 1.84 S TP = 2.17 S PROEF: P060
 ---- SHAL SPECTRUM HSI = 0.1193 M TZ = 1.79 S TP = 1.79 S PROEF: P164

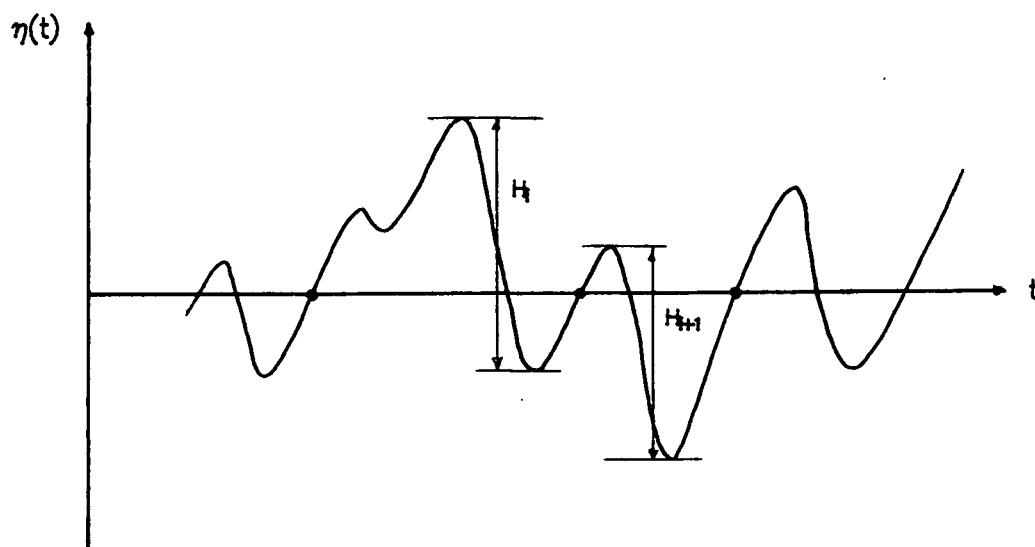
VERGELIJKING VAN SPEKTRA MET GELIJKE SPEKTRALE

MOMENTEN m_0 EN m_2

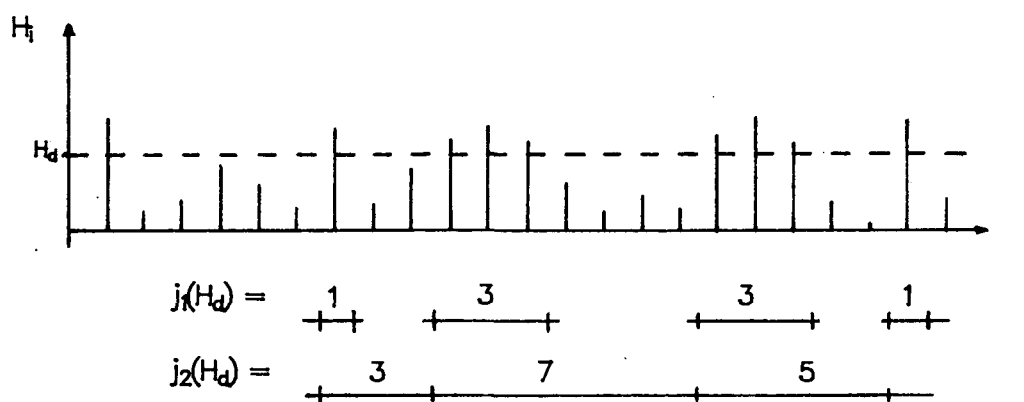
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.9



a) Golfhoogte-analyse met methode van opgaande nuldoorgangen



b) Golfgroeplengte en totale golfgroeplengte

H_d = drempelwaarde

$j_1(H_d)$ = golfgroeplengte met drempelwaarde H_d

= aantal golven $H_i > H_d$

$j_2(H_d)$ = totale groeplengte met drempelwaarde H_d

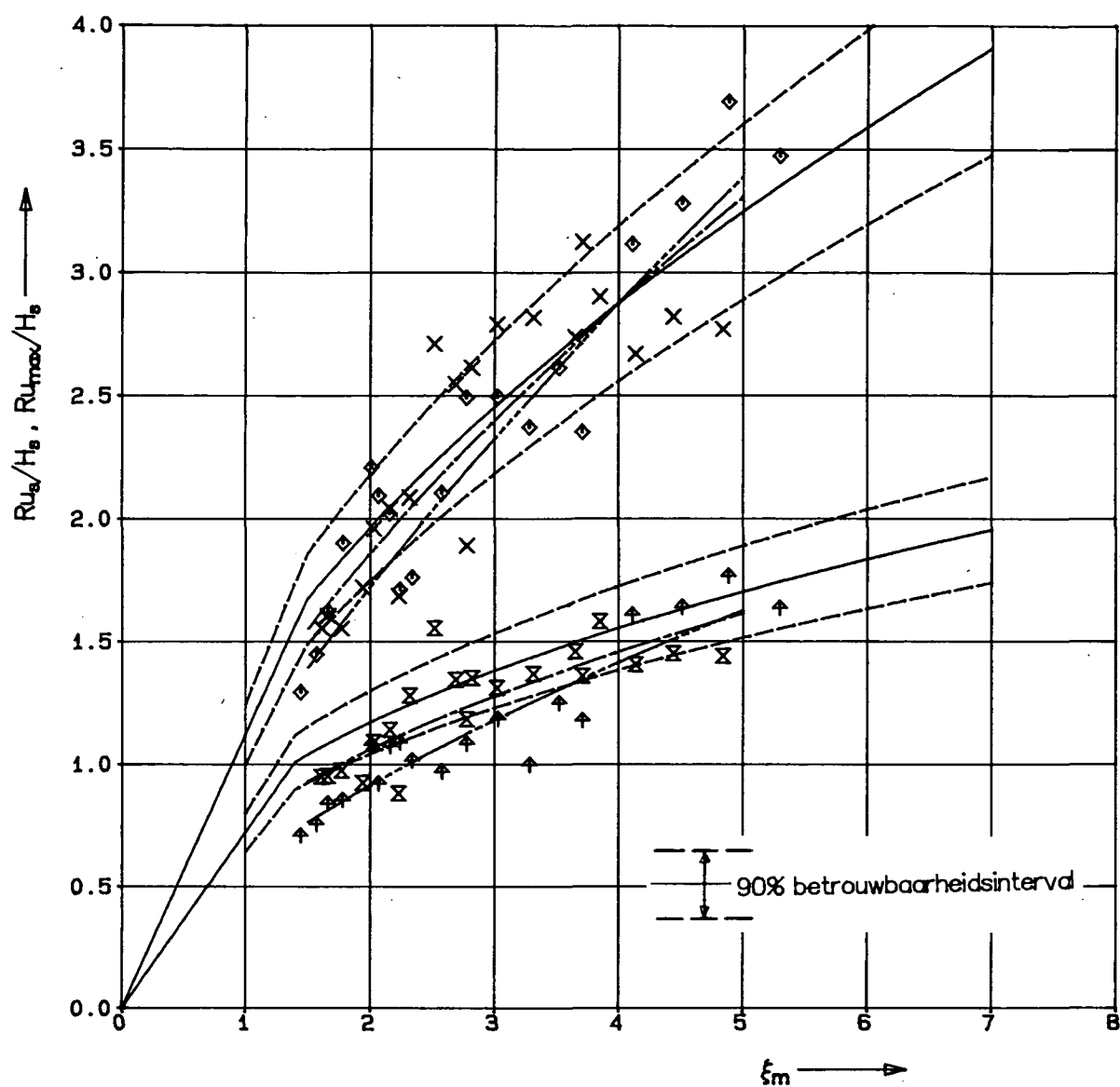
= $j_2(H_d)$ + aantal golven $H_i < H_d$

DEFINITESCHETS GOLFHOOGTE EN GOLFGROEPLENGTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.10

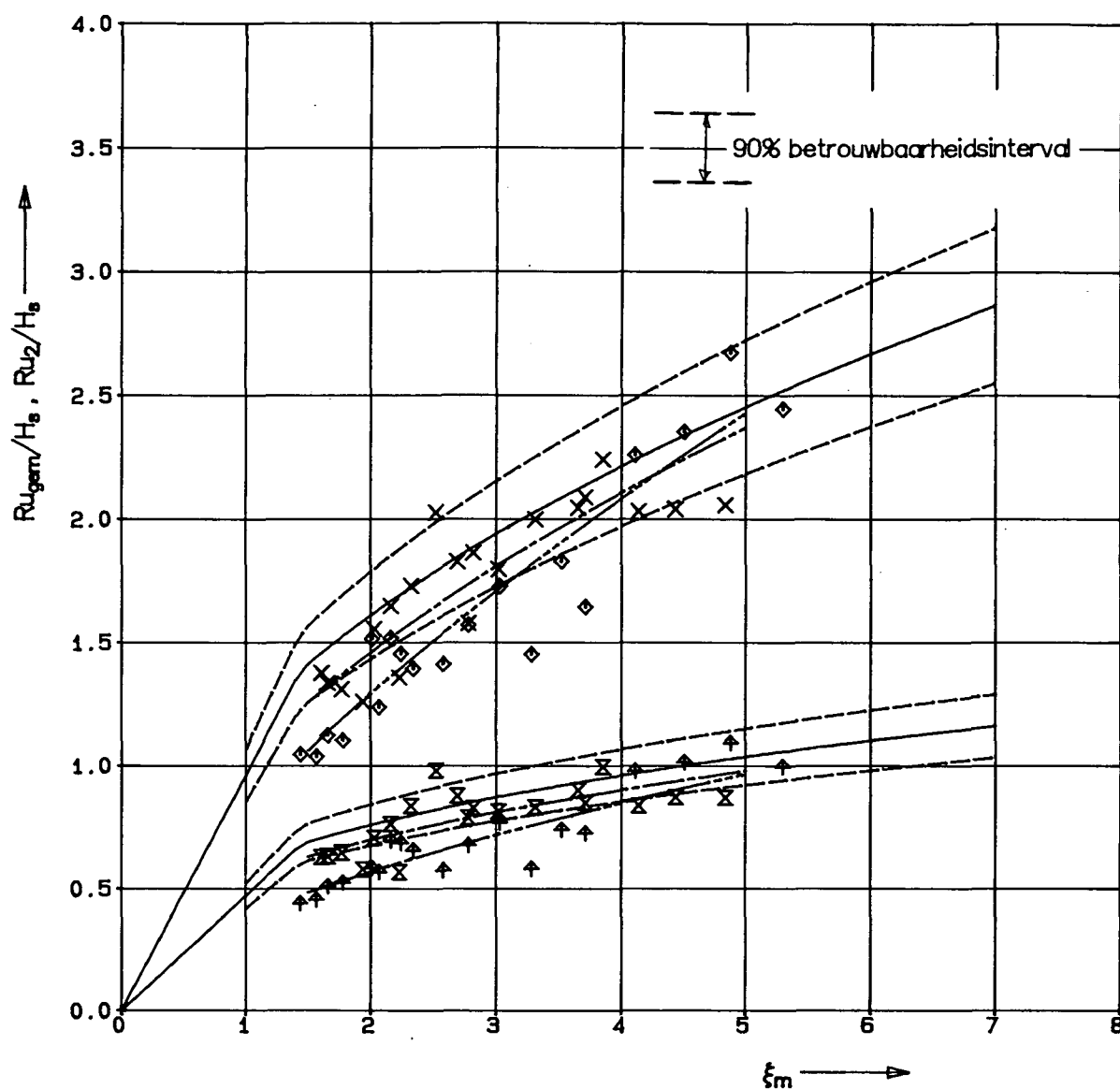


INVLOED SPEKTRUMVORM/GOLFGEGROEPHEID

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.11



Ru_2/H_s : $\diamond$ smal spektrum

Ru_{gem}/H_s : $\uparrow$ smal spektrum

$\times$ breed spektrum

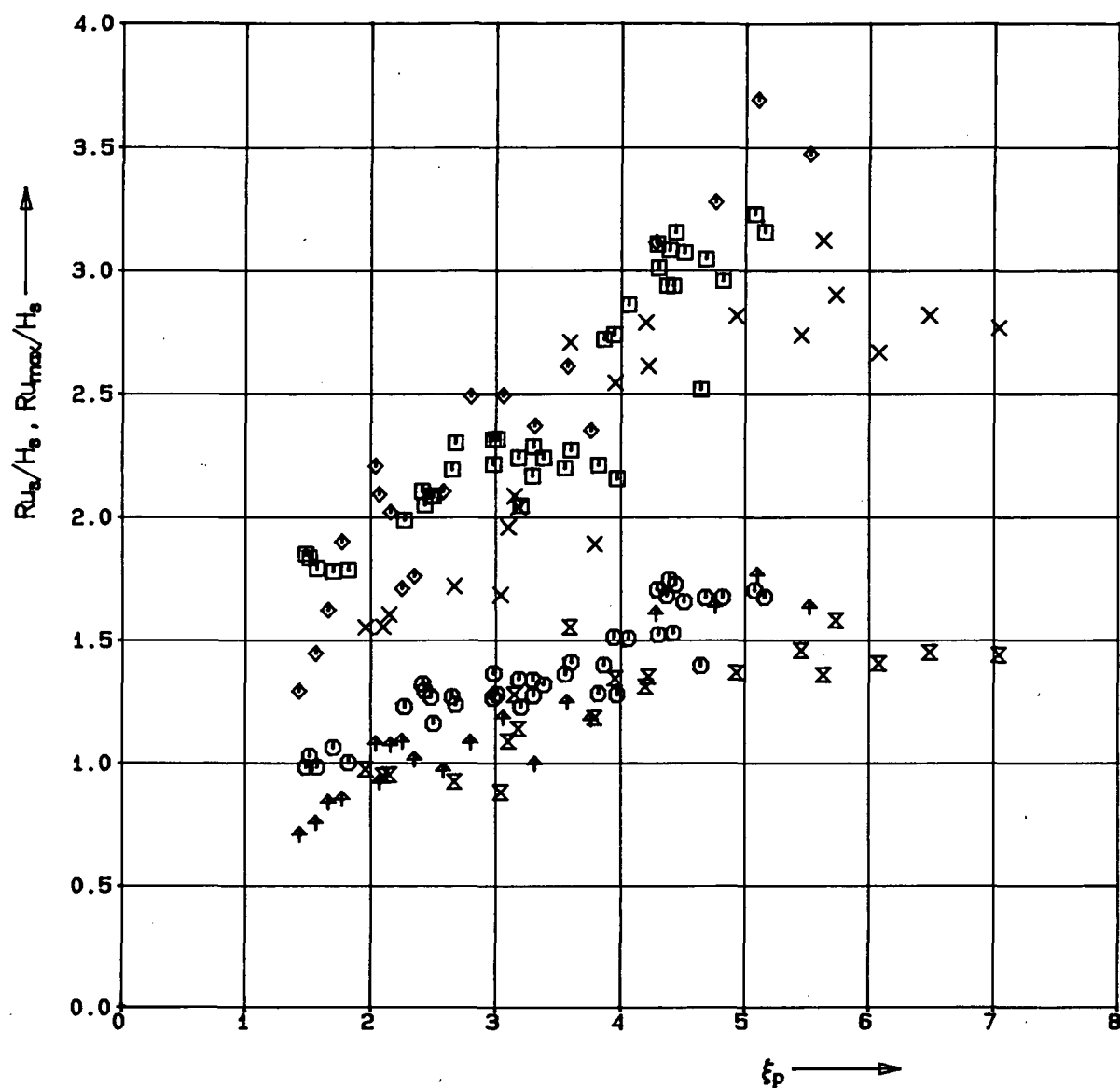
Σ breed spektrum

— oplooptrelatie PM-spektrum

- - - - - trendlijn smal spektrum

- . - . - trendlijn breed spektrum

Opm.: ondoorlatende kern, $\cot \alpha = 3$



Ru_{max}/H_s : $\diamond$ smal spektrum

$\square$ PM-spektrum

$\times$ breed spektrum

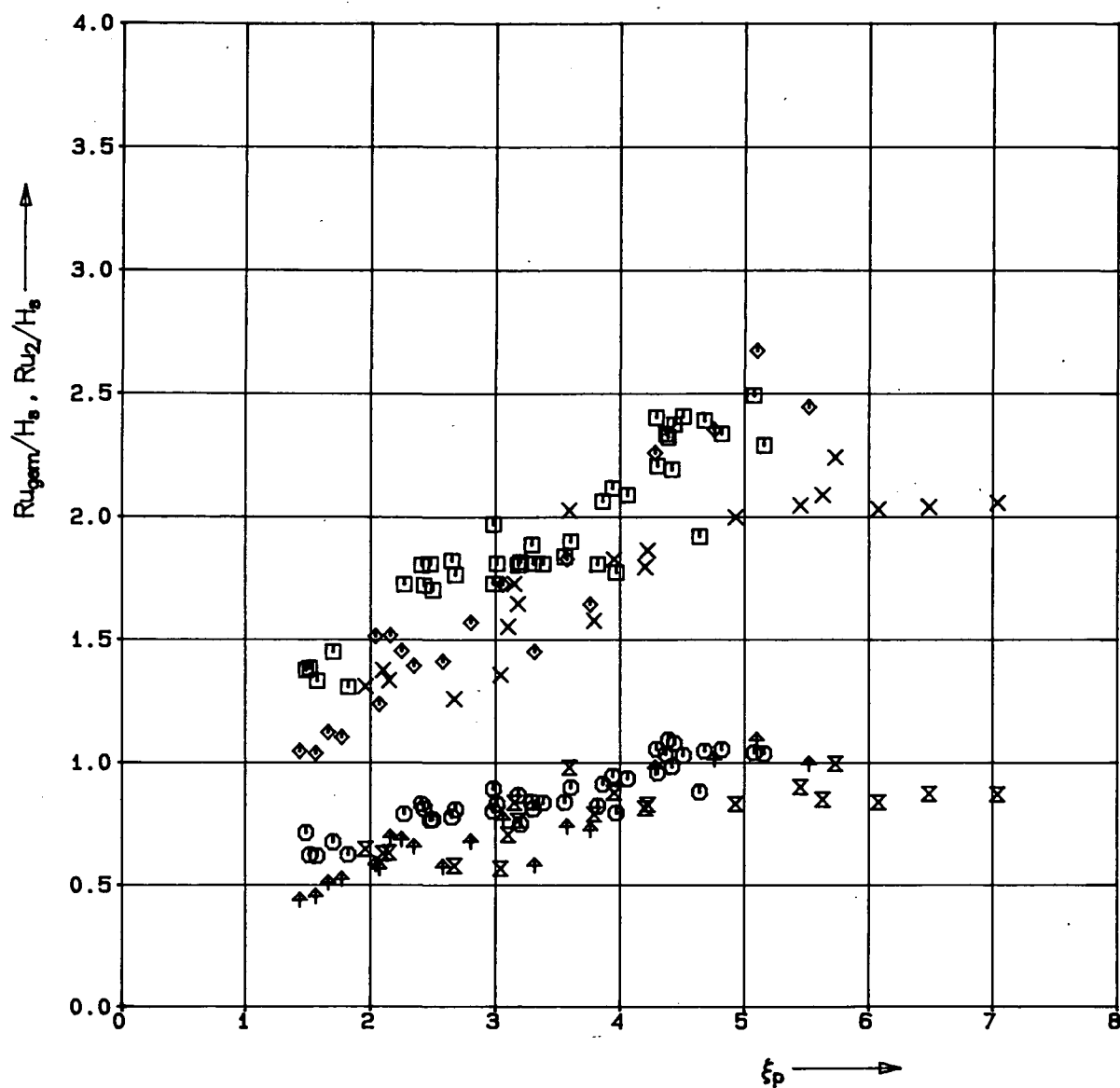
Ru_s/H_s : $\uparrow$ smal spektrum

$\circ$ PM-spektrum

$\times$ breed spektrum

Opm. : ondoorlatende kern , $\cot \alpha = 3$

$Ru_p/H_s - \xi_p$, INVLOED SPEKTRUMVORM/GOLFGE GROEP THEID



Ru_2/H_s : $\diamond$ smd spektrum

$\square$ PM-spektrum

$\times$ breed spektrum

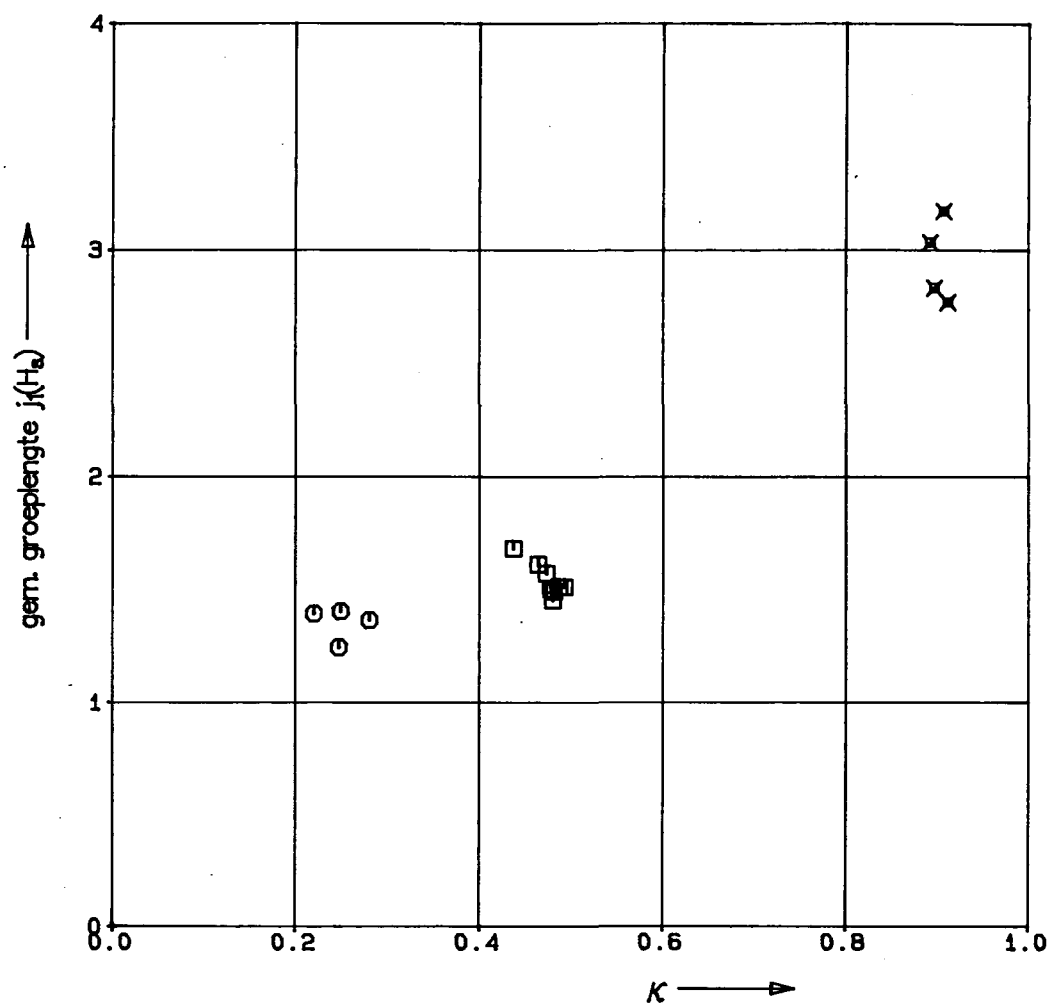
Ru_{gam}/H_s : $\uparrow$ smd spektrum

$\circ$ PM-spektrum

$\times$ breed spektrum

Opm. : ondoorlatende kern , $\cot \alpha = 3$

$Ru_p/H_s - \xi_p$, INVLOED SPEKTRUMVORM/GOLFGEGROEPHEID

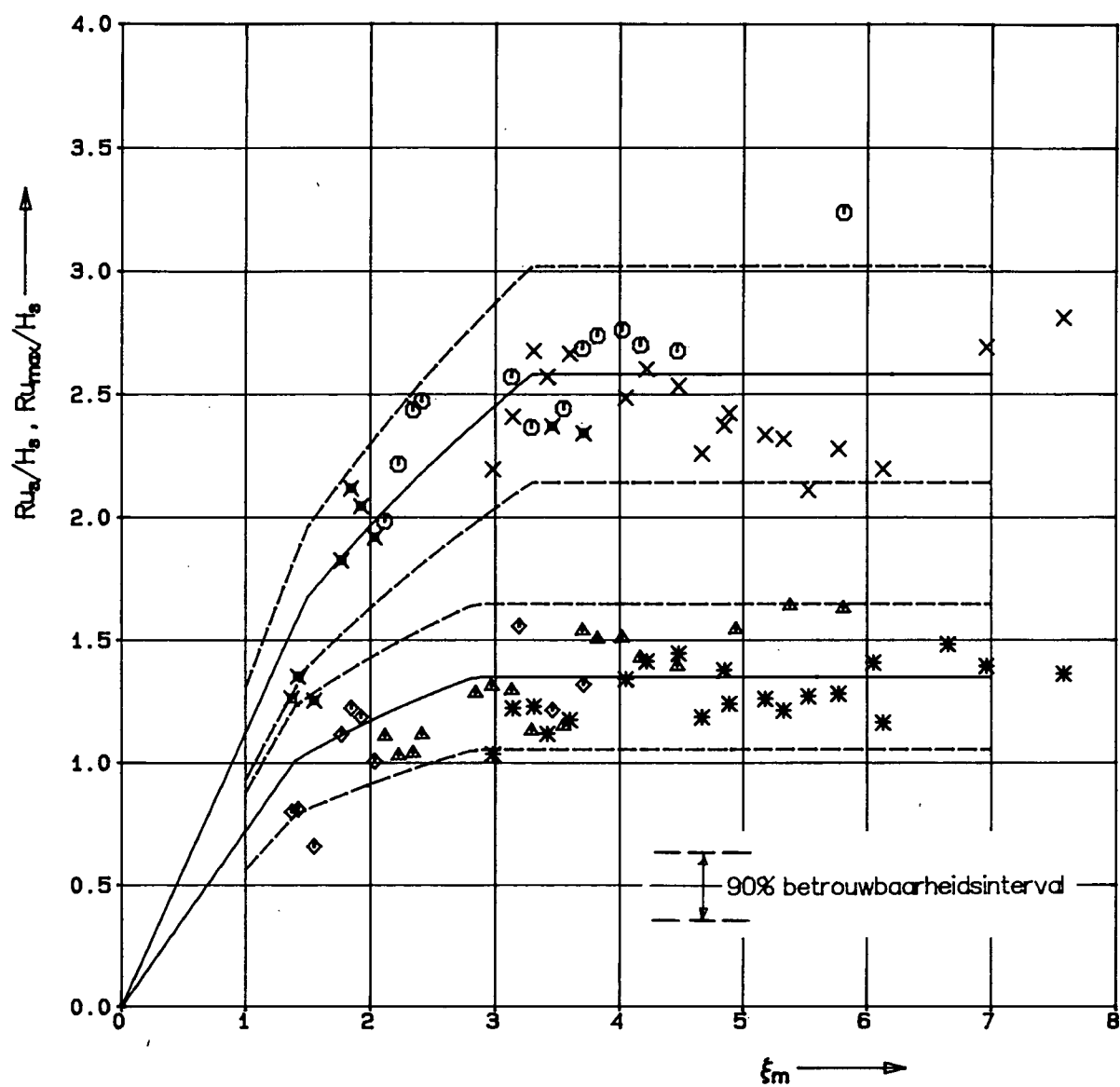


- x smd spektrum
- PM-spektrum
- breed spektrum

RELATIE SPEKTRALE VORMPARAMETER – GEMIDDELDE GROEPLENGTE



FIG. 4.16



$Ru_{\max}/H_s$: x $\cot \alpha = 3$

o $\cot \alpha = 2$

x $\cot \alpha = 1.5$

— oplooprelatie doorlatende kern

Ru_s/H_s : ◇ $\cot \alpha = 3$

▲ $\cot \alpha = 2$

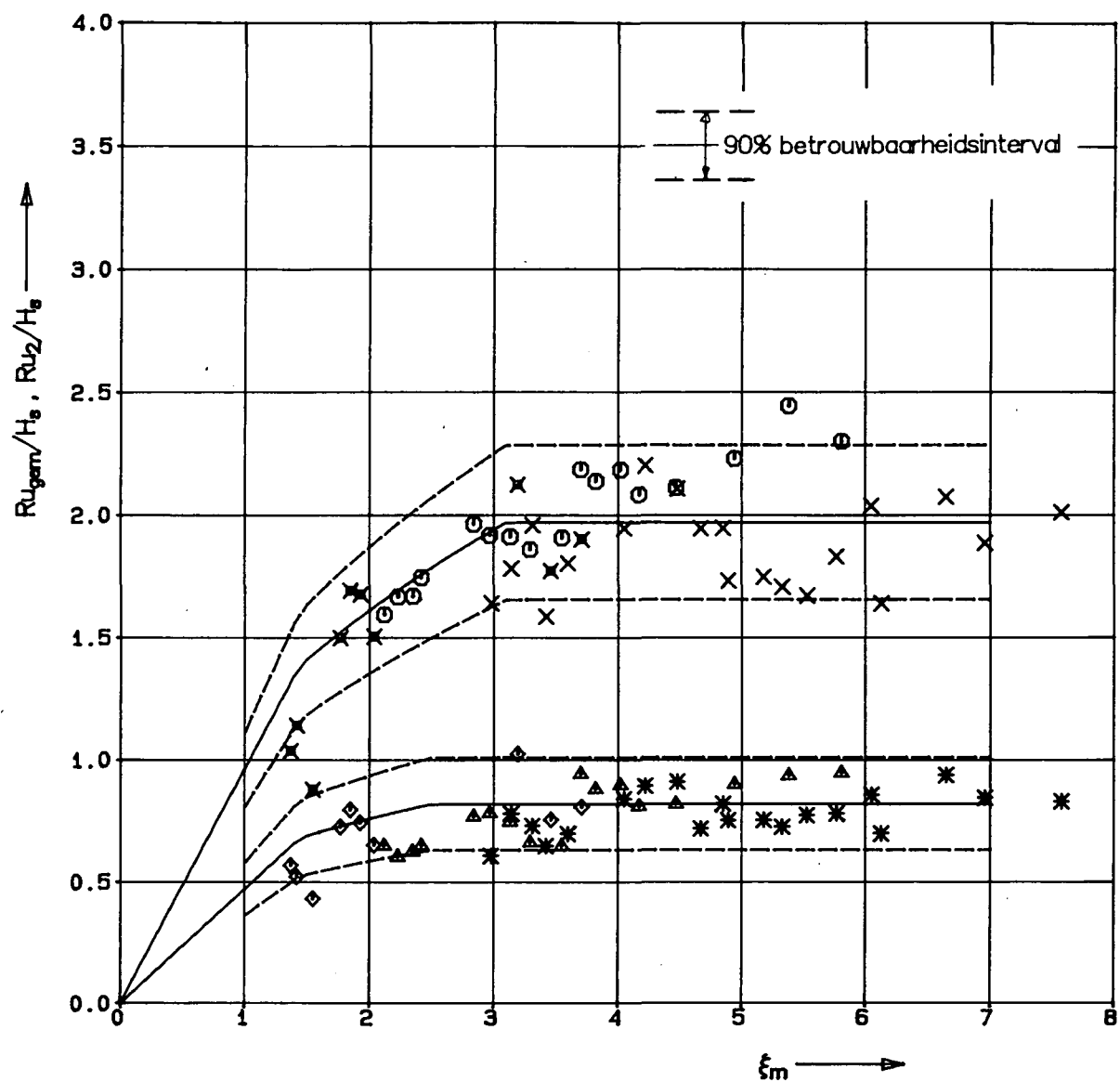
* $\cot \alpha = 1.5$

INVLOED DOORLATENDHEID ; DOORLATENDE KERN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.17

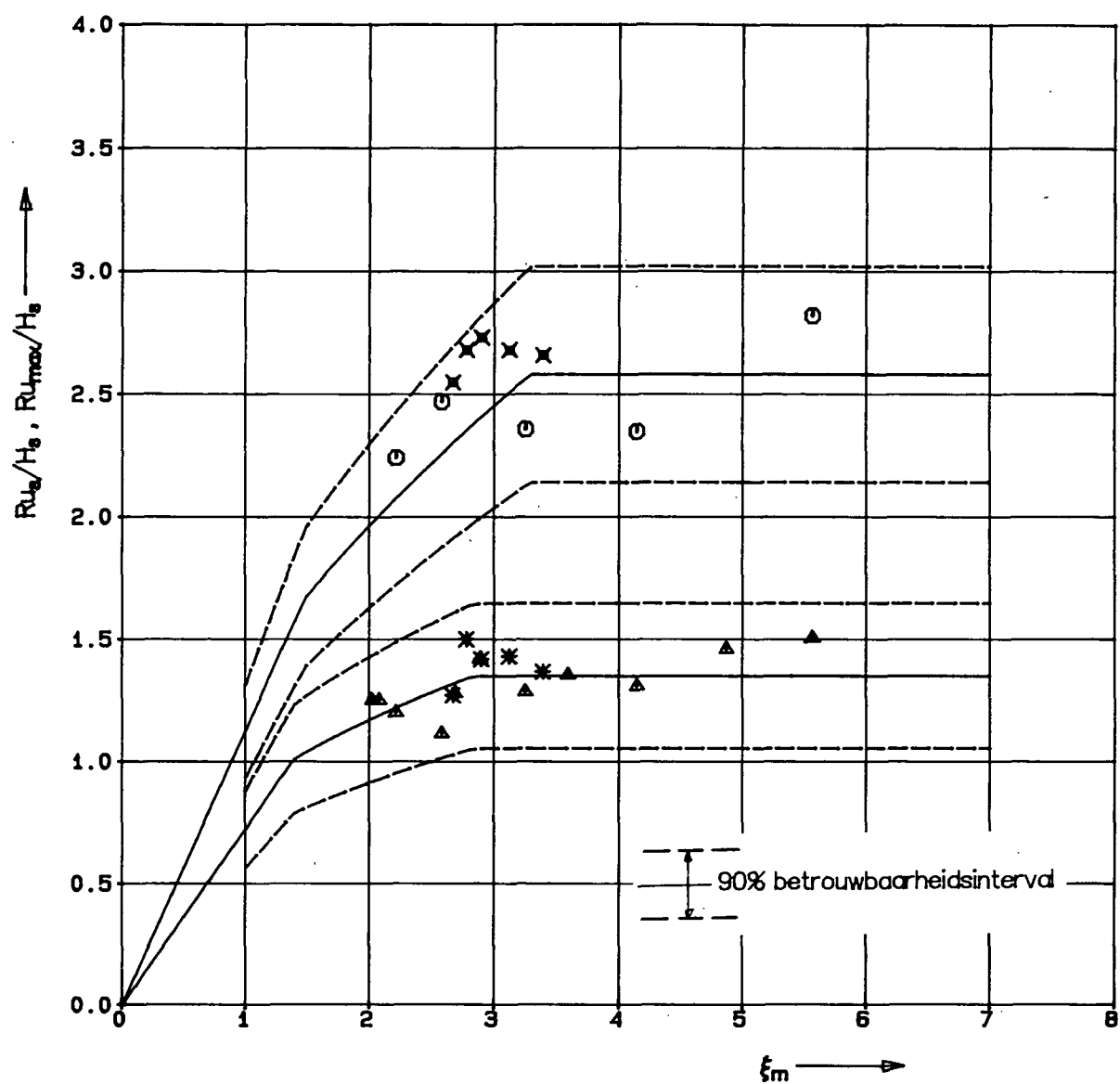


INVLOED DOORLATENDHEID ; DOORLATENDE KERN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.18

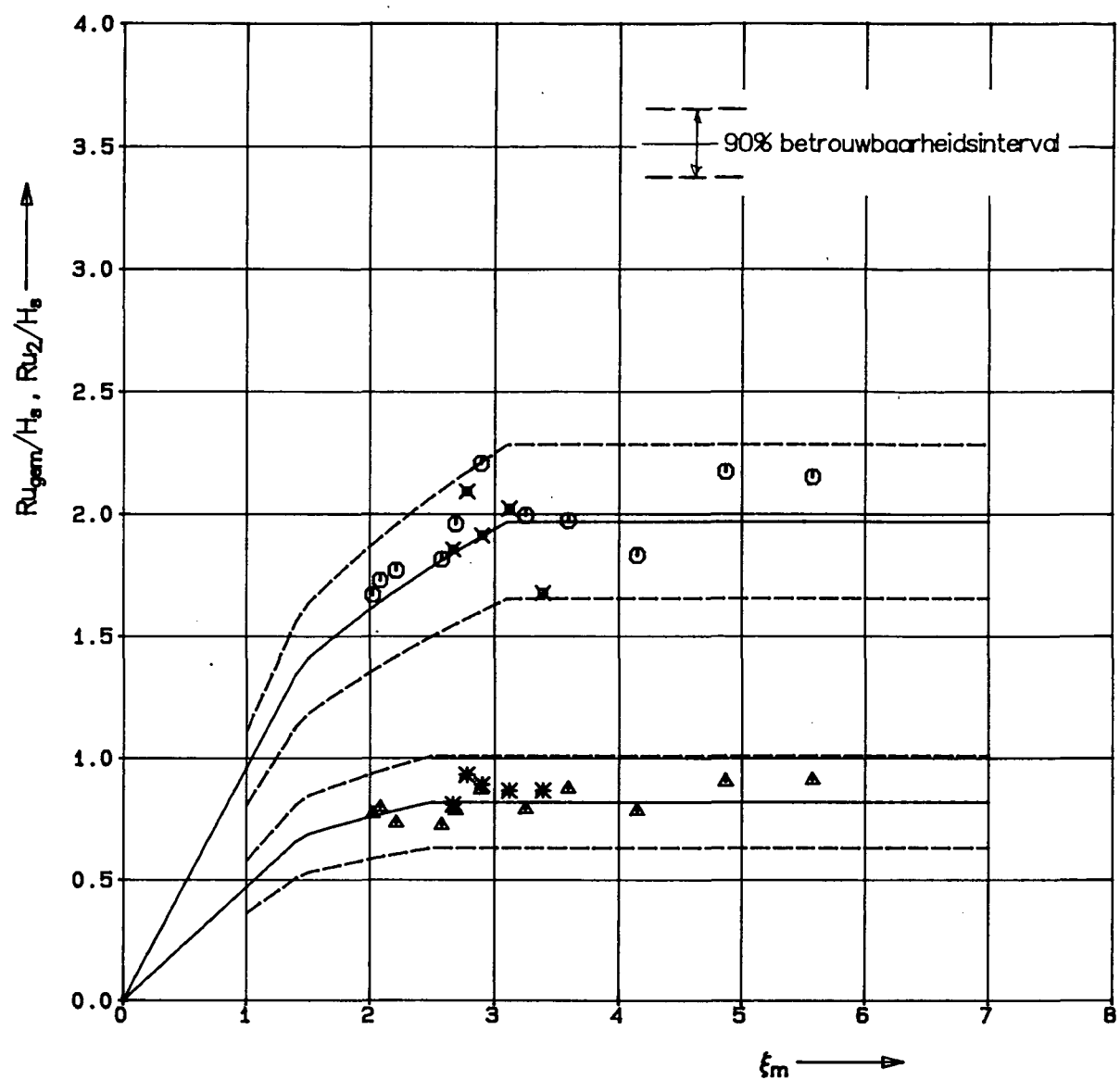


INVLOED DOORLATENDHEID ; HOMOGENE KONSTRUKTIE EN
DIKKE FILTERLAAG OP ONDOORLATENDE KERN

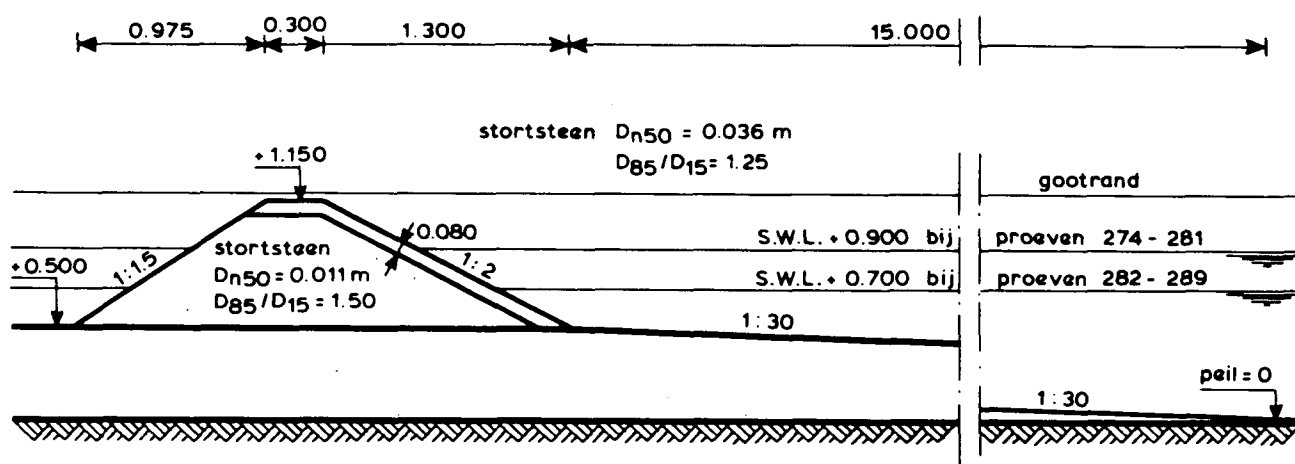
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

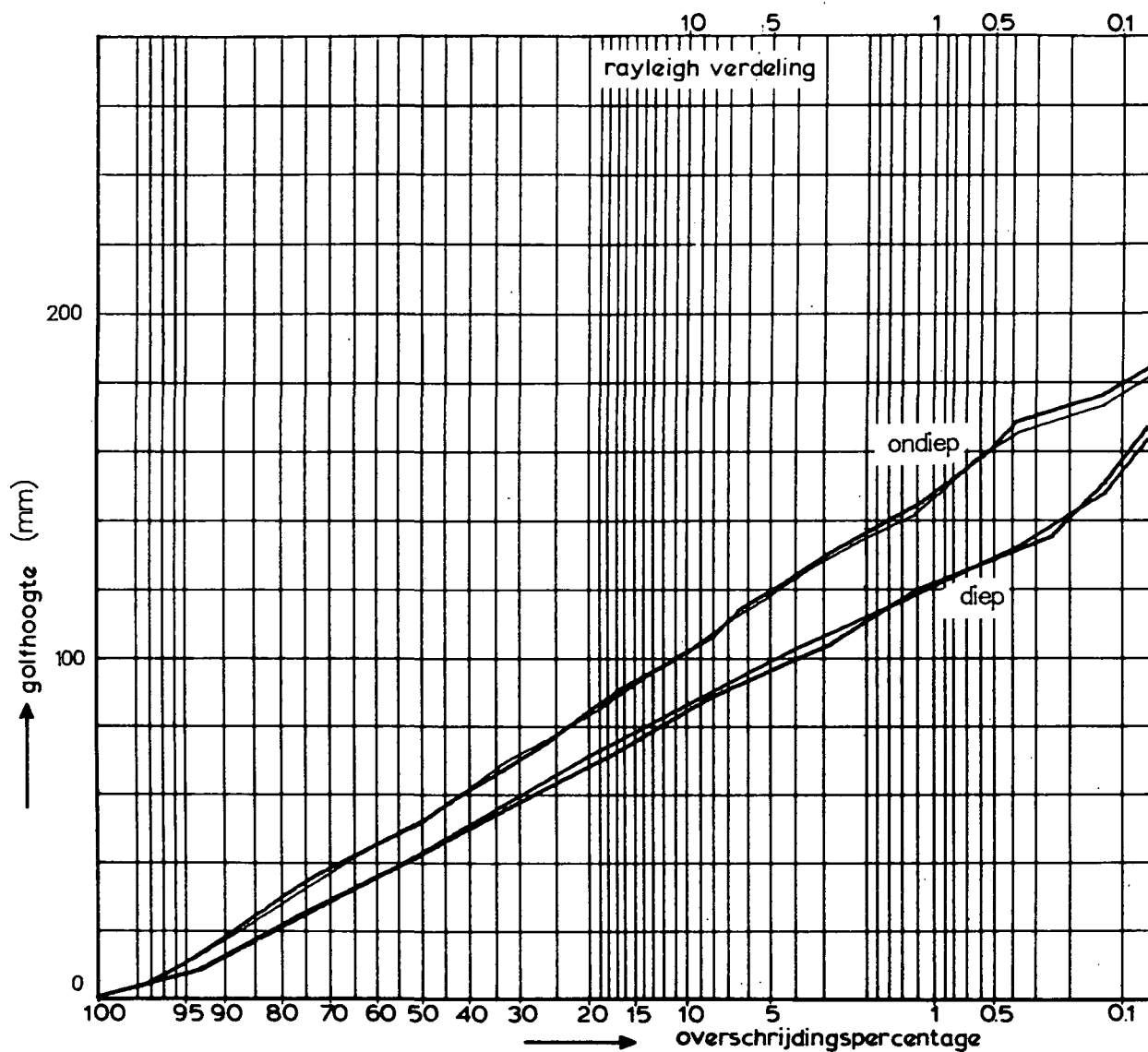
FIG. 4.19



INVLOED DOORLATENDHEID ; HOMOGENE KONSTRUKTIE EN
DIKKE FILTERLAAG OP ONDOORLATENDE KERN



MODEL MET VOORLAND 1:30



waterstand = 0,90 m (0,40 m voor constructie)

$T_m = 2,12$ s

H_s (diep) = 0,085 m

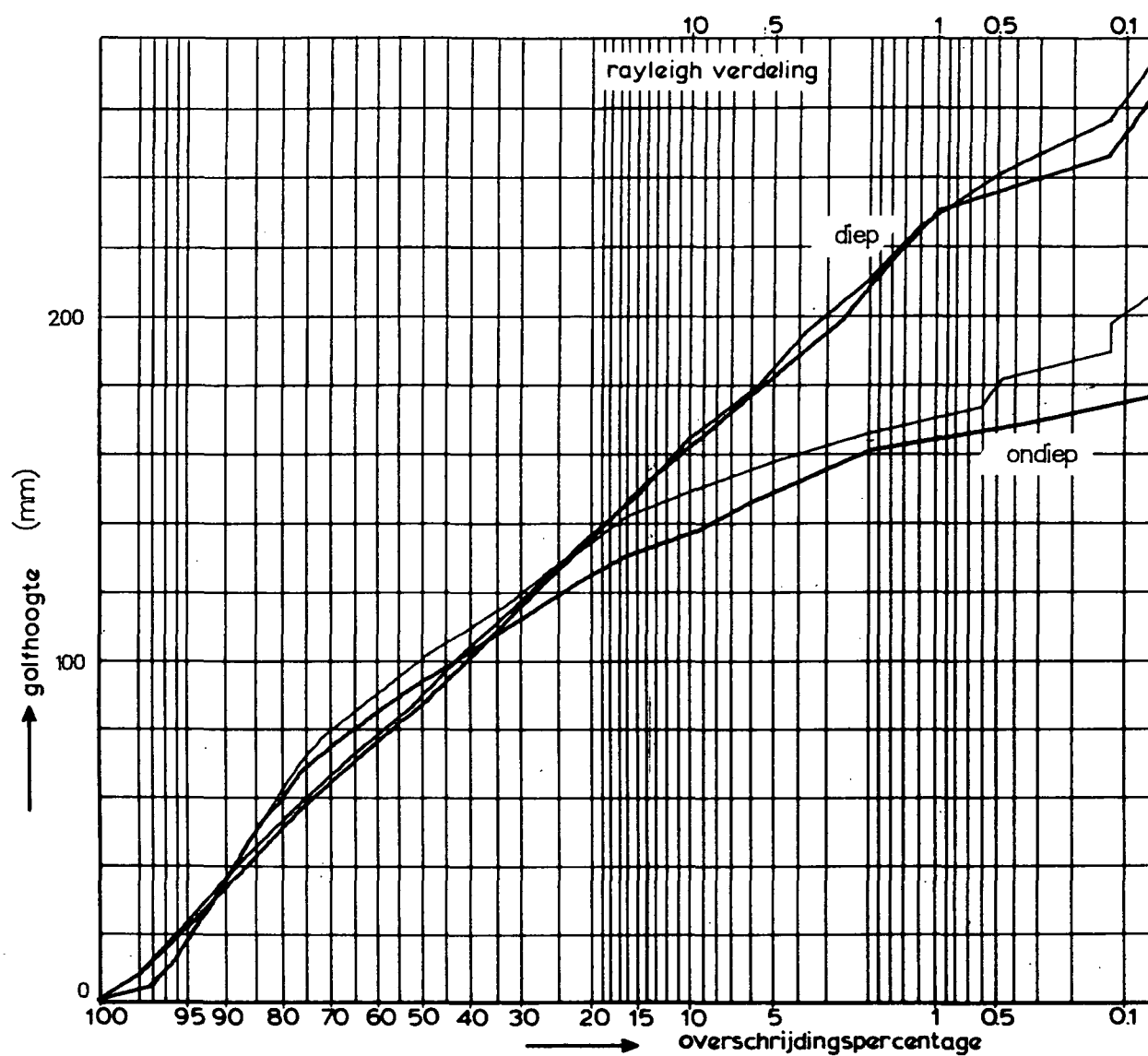
H_s (ondiep) = 0,097 m

INVLOED VOORLAND OP GOLFHOOGTEVERDELING ; $h = 0,4$ m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.22



waterstand = 0,70 m (0,20 m voor constructie)

$T_m = 1,72$ s

H_s (diep) = 0,157 m

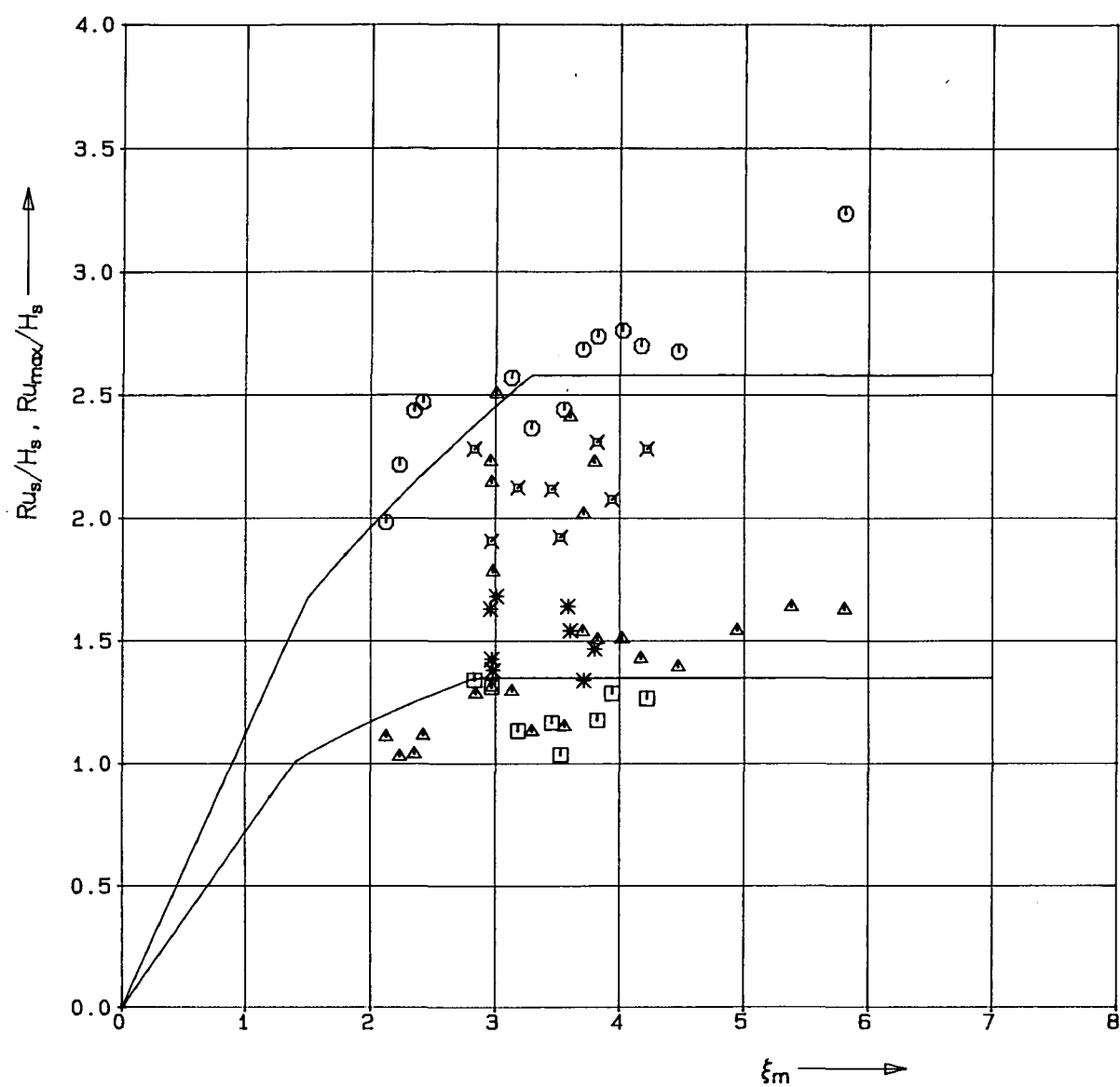
H_s (ondiep) = 0,137 m

INVLOED VOORLAND OP GOLFHOOGTEVERDELING ; $h = 0,2$ m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.23

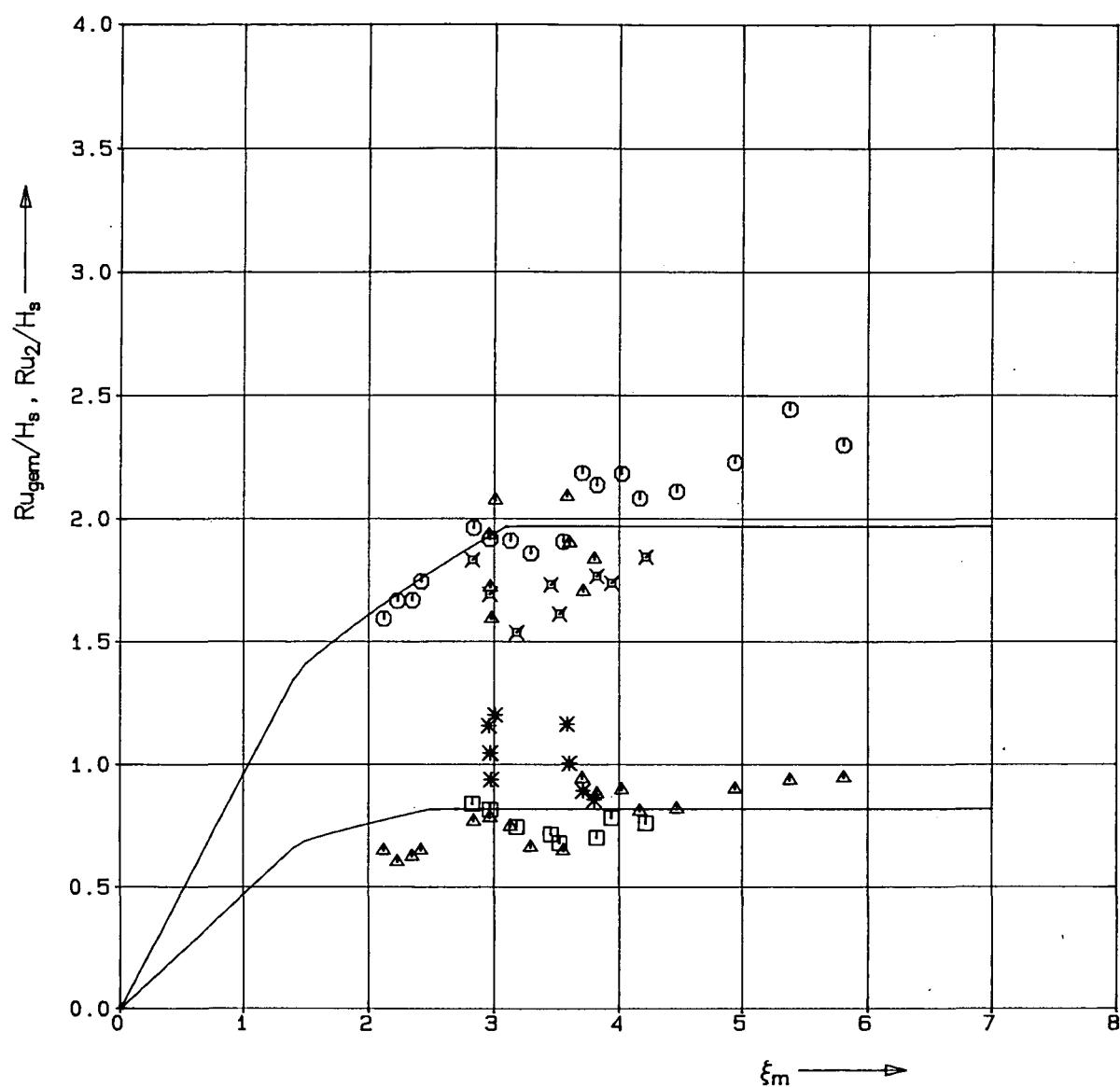


INVLOED VOORLAND ; H_s VOOR DE KONSTRUKTIE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.24

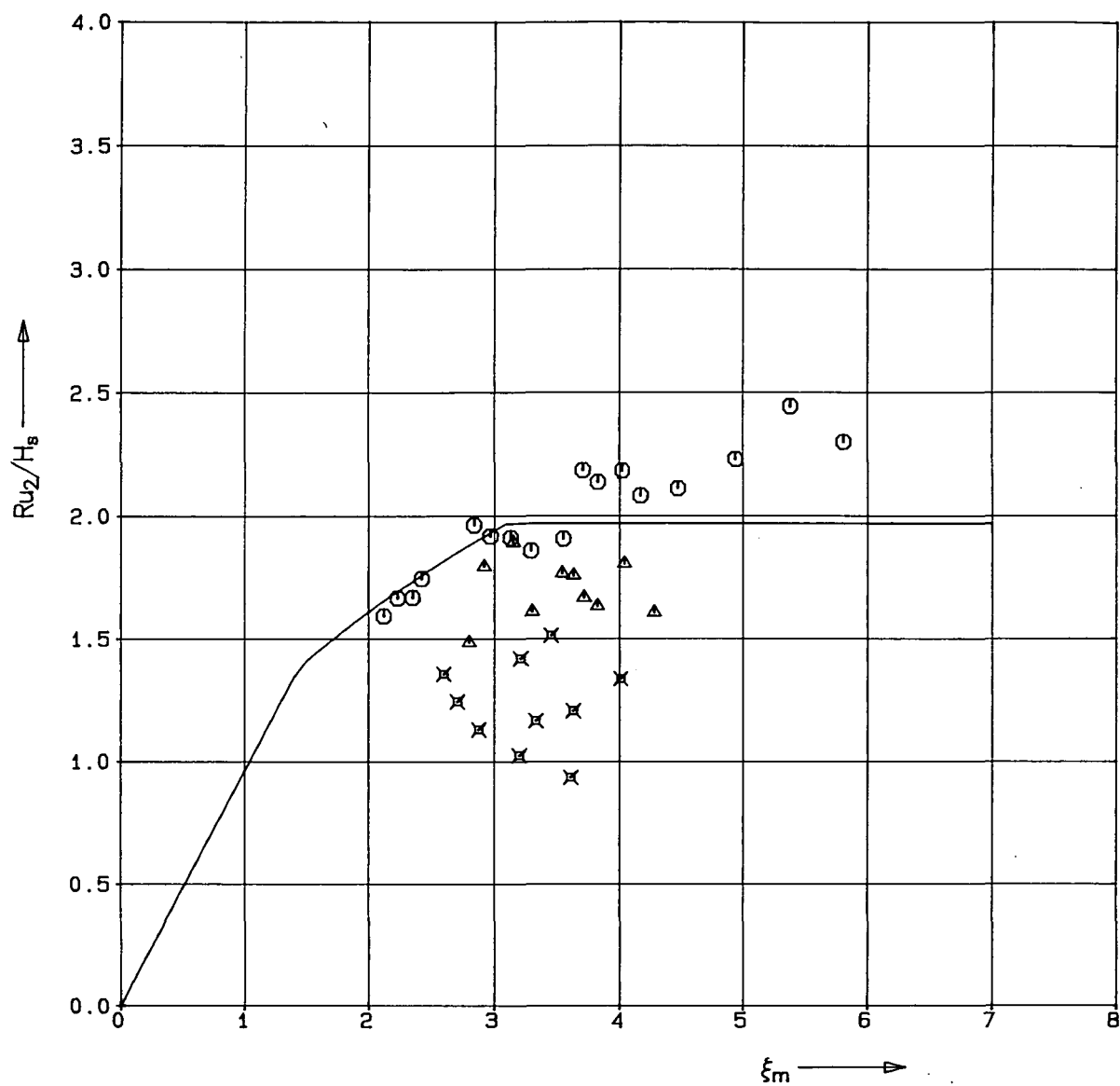


INVLOED VOORLAND ; H_s VOOR DE KONSTRUKTIE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.25



- $\times$ lage dichtheid , golfhoogten 0,05 – 0,10 m
- $\triangle$ hoge dichtheid , golfhoogten 0,11 – 0,19 m
- $\odot$ normale dichtheid , golfhoogten 0,09 – 0,16 m

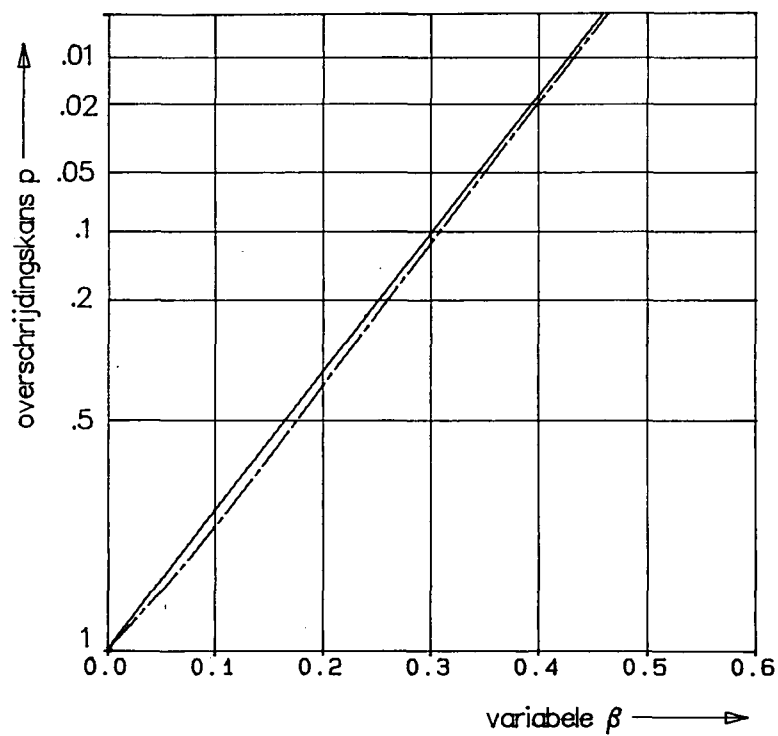
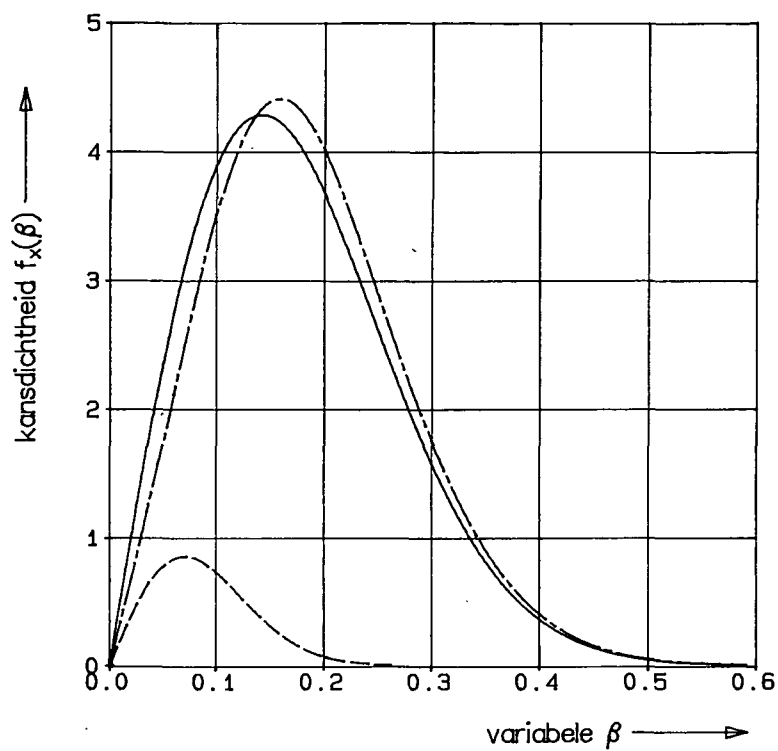
———— oplooprelatie doorlatende kern

PROEVEN MET HOGE EN LAGE DICHTHEID STORTSTEEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 4.26



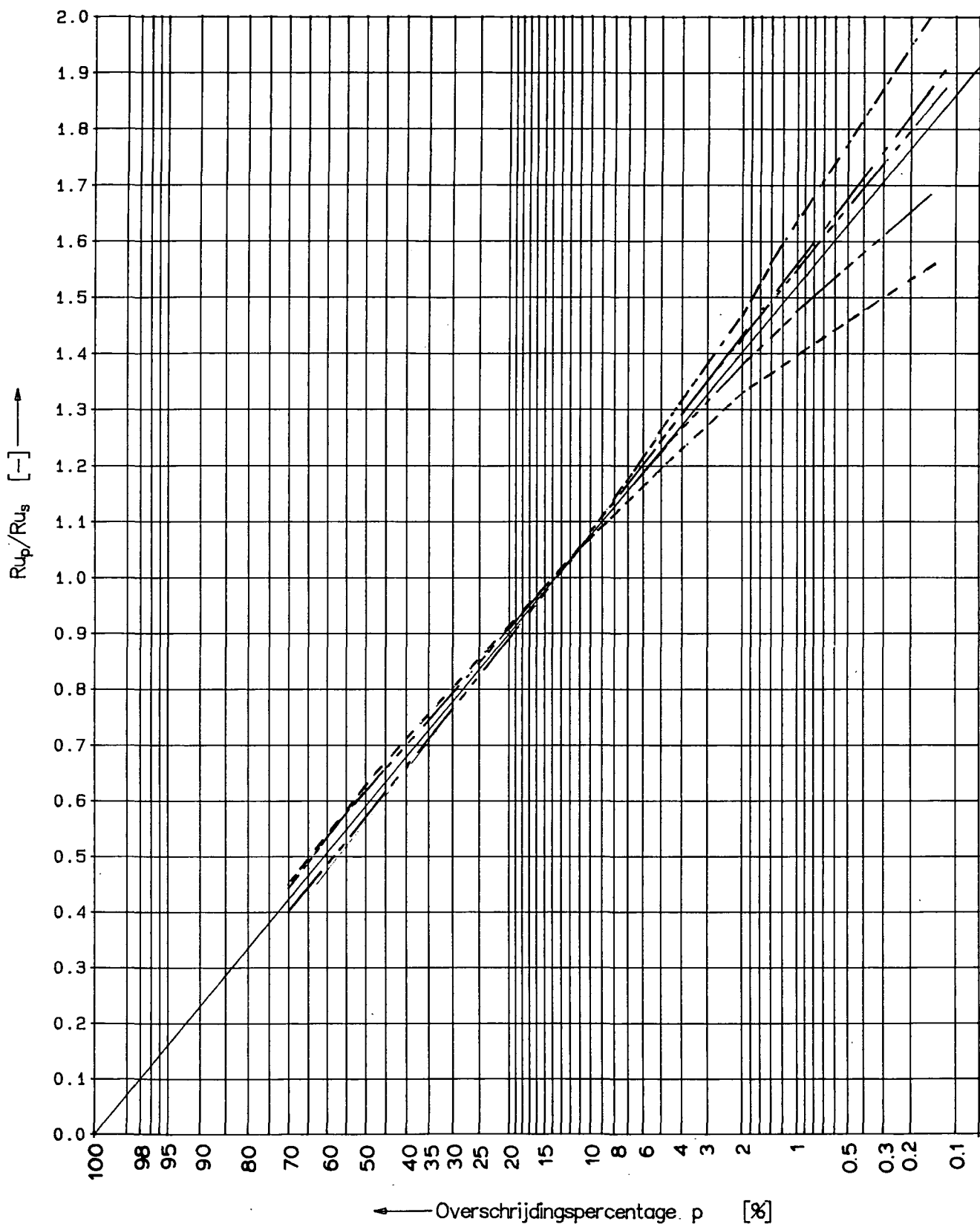
——— Rayleigh verdeling
 - - - - - verdeling niet-geregistreerde variabelen
 - · - · - resultierende verdeling

VERSTORING RAYLEIGH VERDELING DOOR ONJUISTE INTERPRETATIE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 5.1



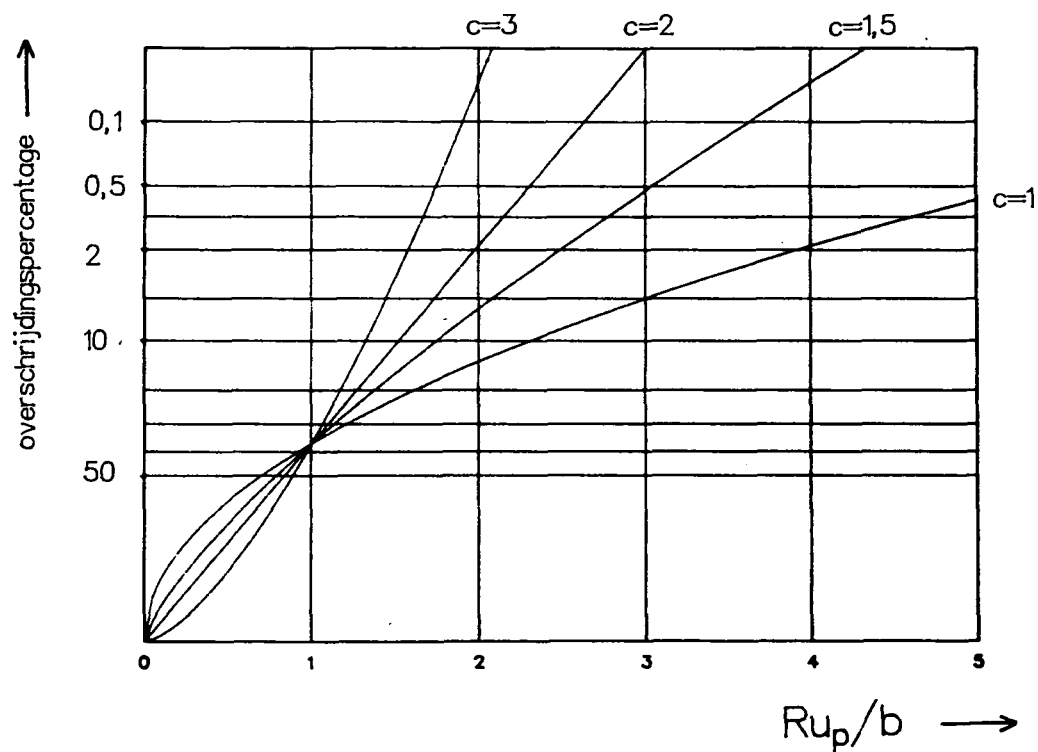
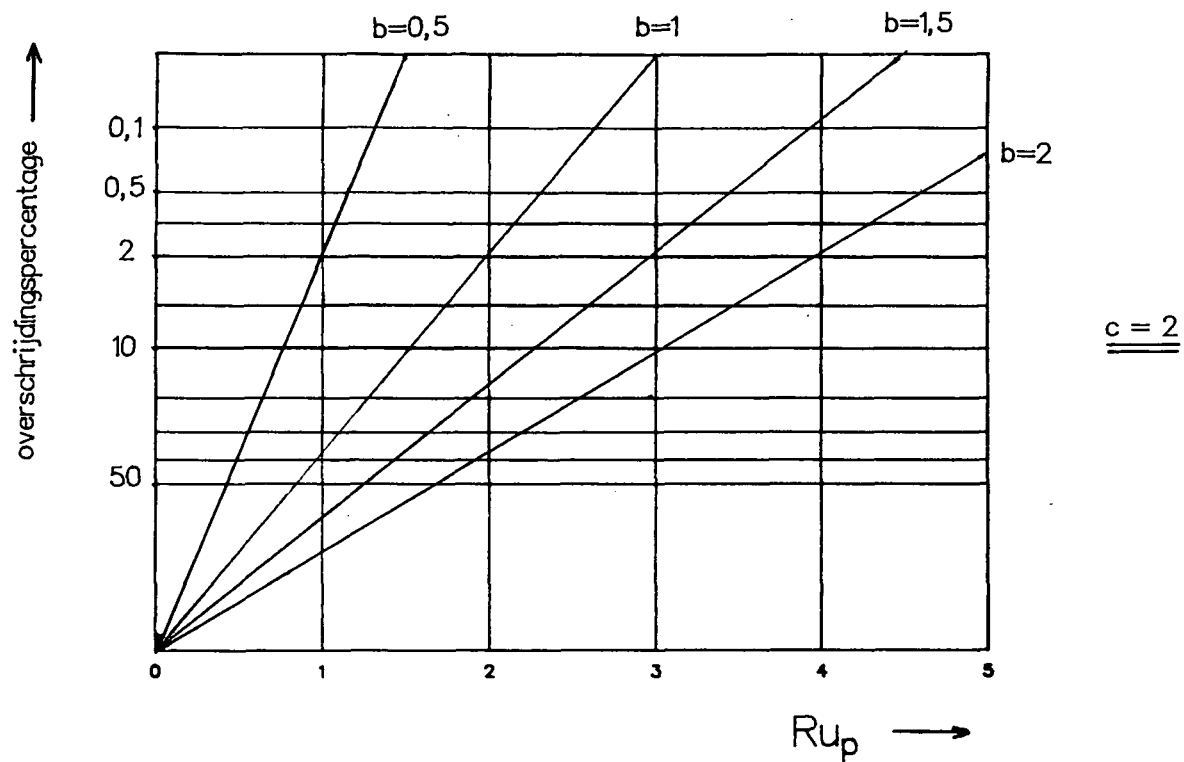
OPLOOPVERDELINGEN OP BASIS VAN RELATIES (5.1) EN (5.2)

VOOR PM- EN SMAL SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.1

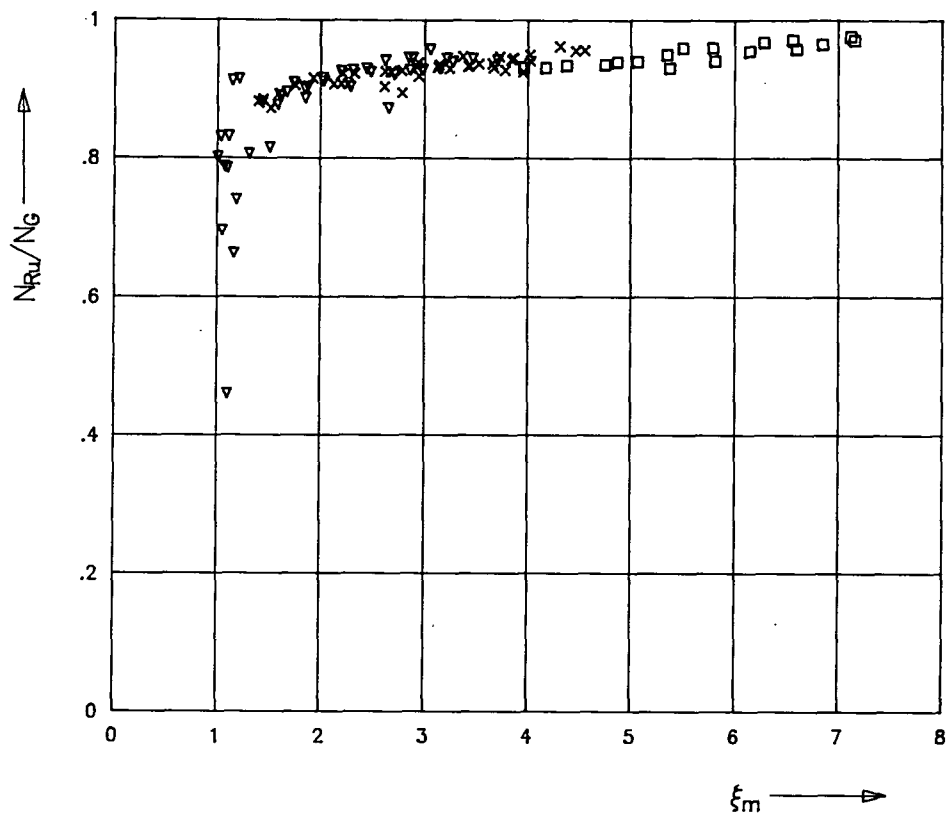


WEIBULL VERDELING

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.2



$\square$ $\cot \alpha = 2$

$\times$ $\cot \alpha = 3$

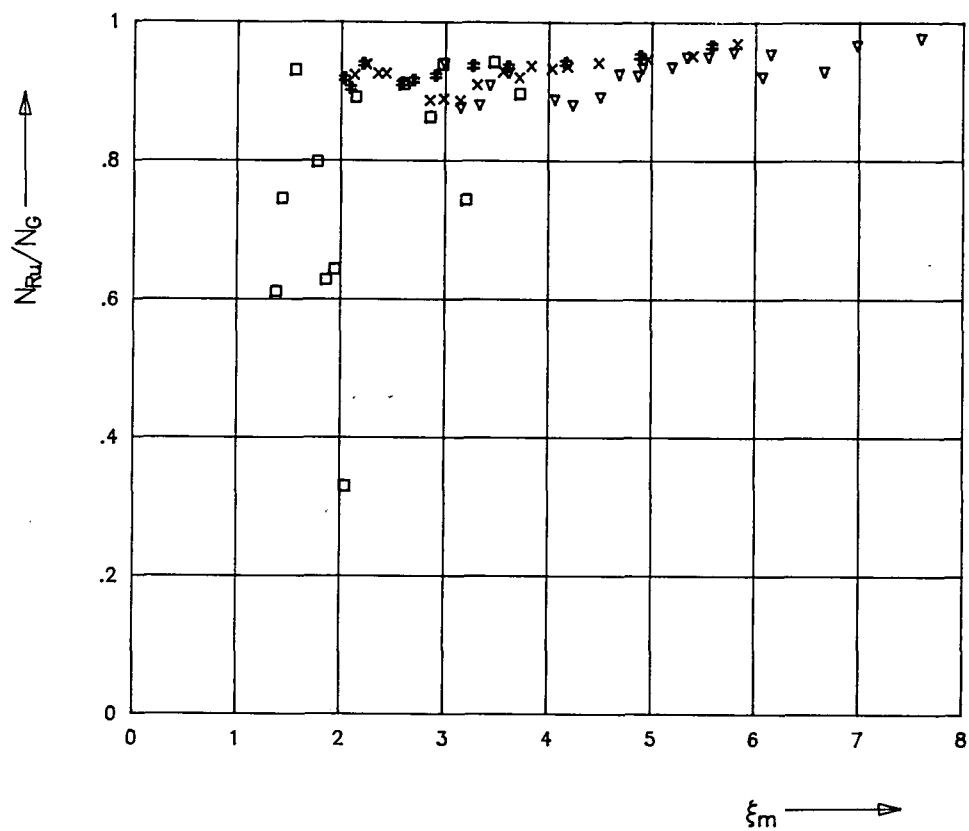
∇ $\cot \alpha = 4$

AANTAL GEREgistREERDE OPLOPEN IN VERHOUDING TOT AANTAL
GOLVEN ; ONDOORLATENDE KERN , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.3



∇ dk. , $\cot \alpha = 1,5$

$\times$ dk. , $\cot \alpha = 2$

$\square$ dk. , $\cot \alpha = 3$

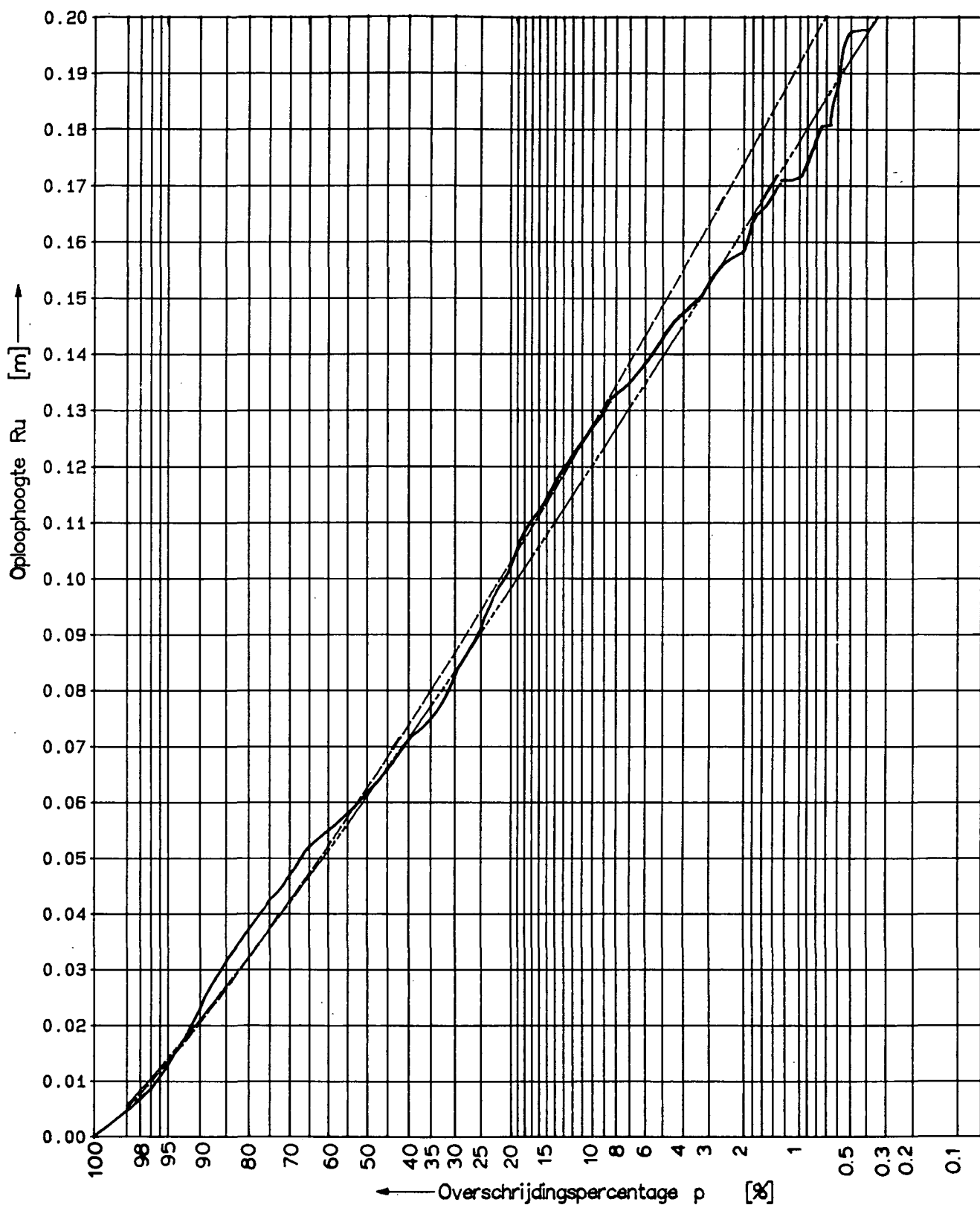
$\#$ hom.k. , $\cot \alpha = 2$

AANTAL GEREGETREERDE OPLOPEN IN VERHOUDING TOT AANTAL GOLVEN
DOORLATENDE KERN EN HOMOGENE KONSTRUKTIE , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.4



————— gemeten verdeling - - - - - benaderde verdeling
 - · - · - best-fit verdeling

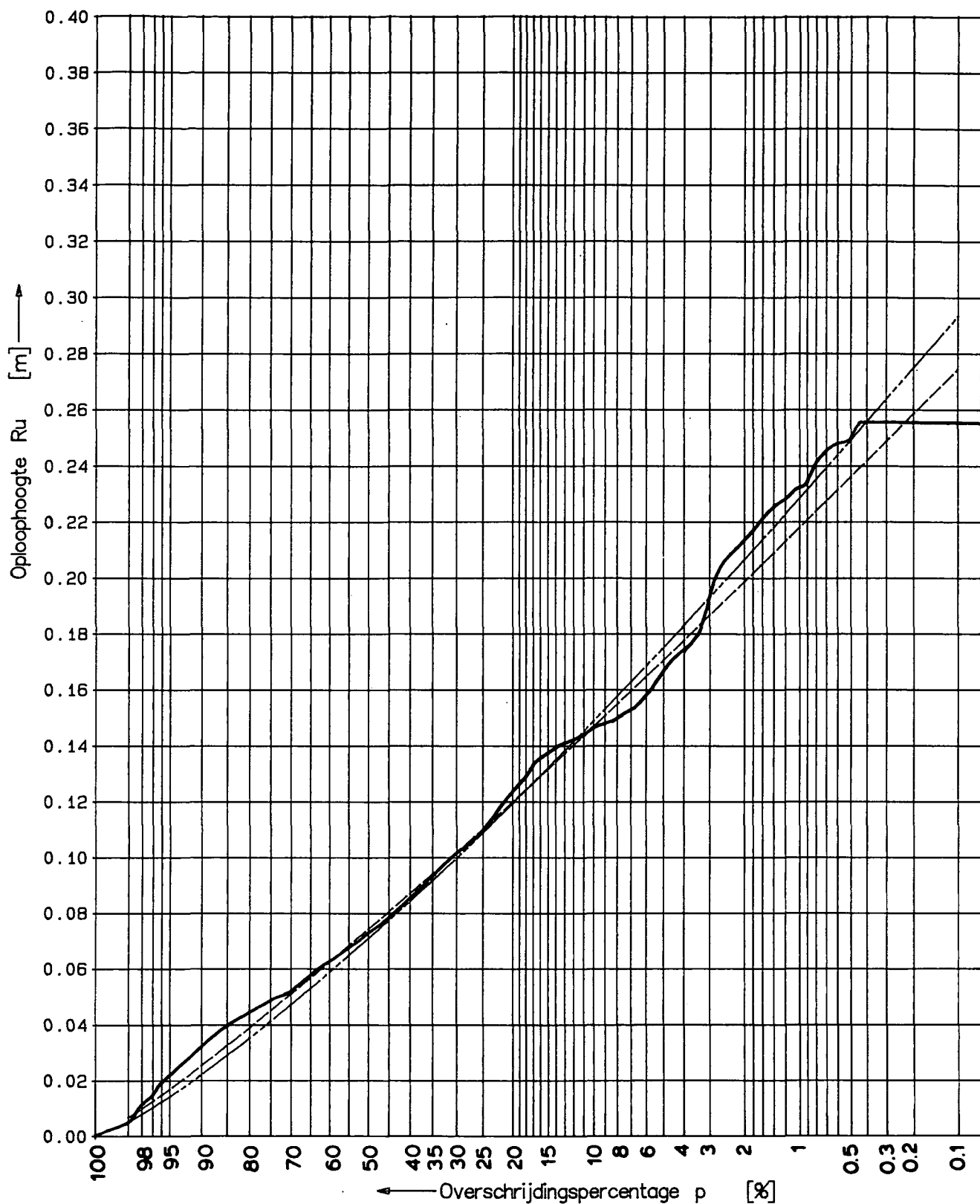
OPLOOPVERDELING PROEF 4

proef 4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.5



————— gemeten verdeling - - - - - benaderde verdeling
 — · — · — · — 'best-fit' verdeling

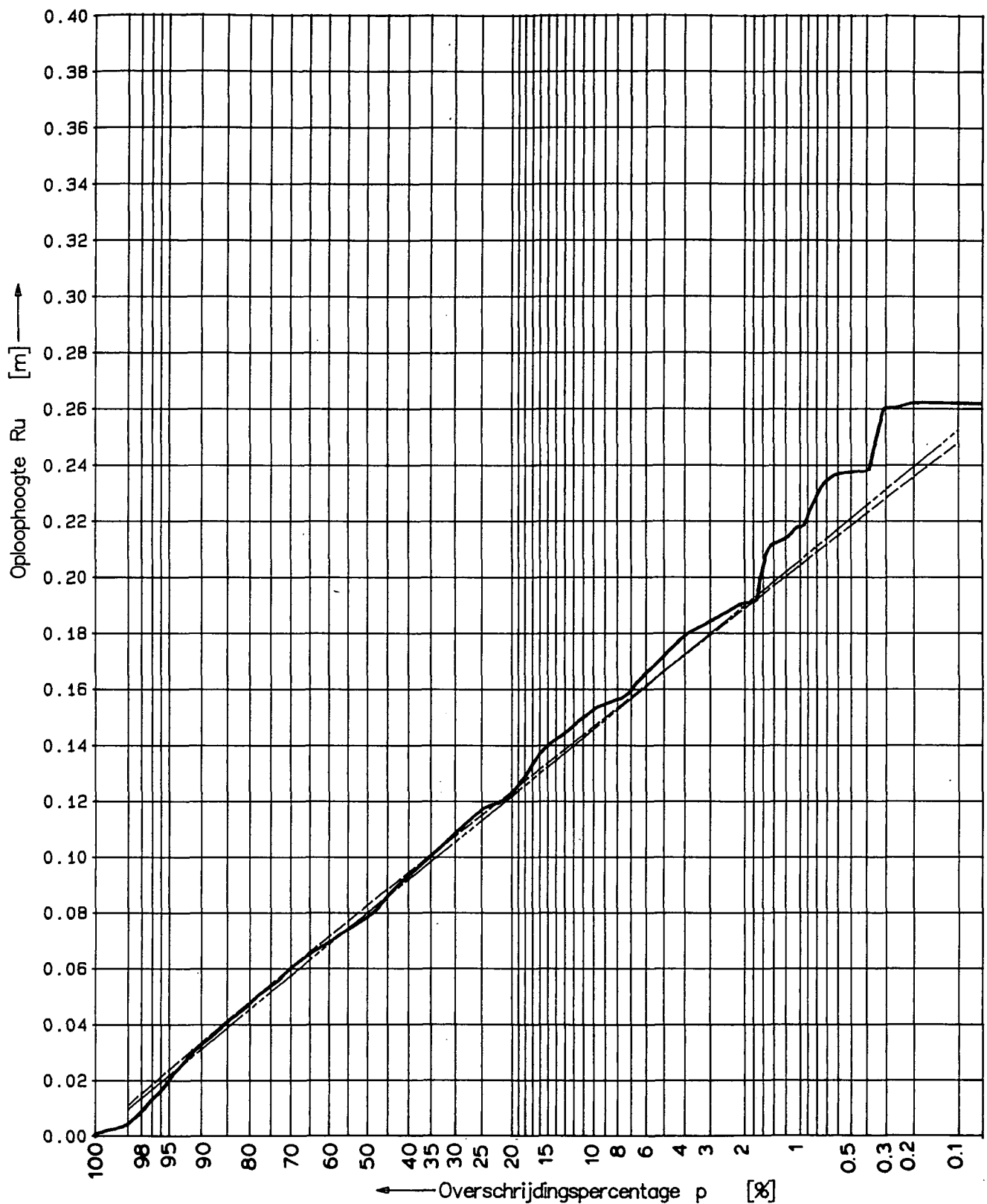
OPLOOPVERDELING PROEF 11

proef 11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.6



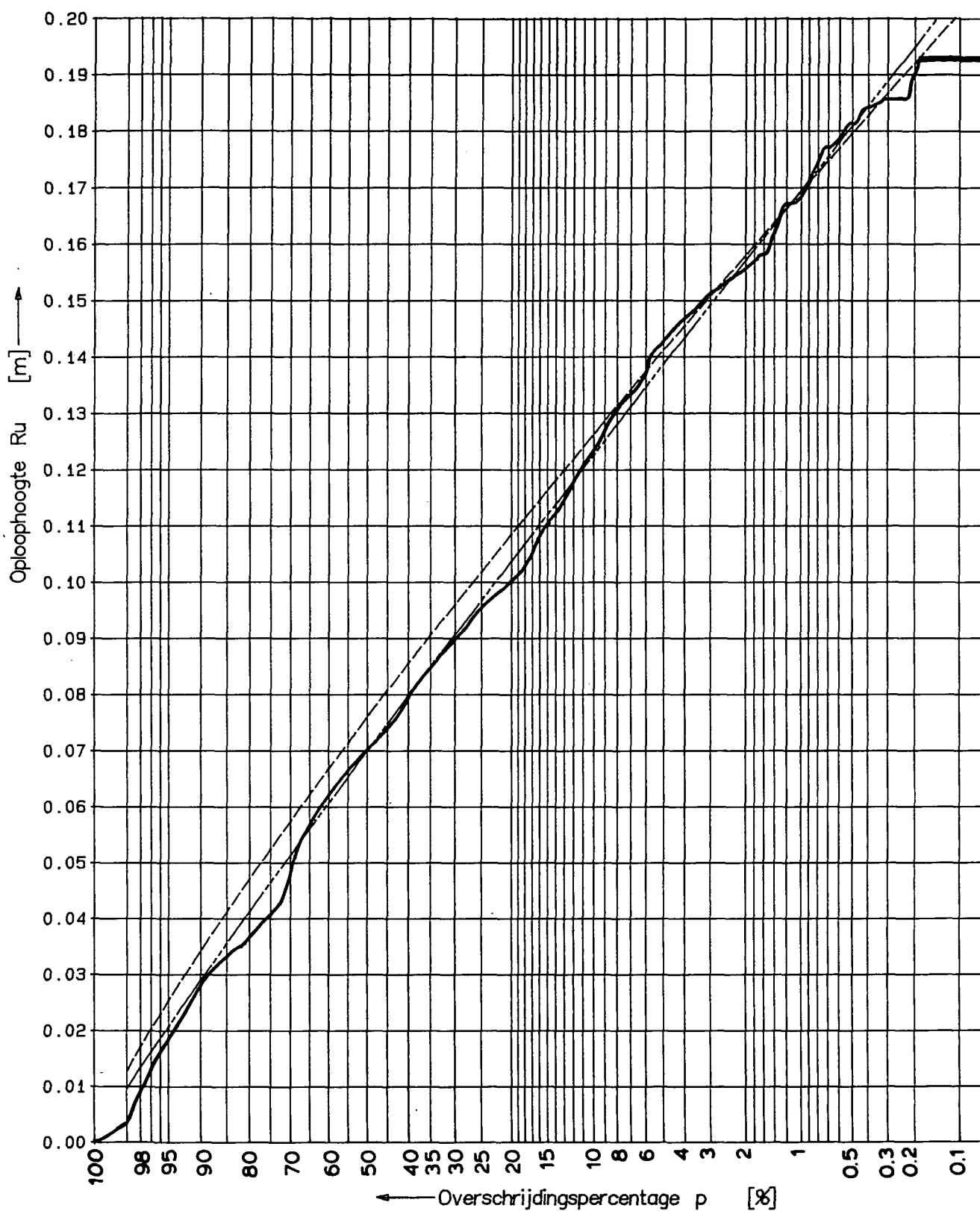
OPLOOPVERDELING PROEF 34

proef 34

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.7



————— gemeten verdeling - - - - - benaderde verdeling
 - · - · - · - 'best-fit' verdeling

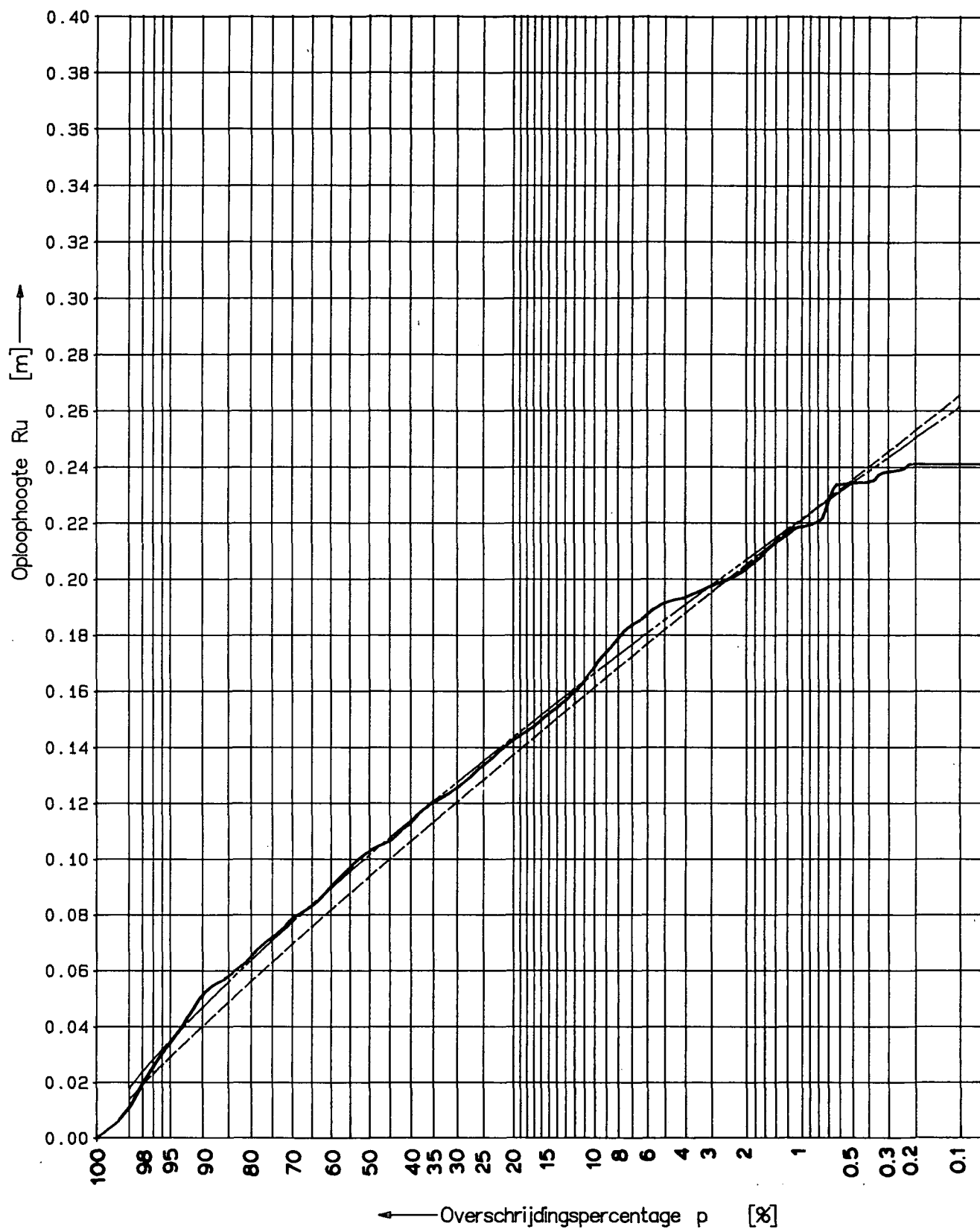
OPLOOPVERDELING PROEF 74

proef 74

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.8



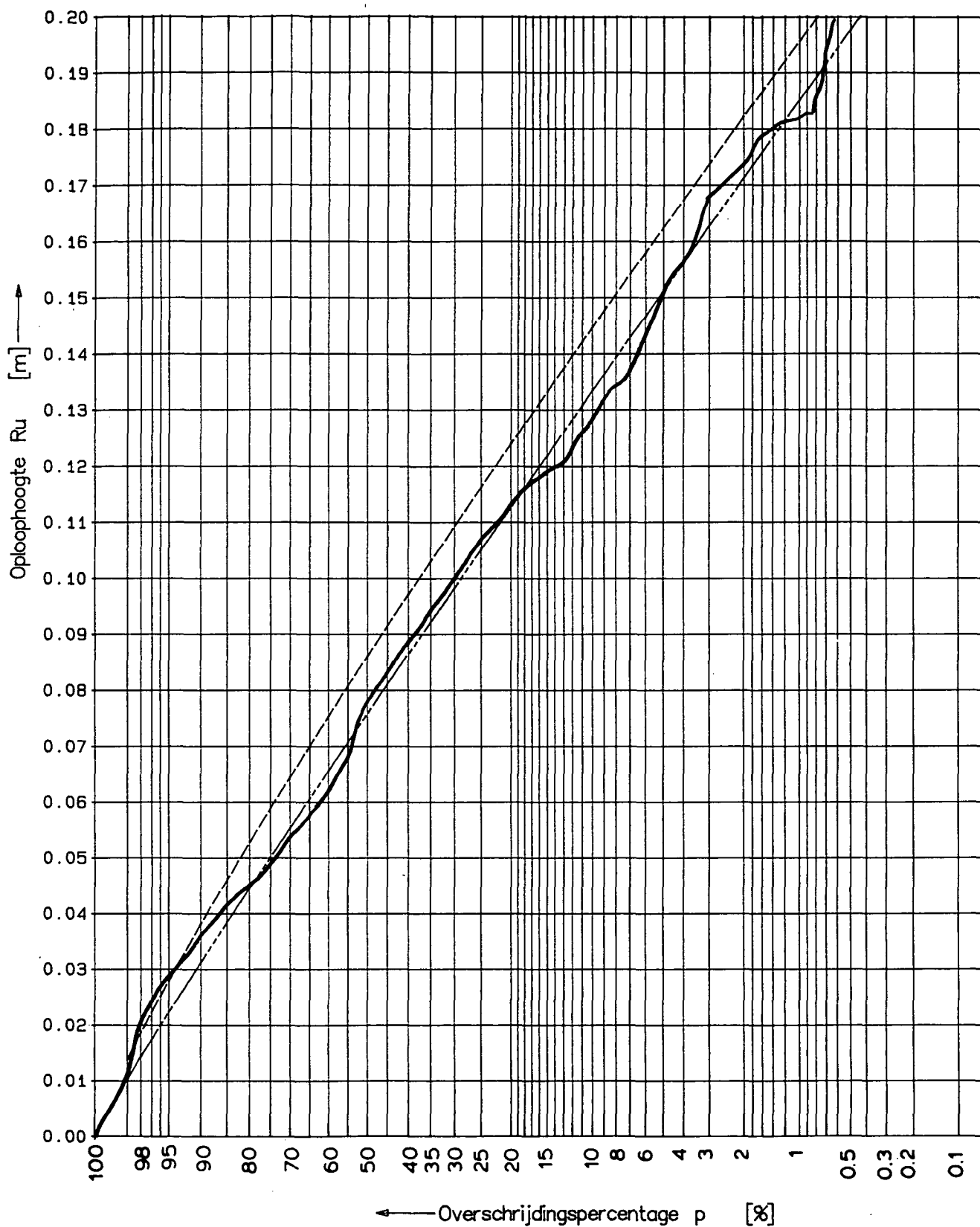
OPLOOPVERDELING PROEF 84

proef 84

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG.6.9



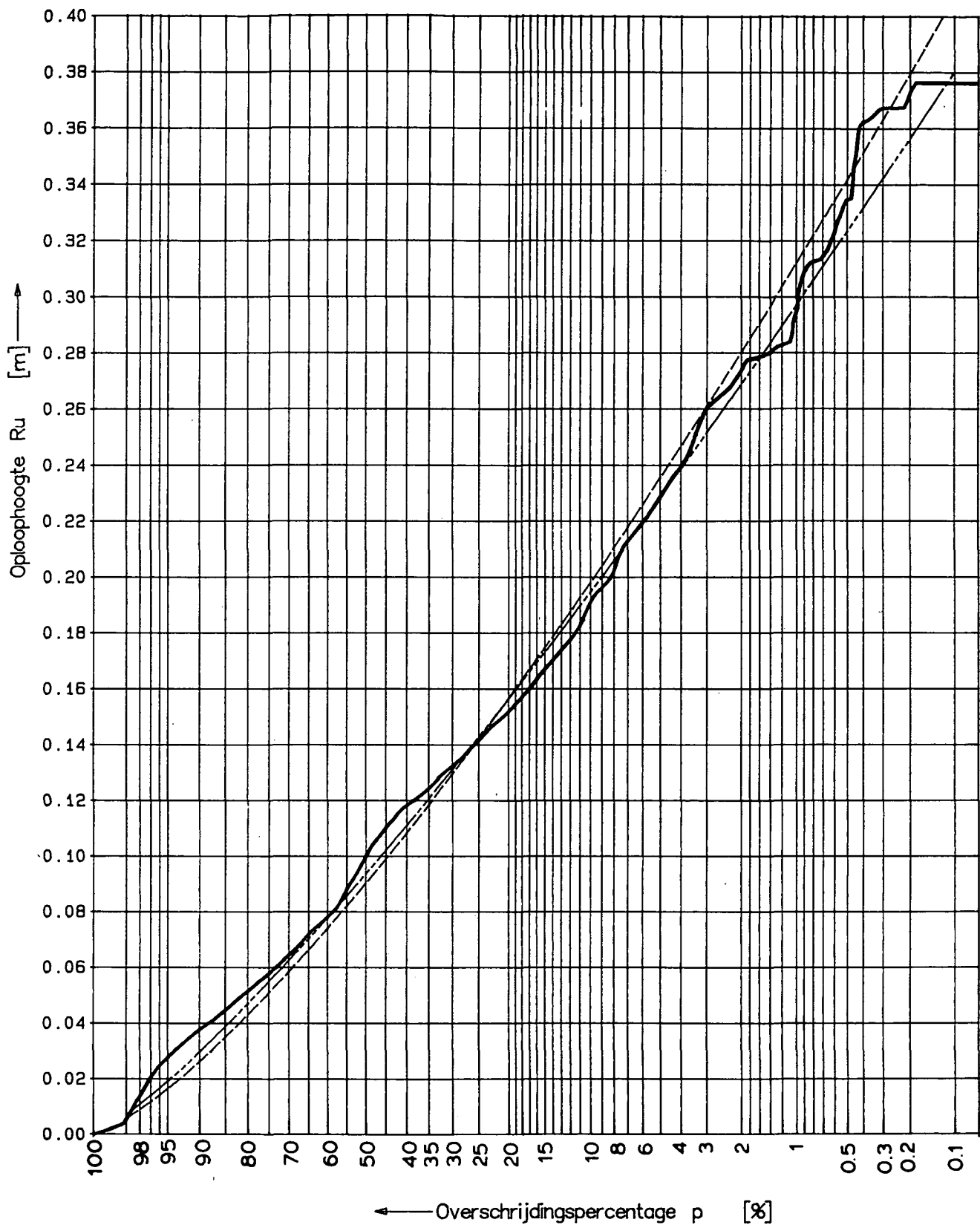
OPLOOPVERDELING PROEF 208

proef 208

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.10



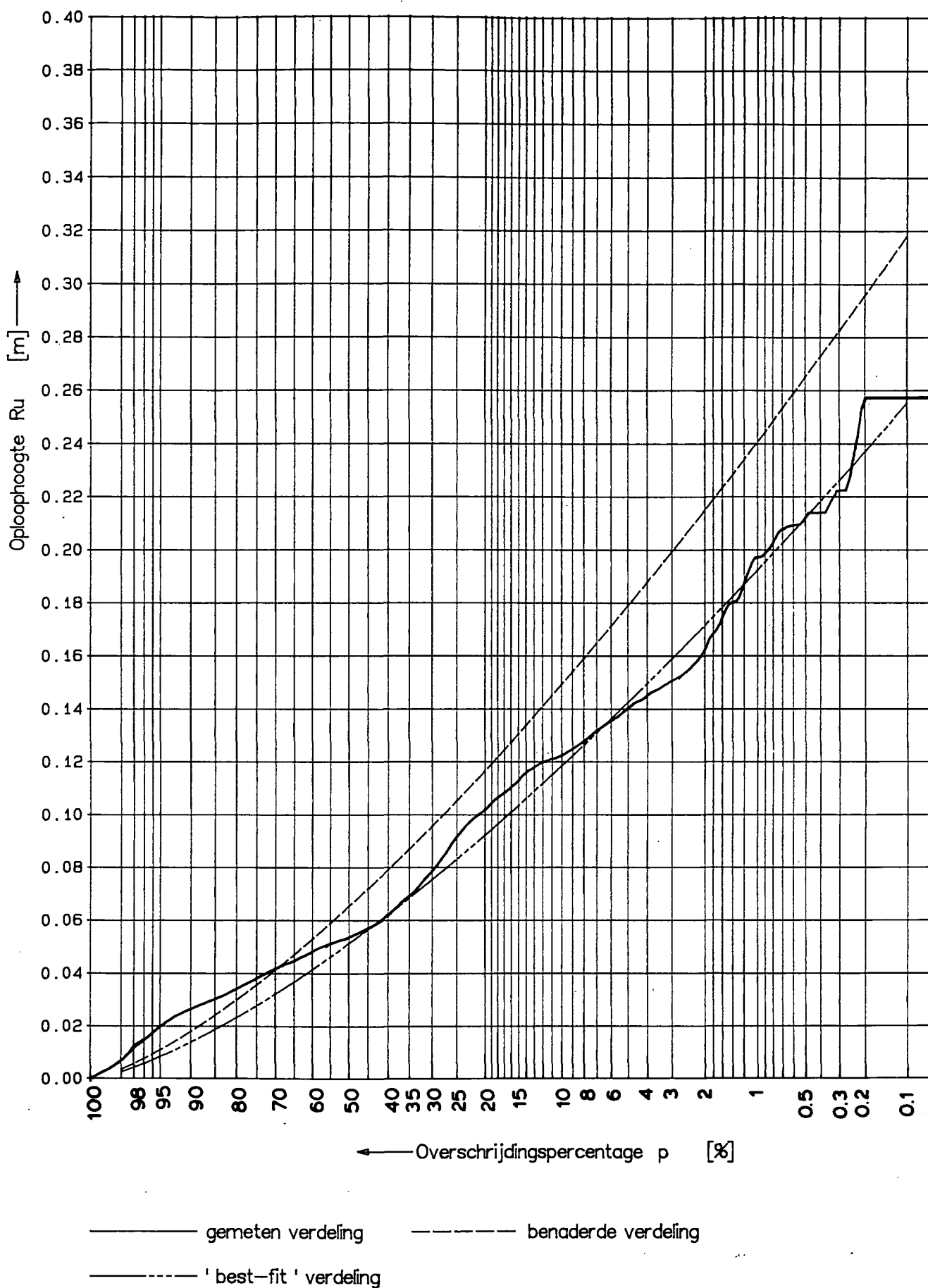
OPLOOPVERDELING PROEF 220

proef 220

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.11



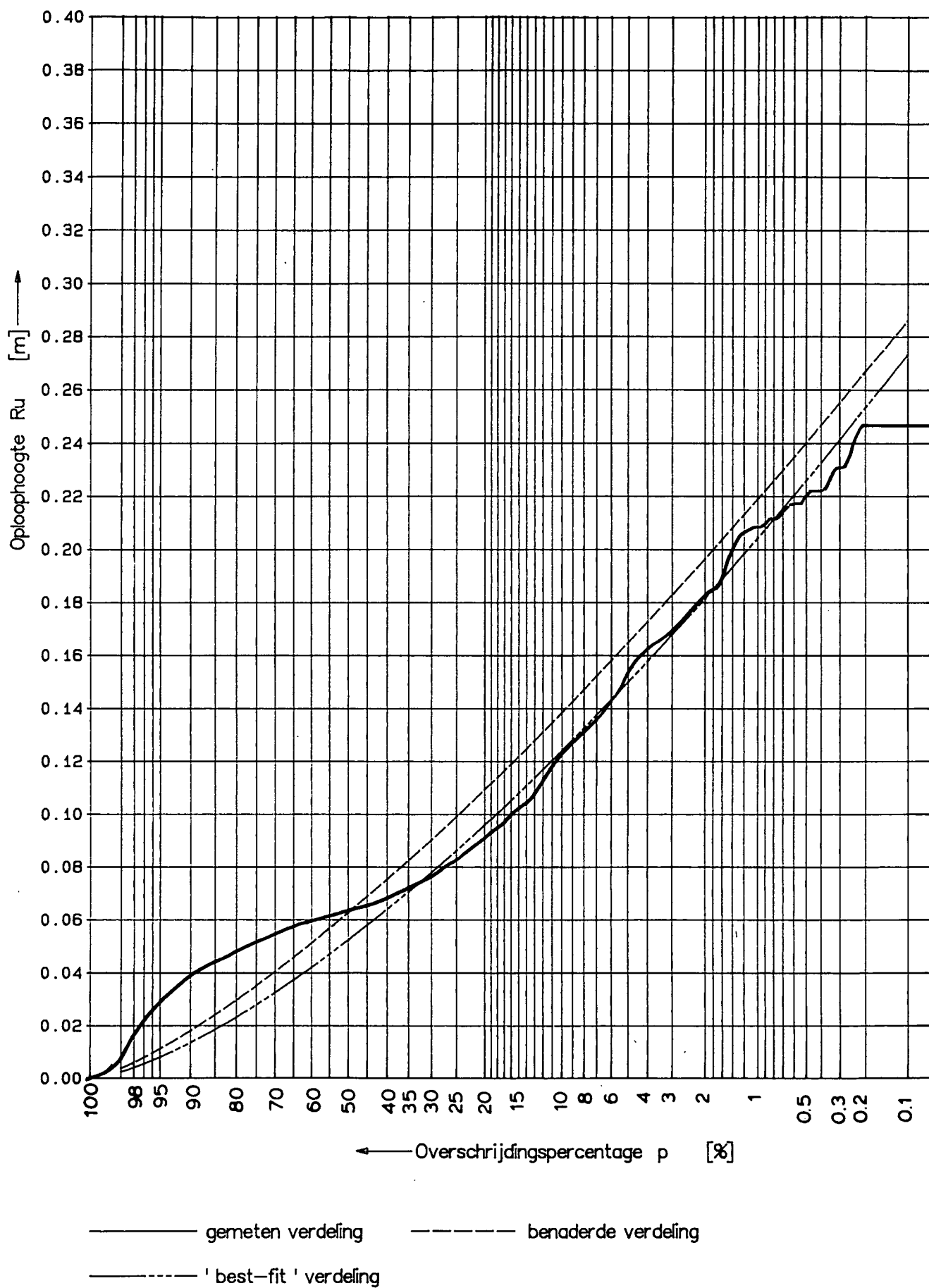
OPLOOPVERDELING PROEF 251

proef 251

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.12



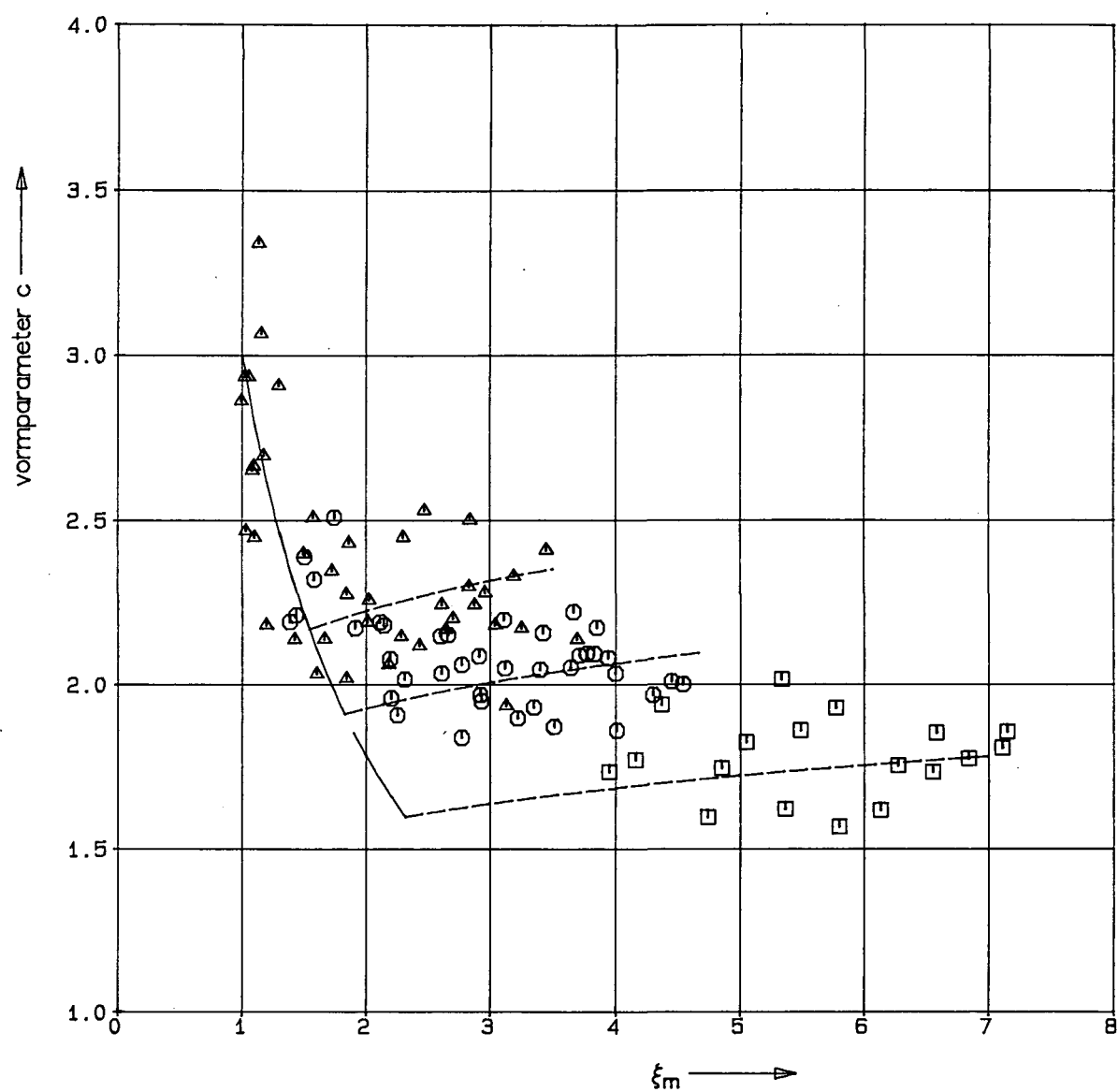
OPLOOPVERDELING PROEF 268

proef 268

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.13



□ cot α = 2

○ cot α = 3

▲ cot α = 4

— formule van c voor brekende golven

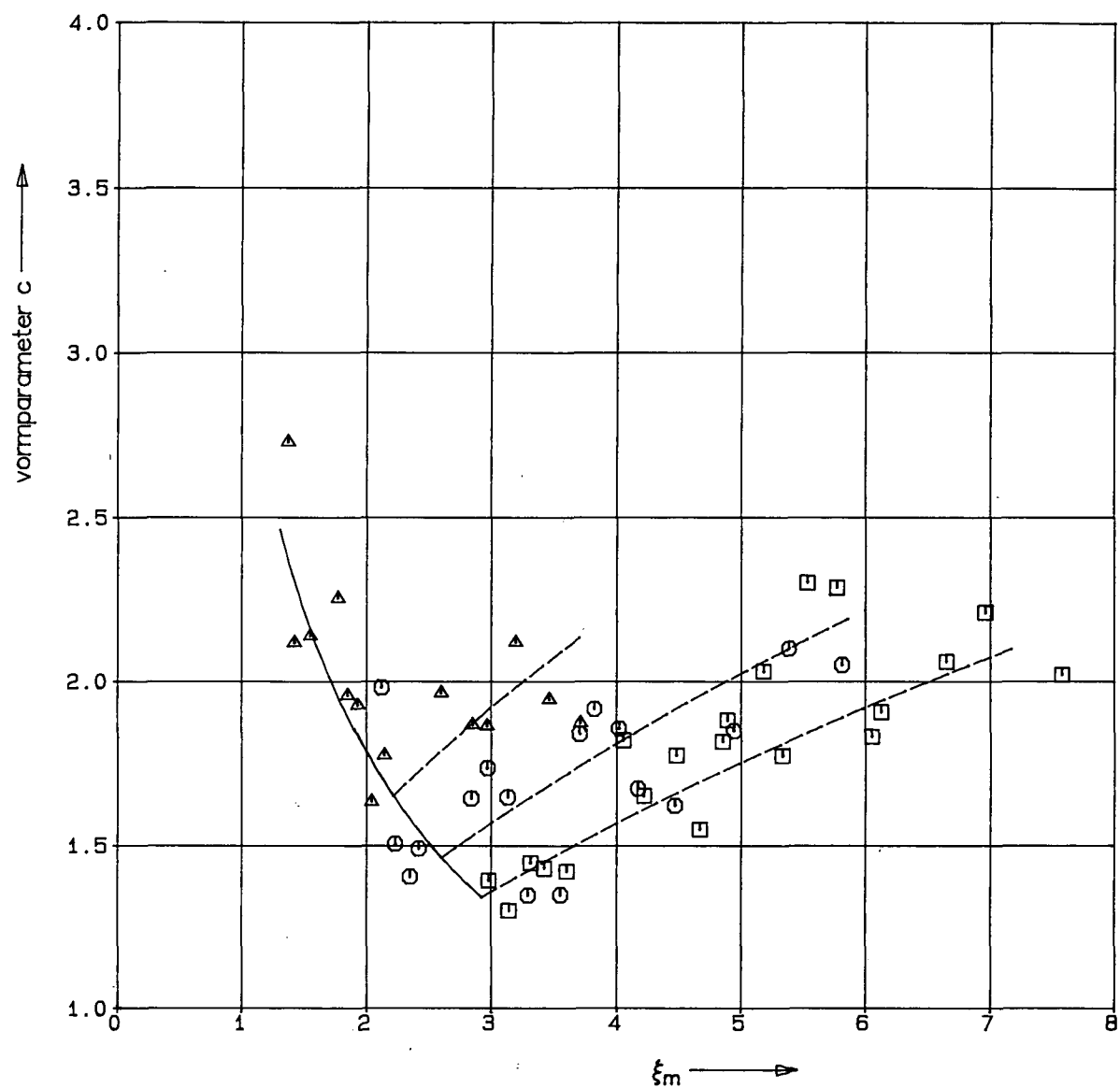
- - - - - formule van c voor niet-brekende golven

VORMPARAMETER , ONDOORLATENDE KERN , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.14



□ $\cot \alpha = 1,5$

○ $\cot \alpha = 2$

△ $\cot \alpha = 3$

— formule van c voor brekende golven

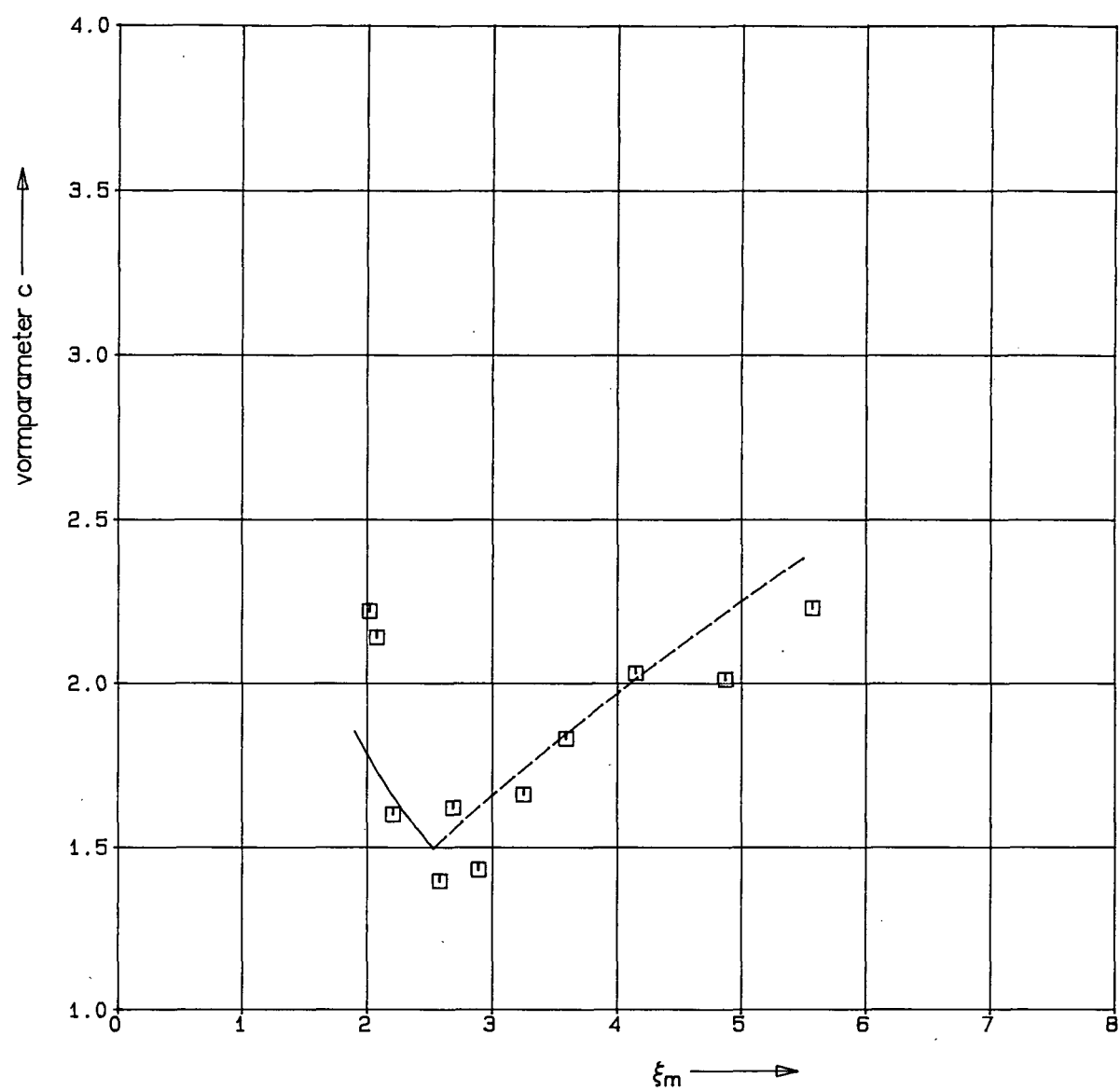
- - - - - formule van c voor niet-brekende golven

VORMPARAMETER, DOORLATENDE KERN, PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.15



□ $\cot \alpha = 2$

— formule van c voor brekende golven

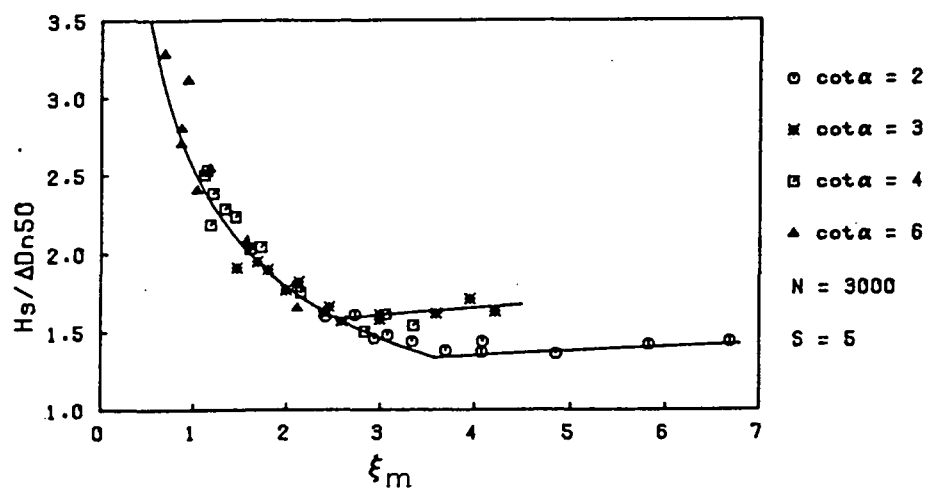
- - - formule van c voor niet-brekende golven

VORMPARAMETER, HOMOGENE KONSTRUKTIE, PM-SPEKTRUM

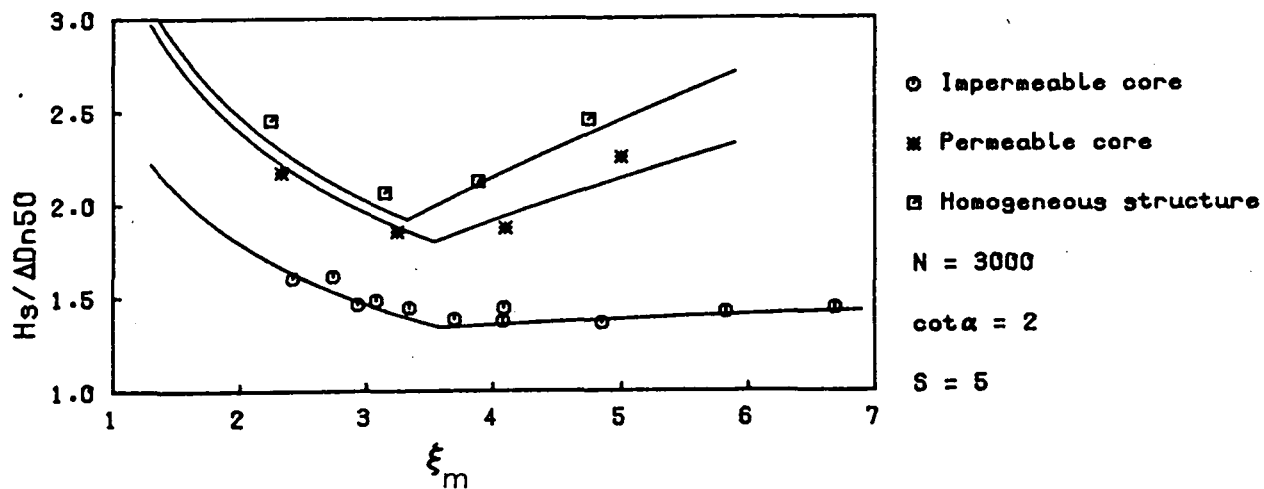
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

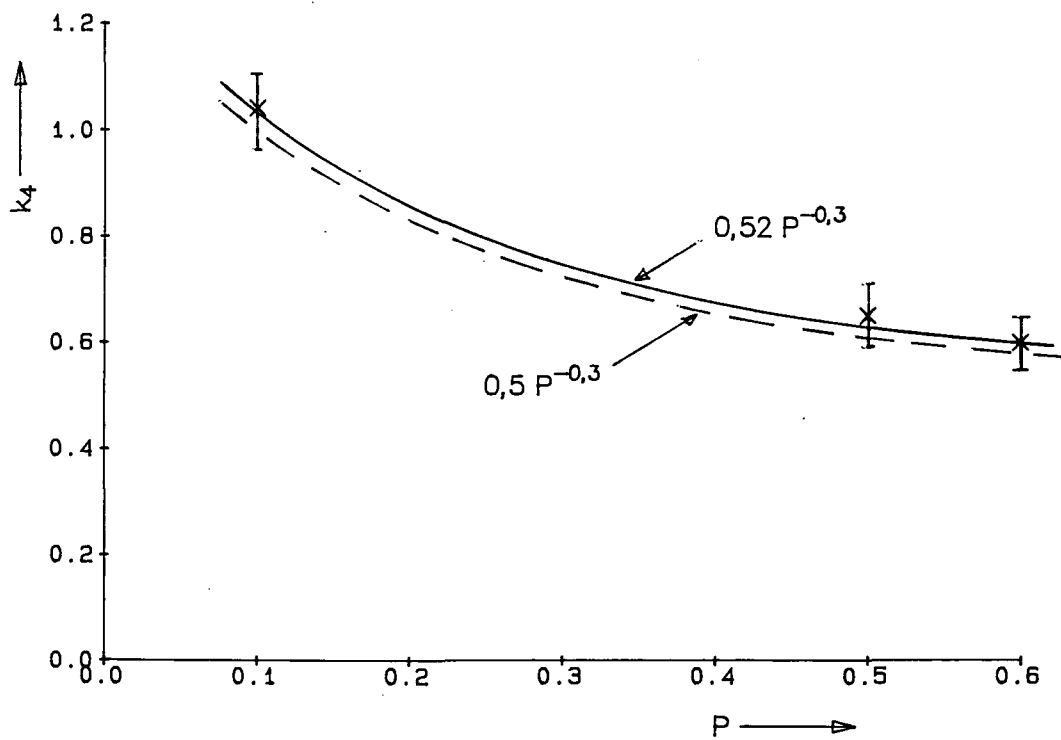
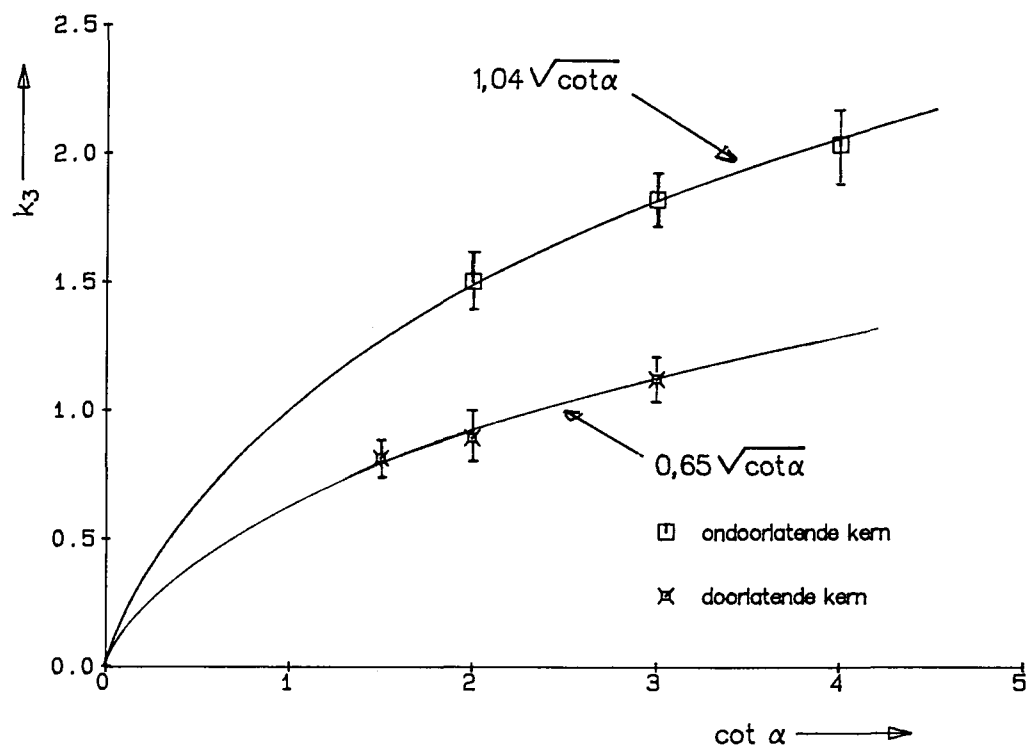
FIG. 6.16



a) invloed van golfhoogte , periode en taludhelling
op stabiliteit



b) invloed van doorlatendheid op stabiliteit



s = standaardafwijking $\left| \begin{array}{c} \text{---} \\ 2s \end{array} \right|$

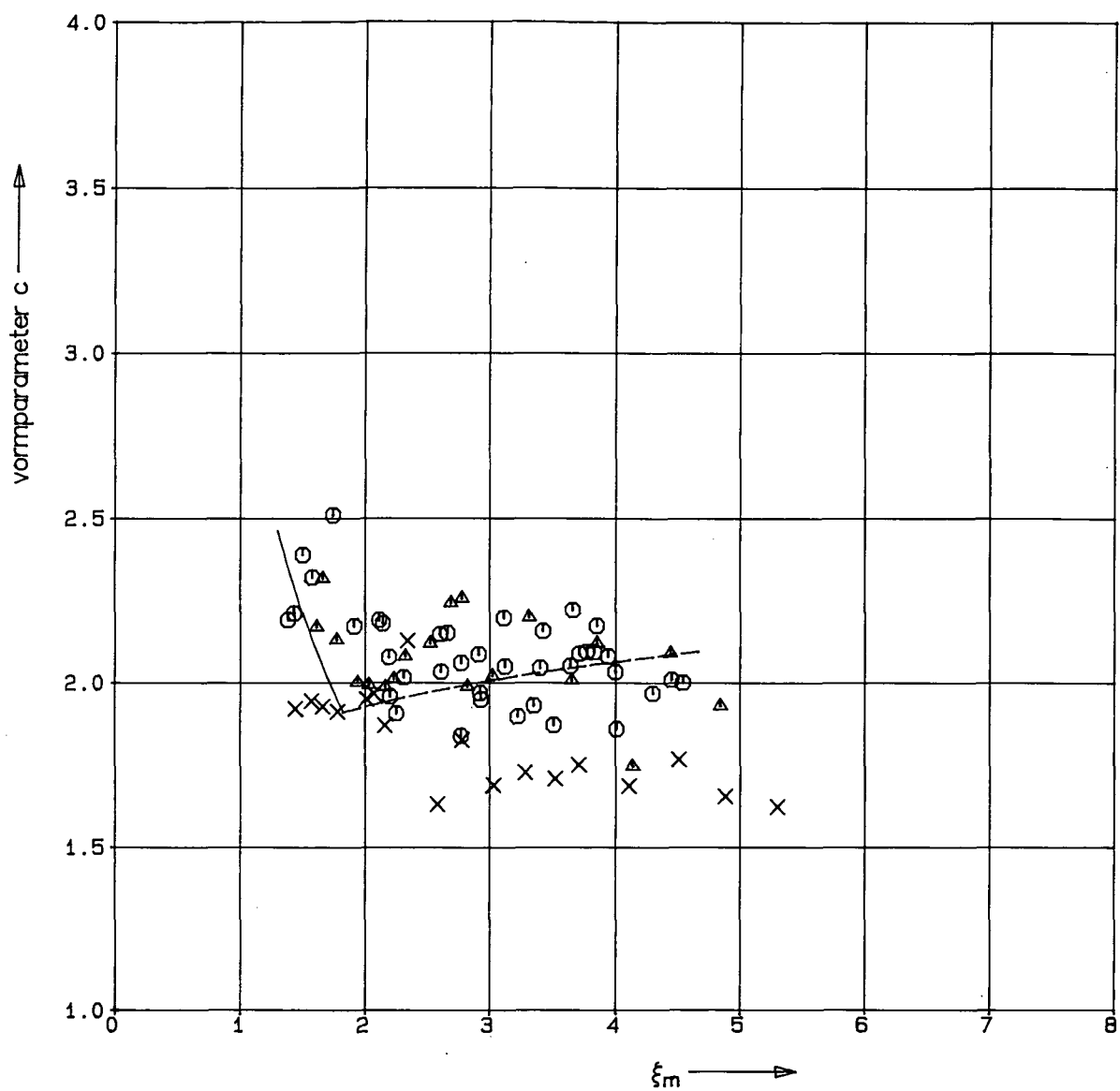
KOEFFICIENT k_3 ALS FUNKTIE VAN $\cot \alpha$ EN P

KOEFFICIENT k_4 ALS FUNKTIE VAN P

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

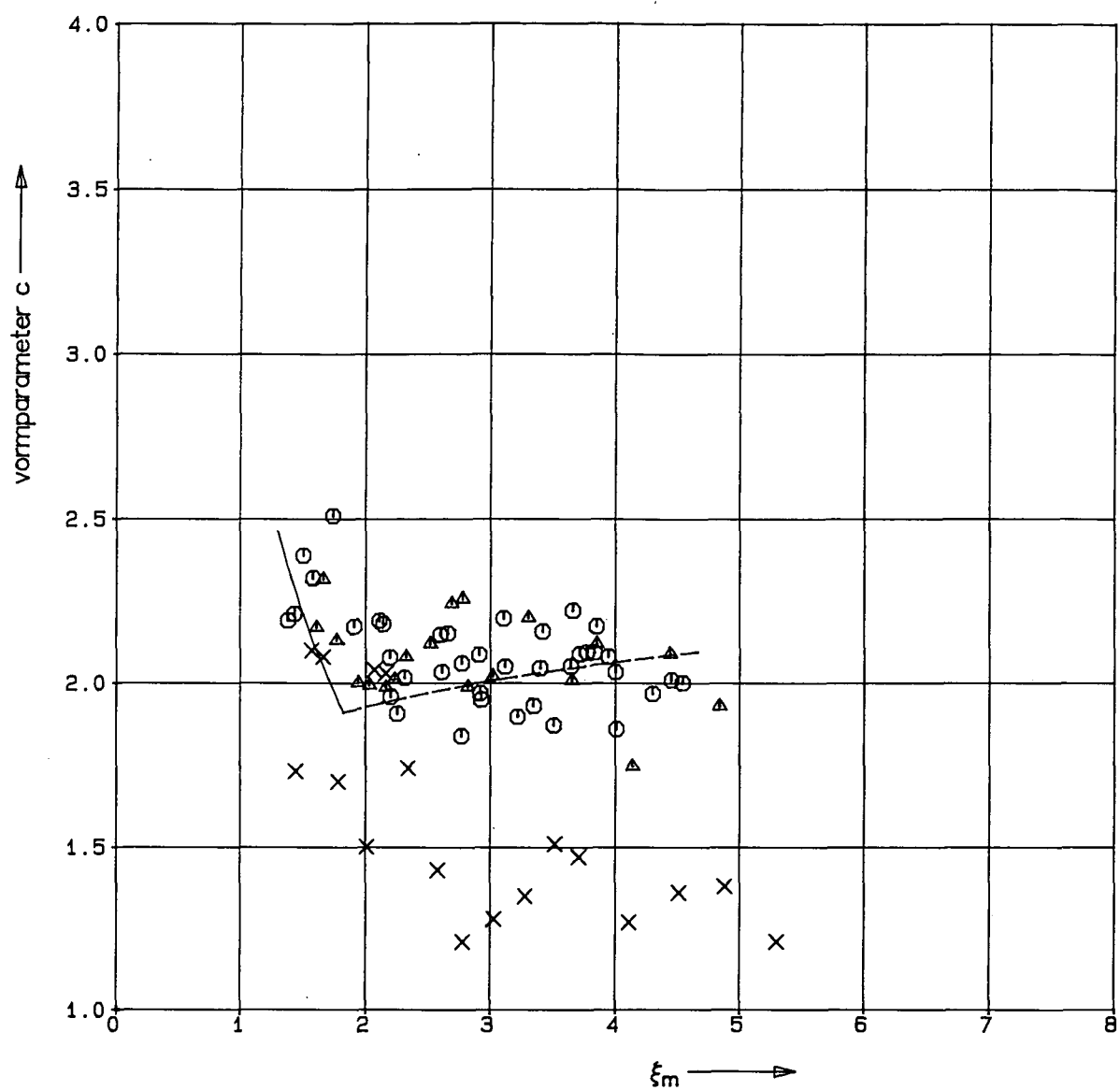
M 1983

FIG. 6.18



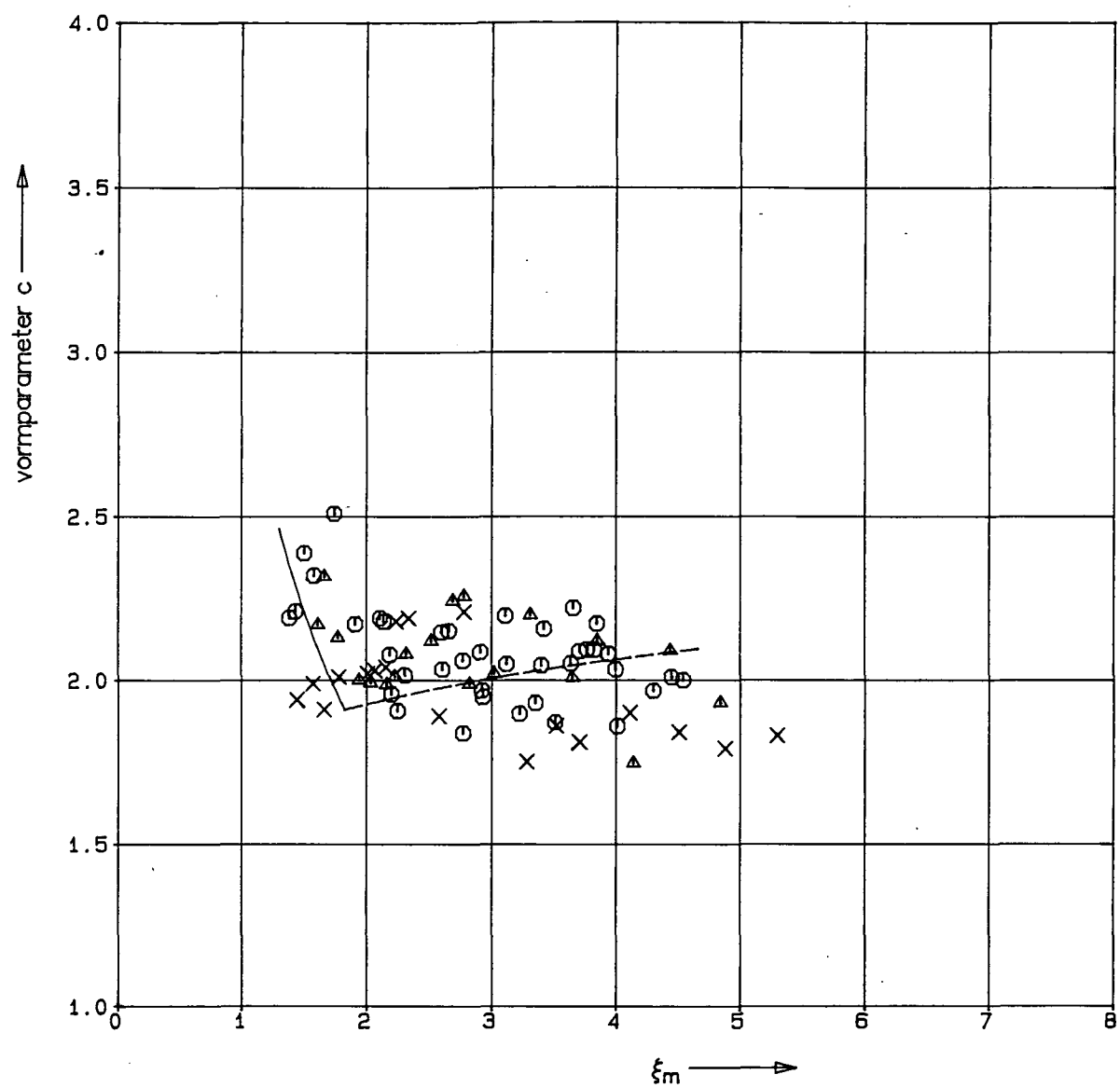
- Δ breed spektrum
- $\circ$ PM-spektrum
- $\times$ smal spektrum
- formule van c voor brekende golven
- - - formule van c voor niet-brekende golven

VORMPARAMETER, INVLOED SPEKTRUMVORM (SMAL SPEKTRUM :
 c GEBASEERD OP $Ru_{0,5} - Ru_{37}$)



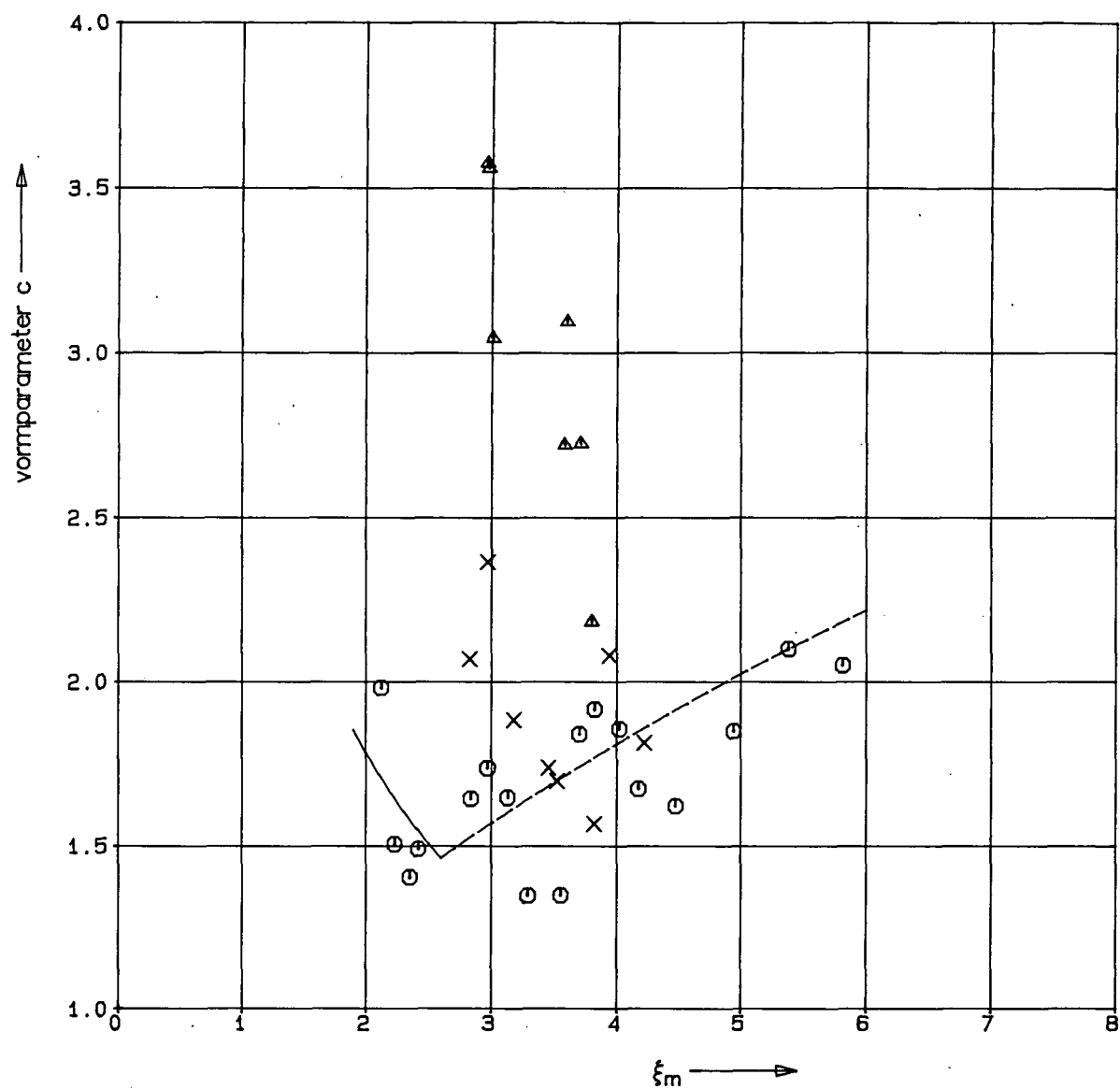
- △ breed spektrum
- PM-spektrum
- × smal spektrum
- formule van c voor brekende golven
- - - - formule van c voor niet-brekende golven

VORMPARAMETER , INVLOED SPEKTRUMVORM (SMAL SPEKTRUM :
c GEBASEERD OP BOVENSTE TAK OPLOOPVERDELING)



- ▲ breed spektrum
- PM-spektrum
- × smal spektrum
- formule van c voor brekende golven
- - - formule van c voor niet-brekende golven

VORMPARAMETER , INVLOED SPEKTRUMVORM (SMAL SPEKTRUM :
c GEBASEERD OP ONDERSTE TAK OPLOOPVERDELING)



○ geen voorland , $h = 0,8$ m

× voorland 1: 30 , h t.p.v. teen konstruktie 0,4 m

△ voorland 1: 30 , h t.p.v. teen konstruktie 0,2 m

— formule van c voor brekende golven

- - - - - formule van c voor niet-brekende golven

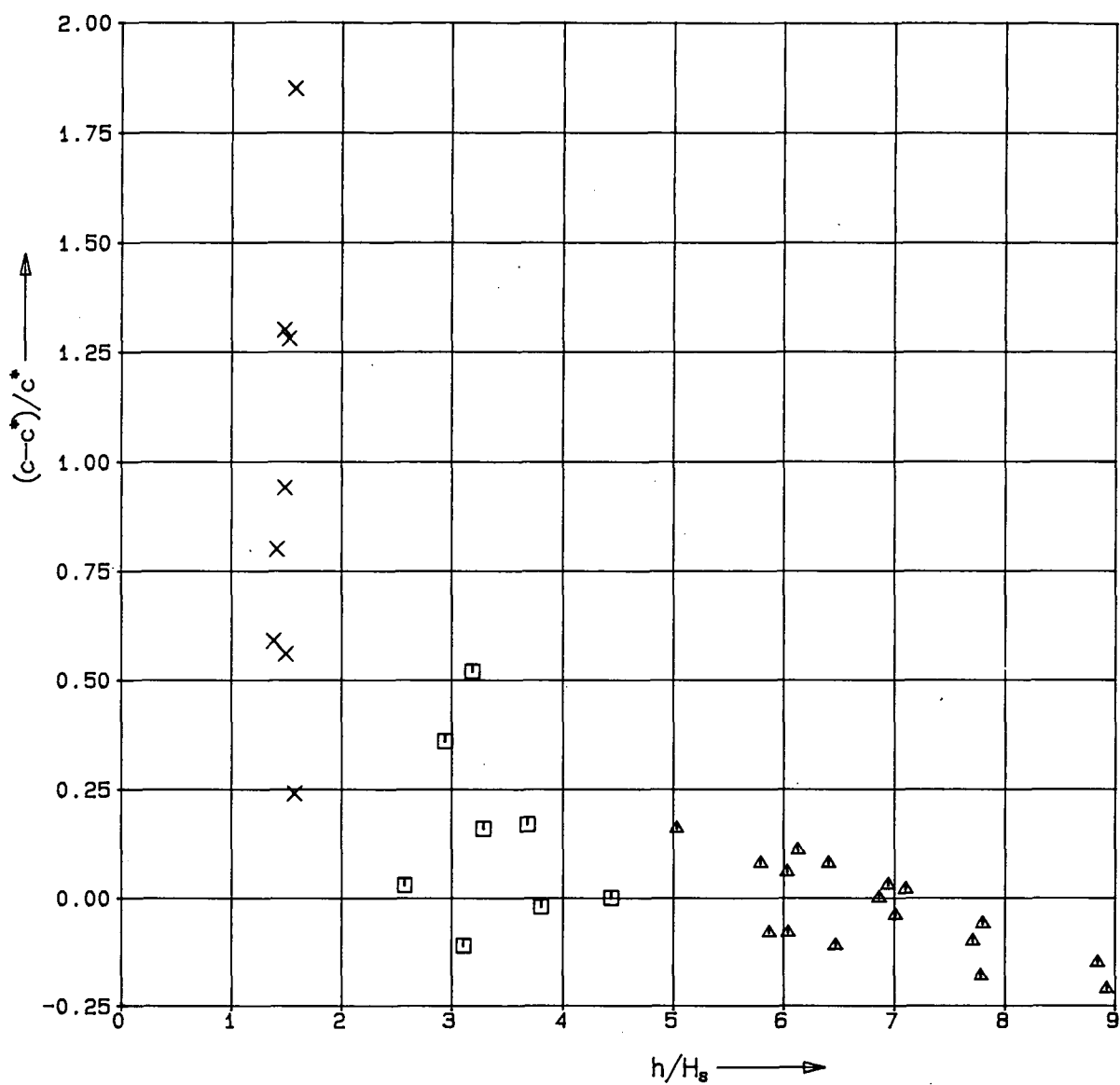
Opm. : doorlatende kern , $\cot \alpha = 2$, H_s voor de konstruktie

VORMPARAMETER , INVLOED VOORLAND

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.23



△ geen voorland , $h = 0,8 \text{ m}$

□ voorland 1:30 , h t.p.v. teen konstruktie 0,4 m

x voorland 1:30 , h t.p.v. teen konstruktie 0,2 m

c^* = vormparameter benaderd met de relatie (6.9) of (6.14)

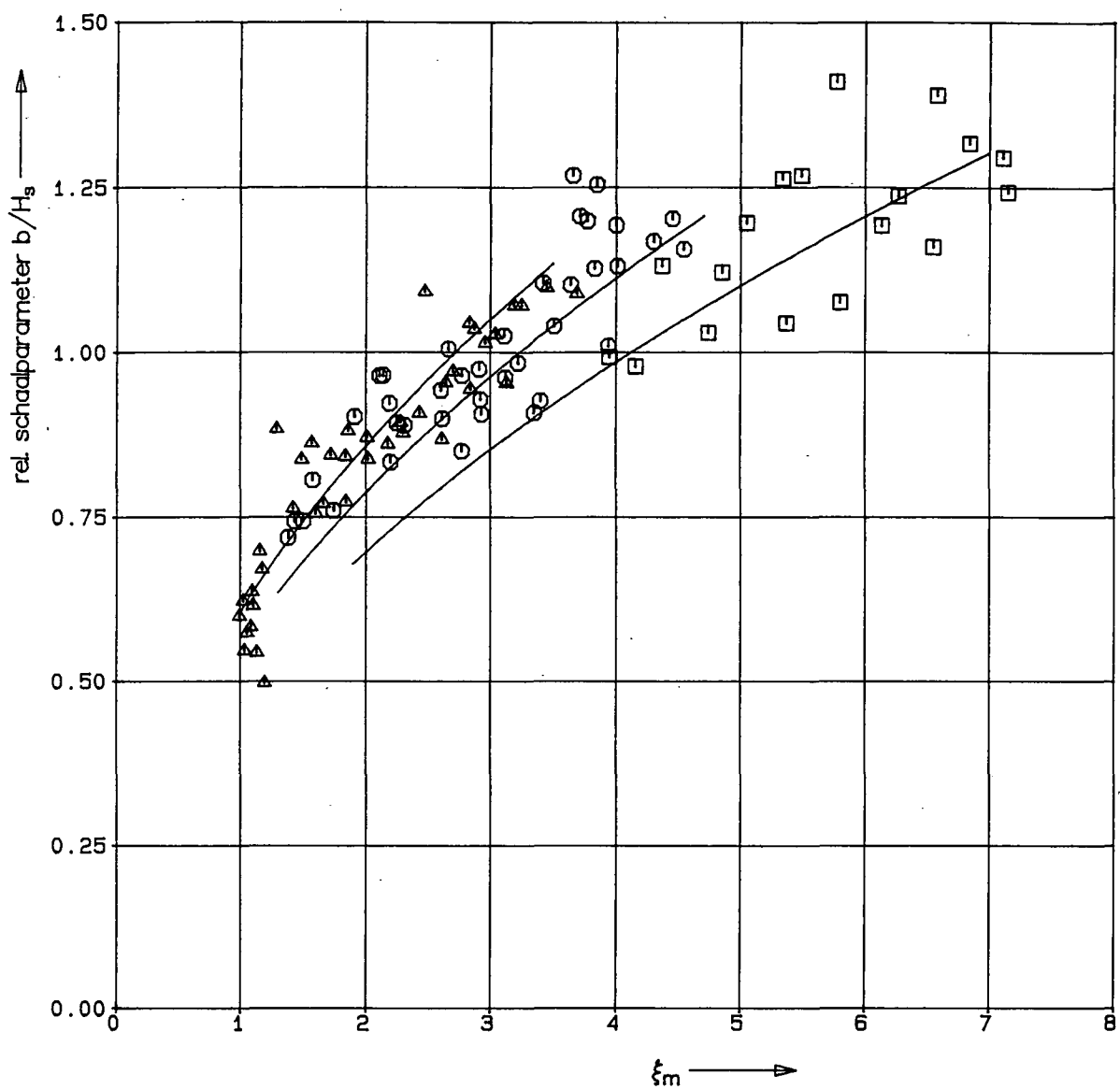
Opm. : doorlatende kern , $\cot \alpha = 2$, H_s voor de konstruktie

INVLOED h/H_s OP RELATIEVE AFWIJKING VORMPARAMETER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.24

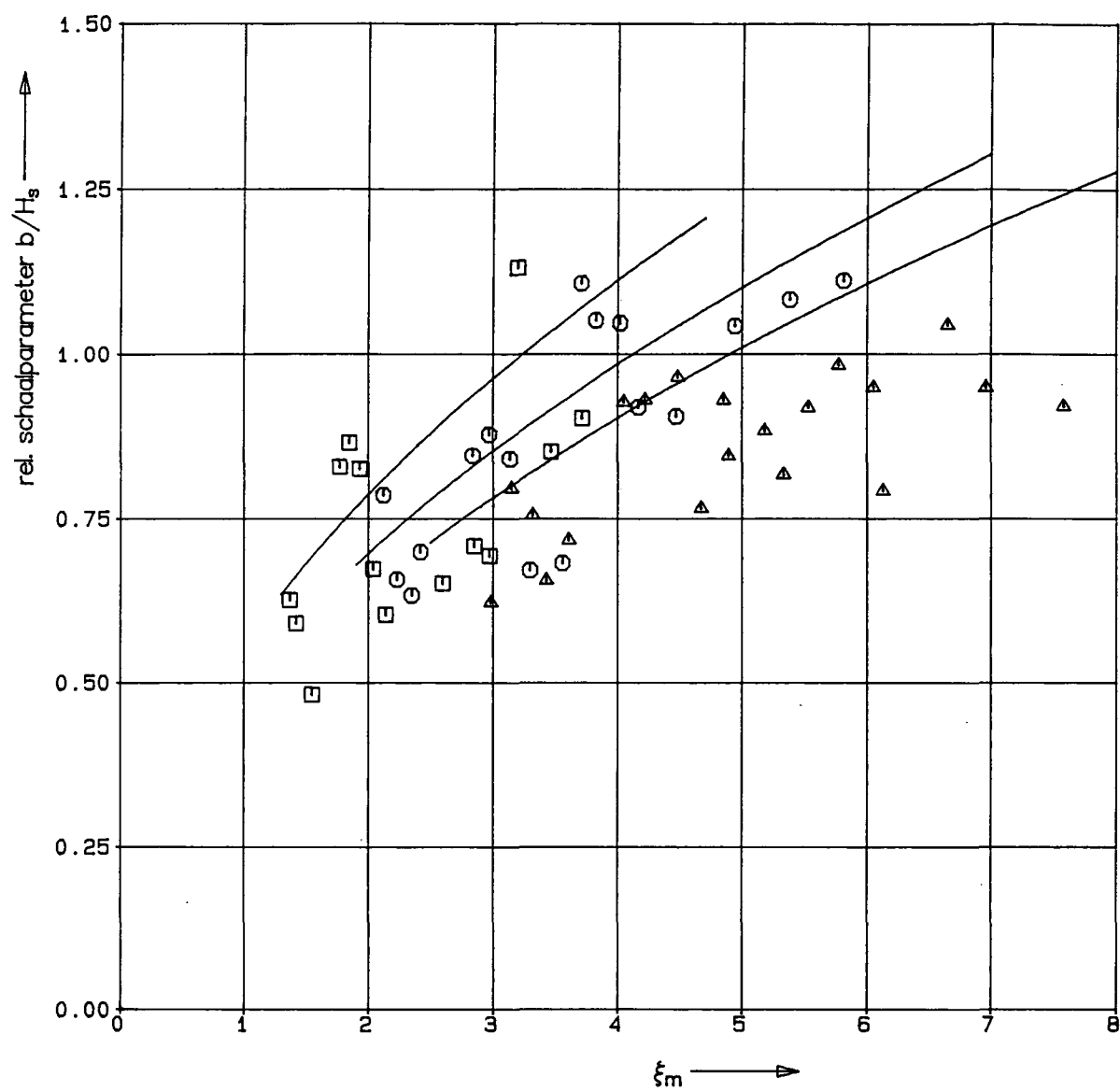


SCHAALPARAMETER, ONDOORLATENDE KERN, PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.25

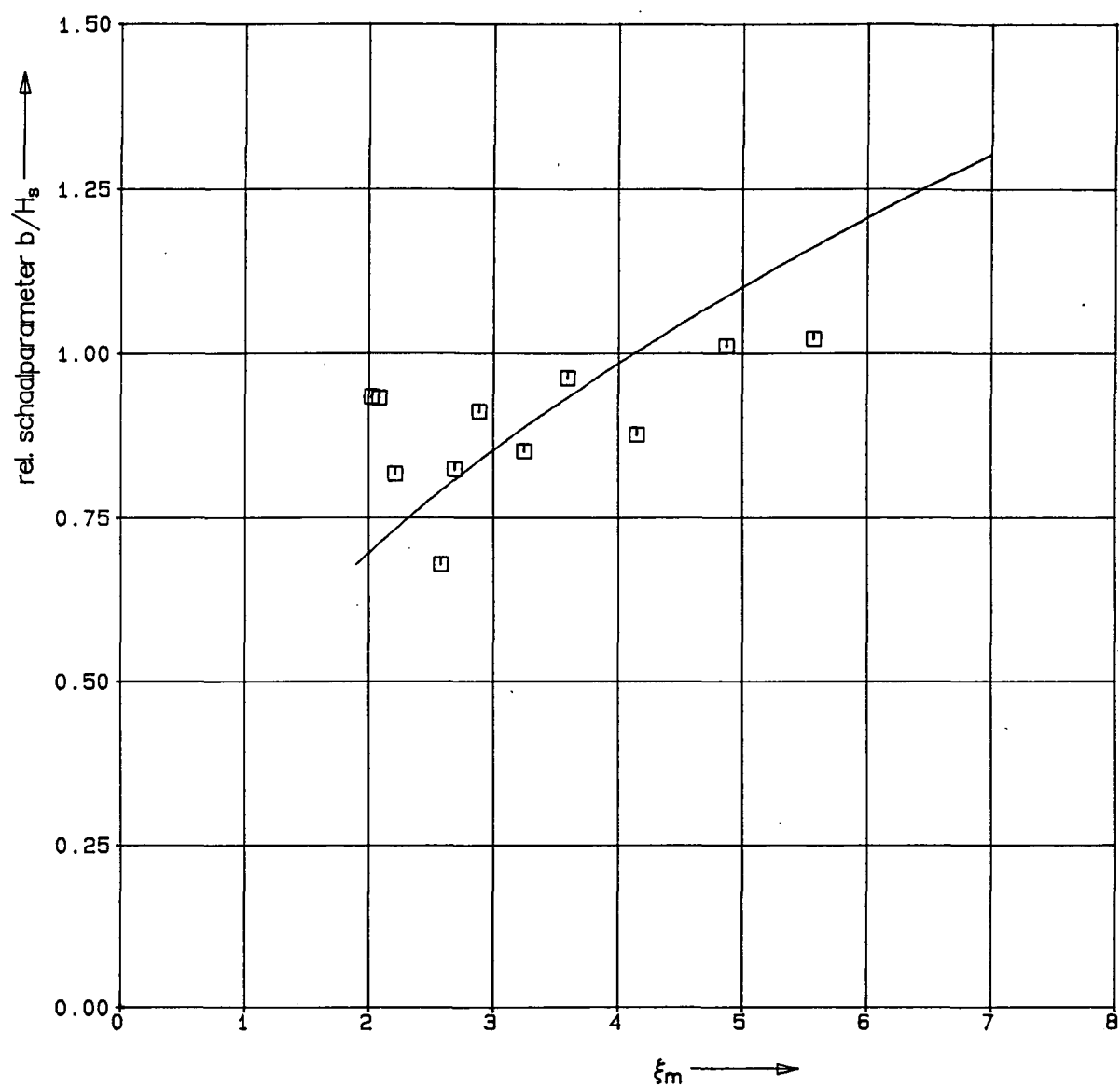


SCHAALPARAMETER, DOORLATENDE KERN, PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.26



□ $\cot \alpha = 2$

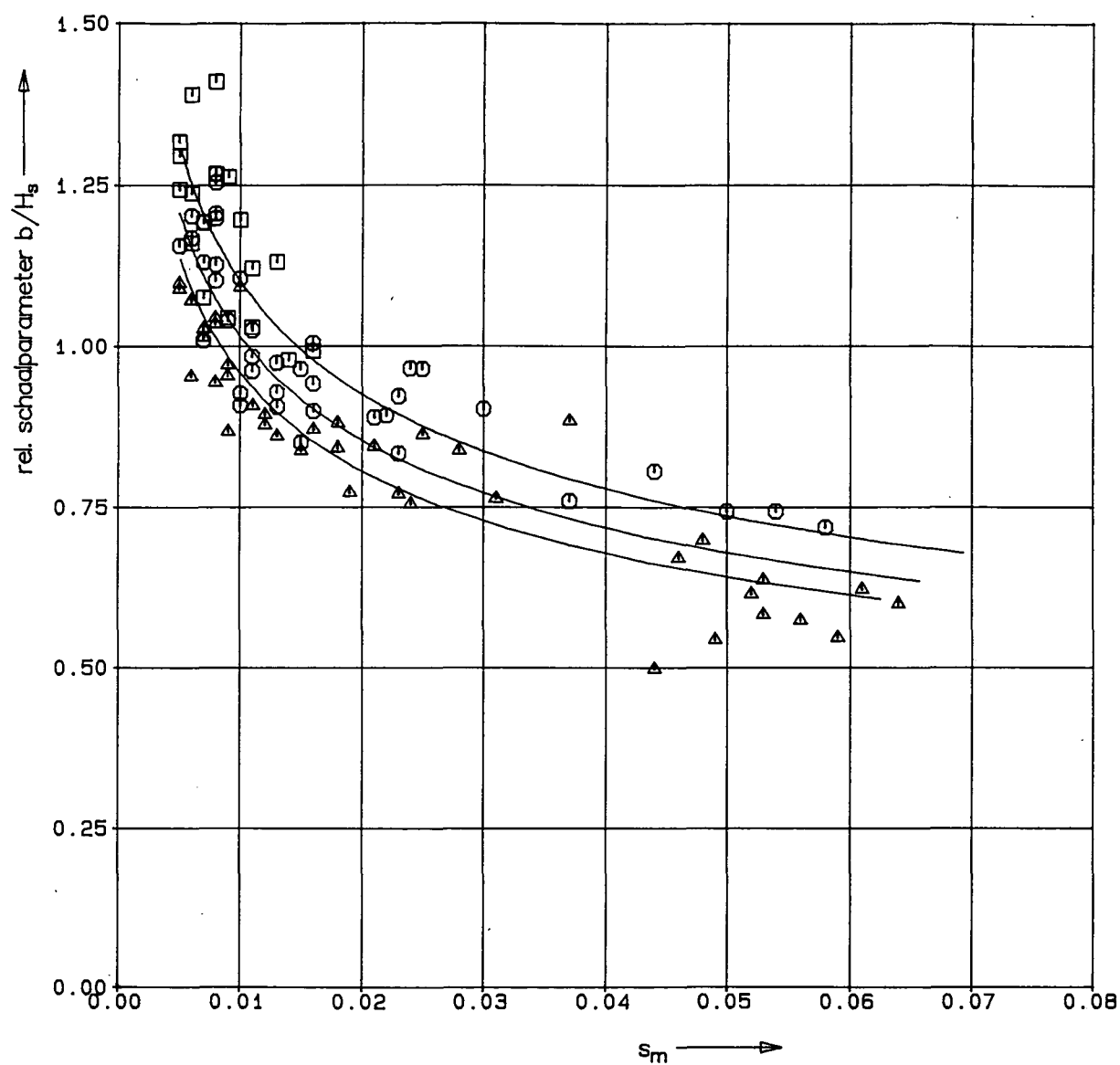
— relatie (6.19)

SCHAALPARAMETER, HOMOGENE KONSTRUKTIE, PM-SPEKTRUM

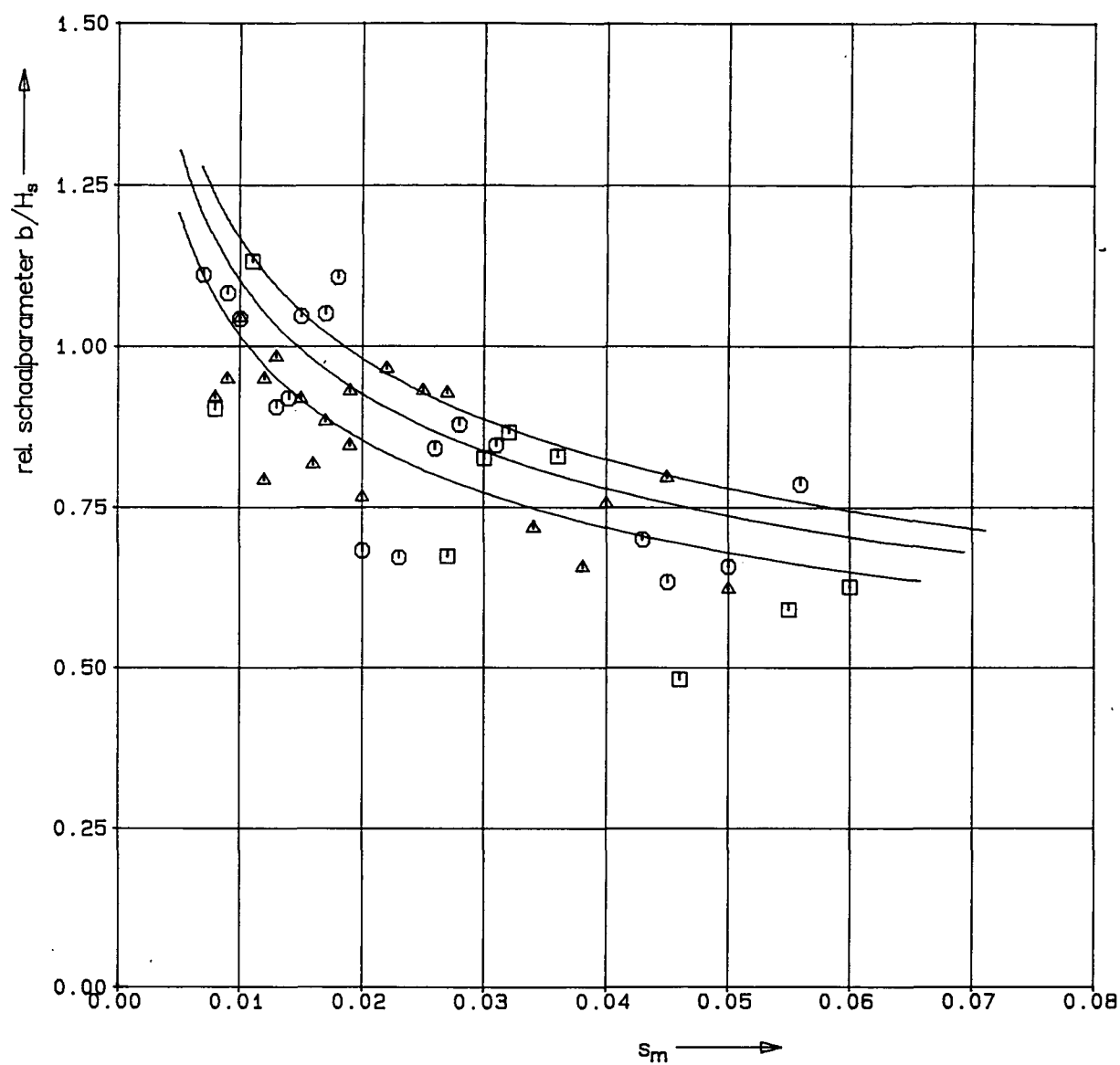
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

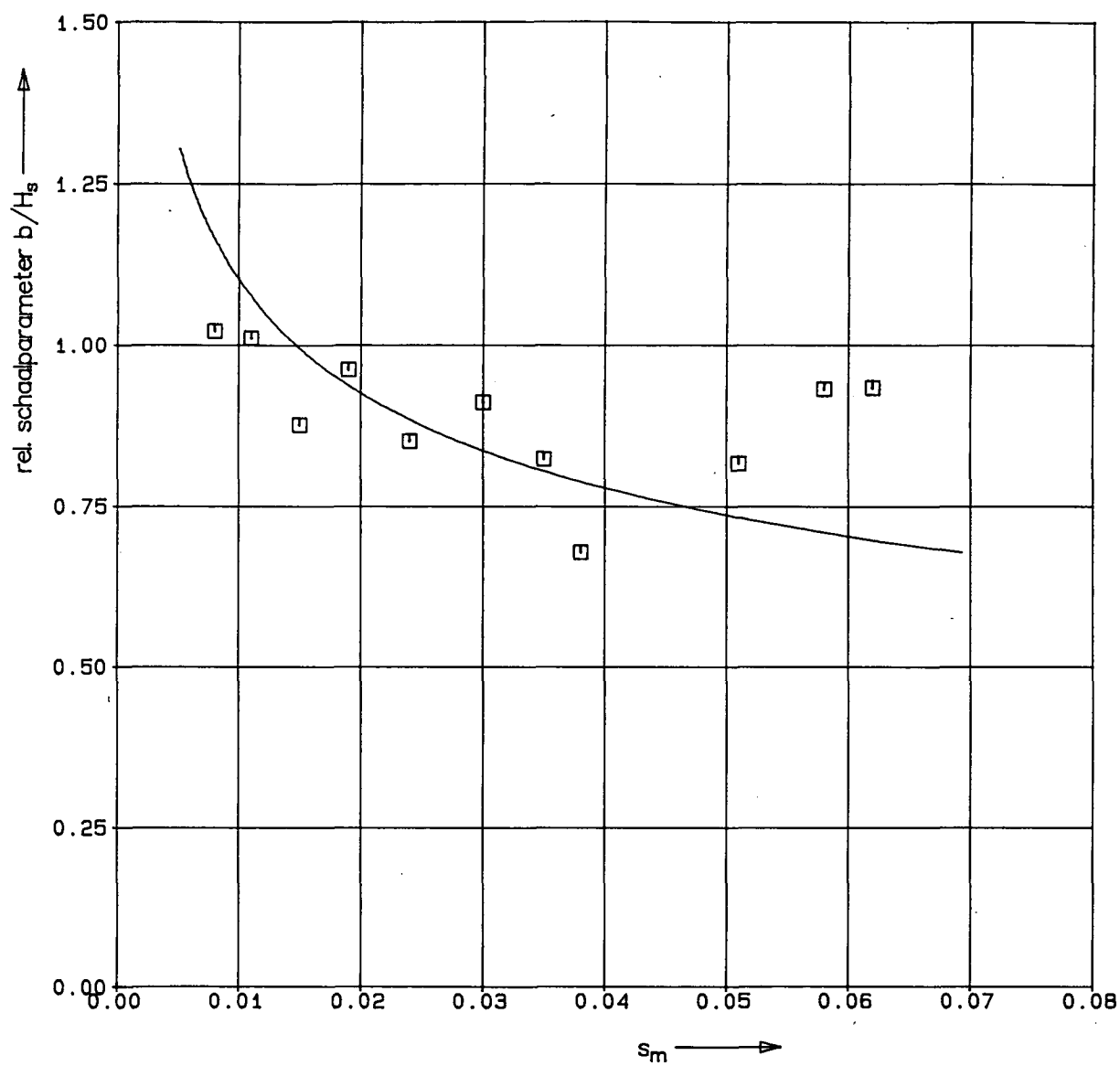
FIG. 6.27



$b/H_s - s_m$, ONDOORLATENDE KERN, PM-SPEKTRUM



$b/H_g - s_m$, DOORLATENDE KERN, PM-SPEKTRUM



□ $\cot \alpha = 2$

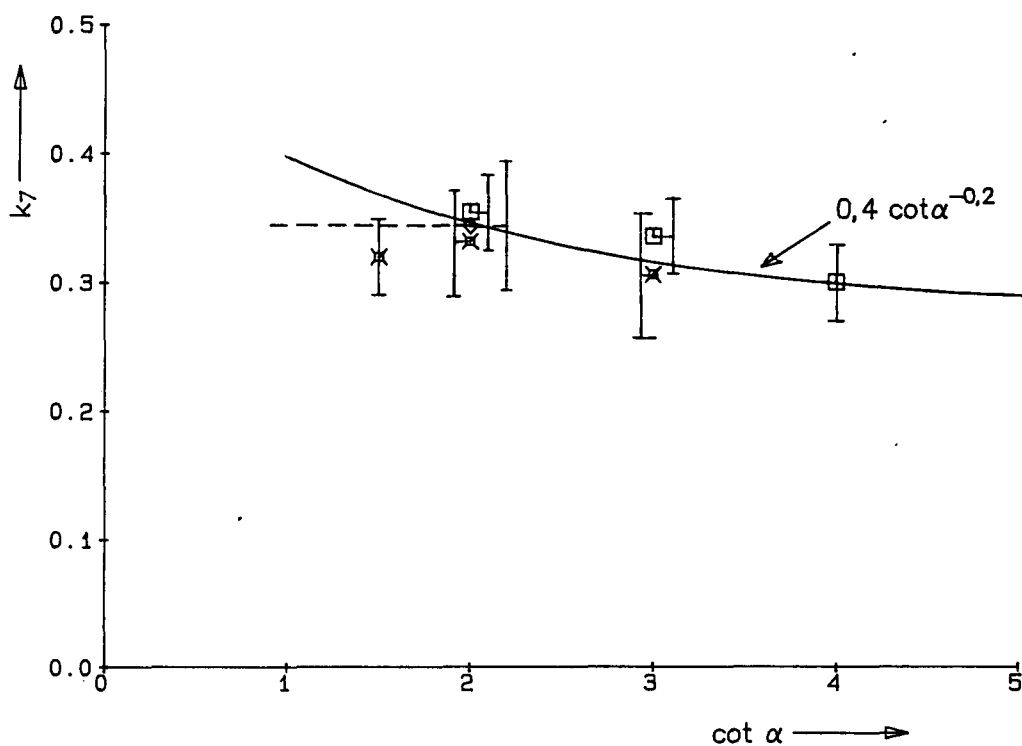
— relatie (6.19)

$b/H_s - s_m$, HOMOGENE KONSTRUKTIE, PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.30



s = standaardafwijking

$2s$

- ondoorlatende kern
- × doorlatende kern
- ◇ homogene constructie

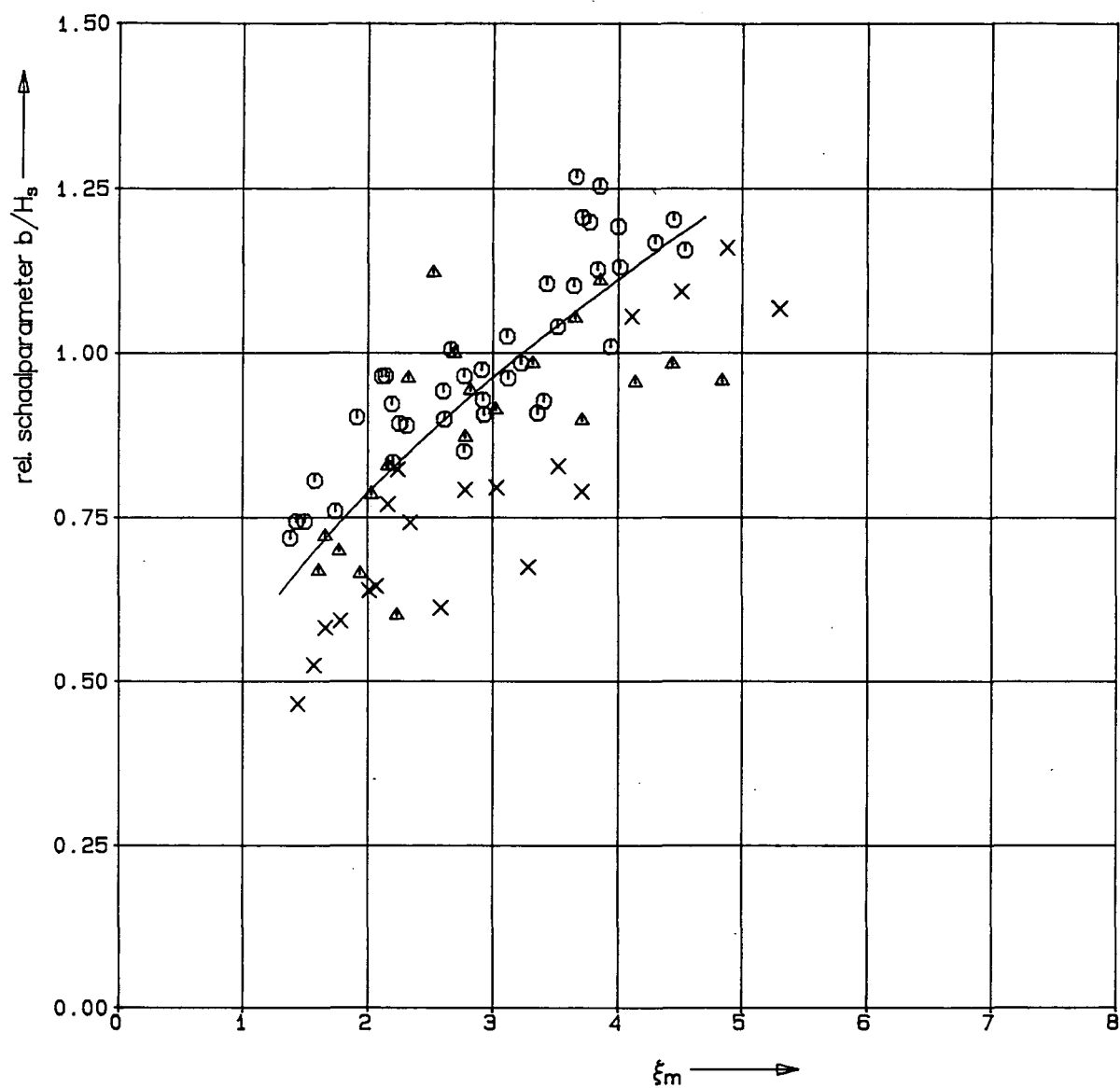
$$b/H_s = k_7 s_m^{-0.25}$$

KOEFFICIENT k_7 ALS FUNKTIE VAN $\cot \alpha$ EN P

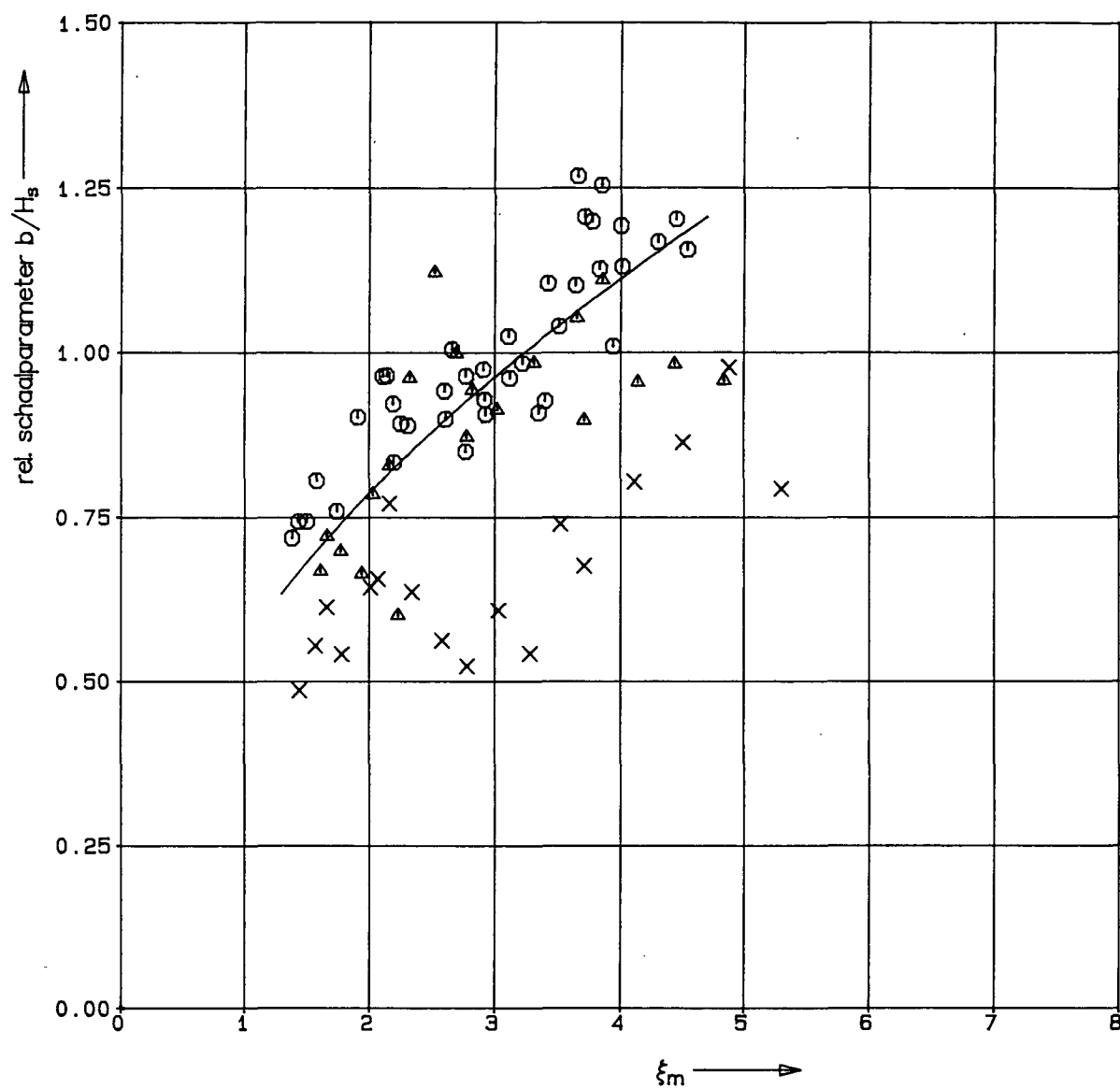
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.31



SCHAALPARAMETER, INVLOED SPEKTRUMVORM (SMAL SPEKTRUM :
 b GEBASEERD OP $Ru_{0,5} - Ru_{37}$)

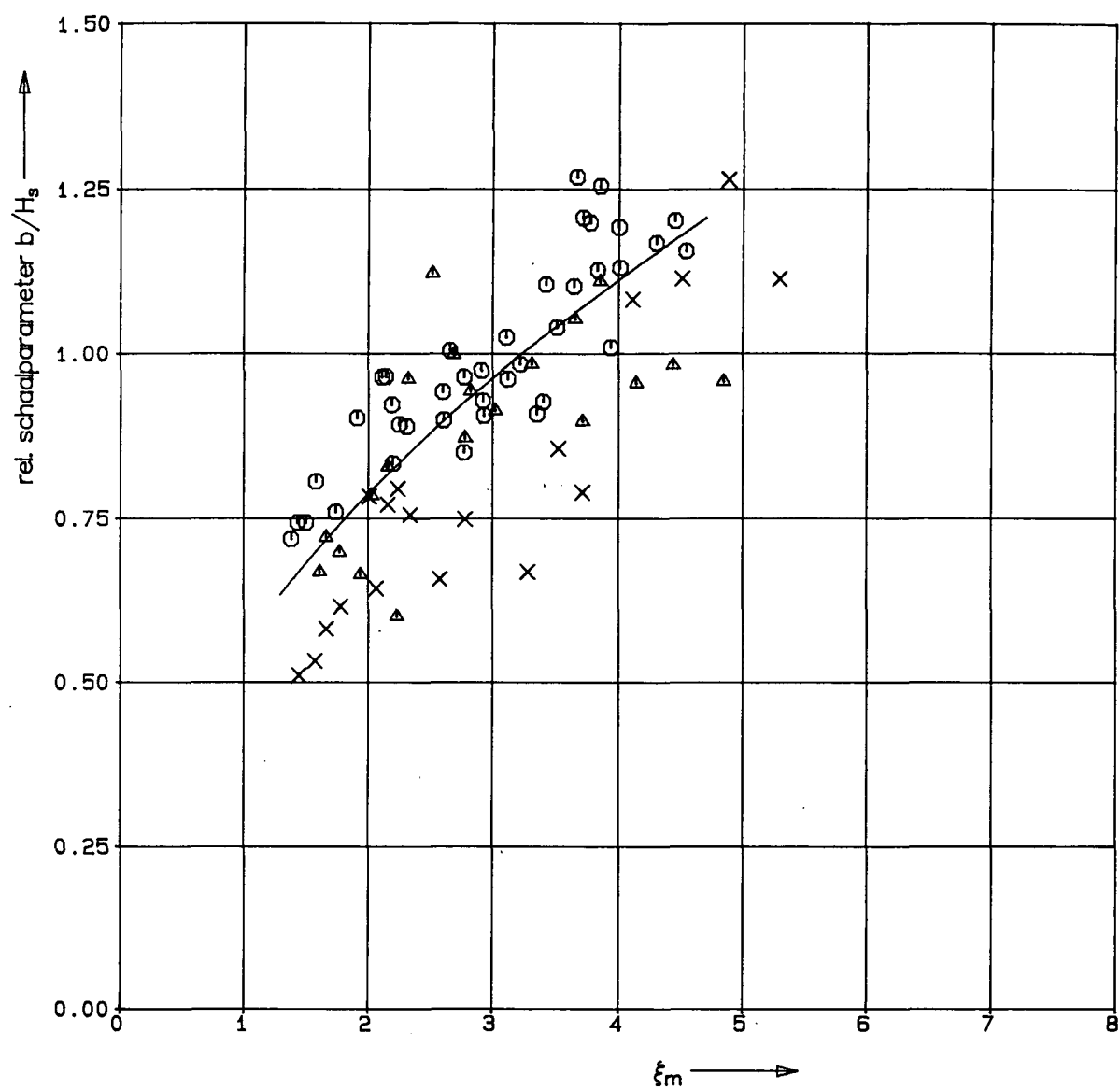


SCHAALPARAMETER, INVLOED SPEKTRUMVORM (SMAL SPEKTRUM :
 b GEBASEERD OP BOVENSTE TAK OPLOOPVERDELING)

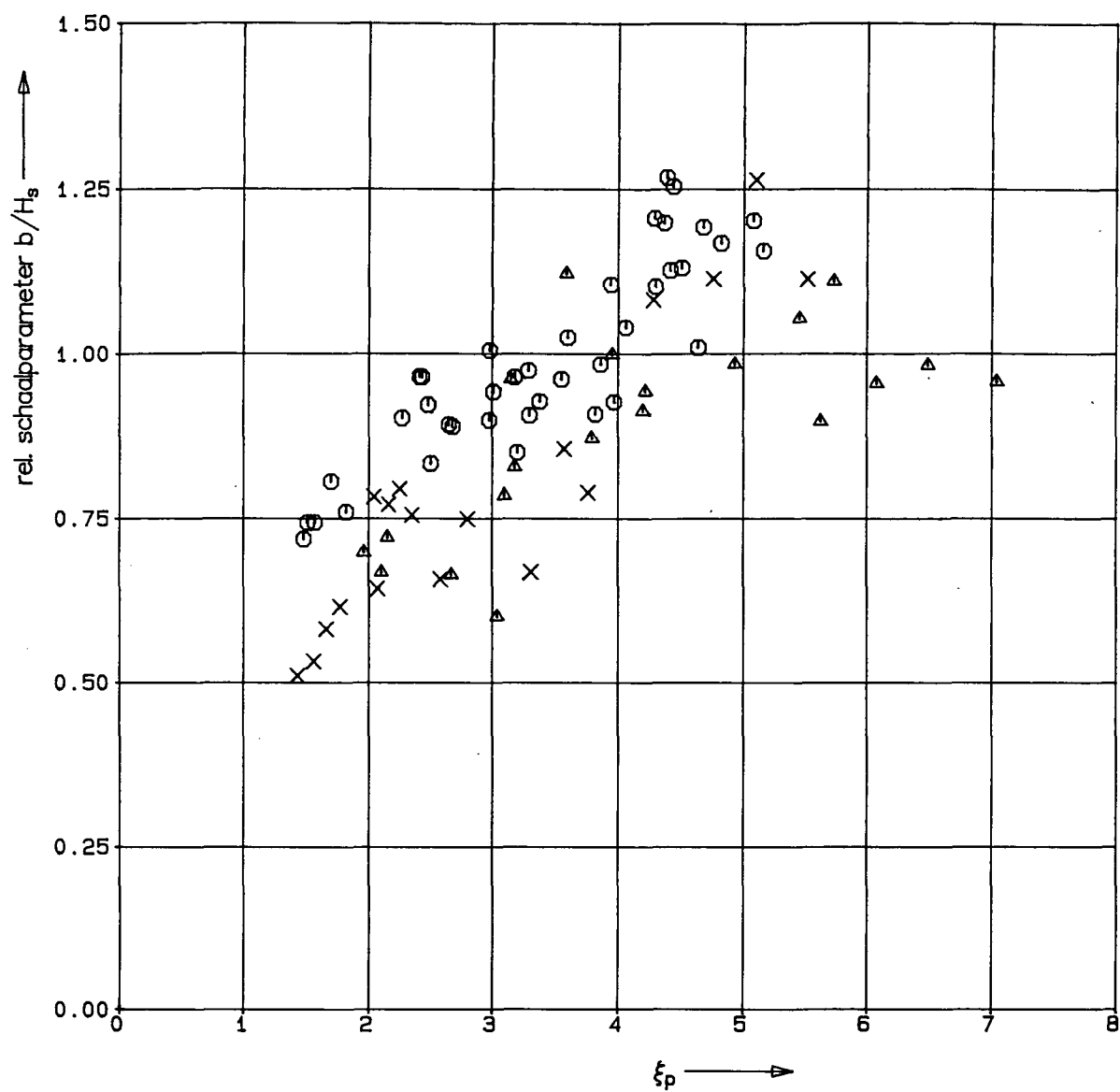
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.33

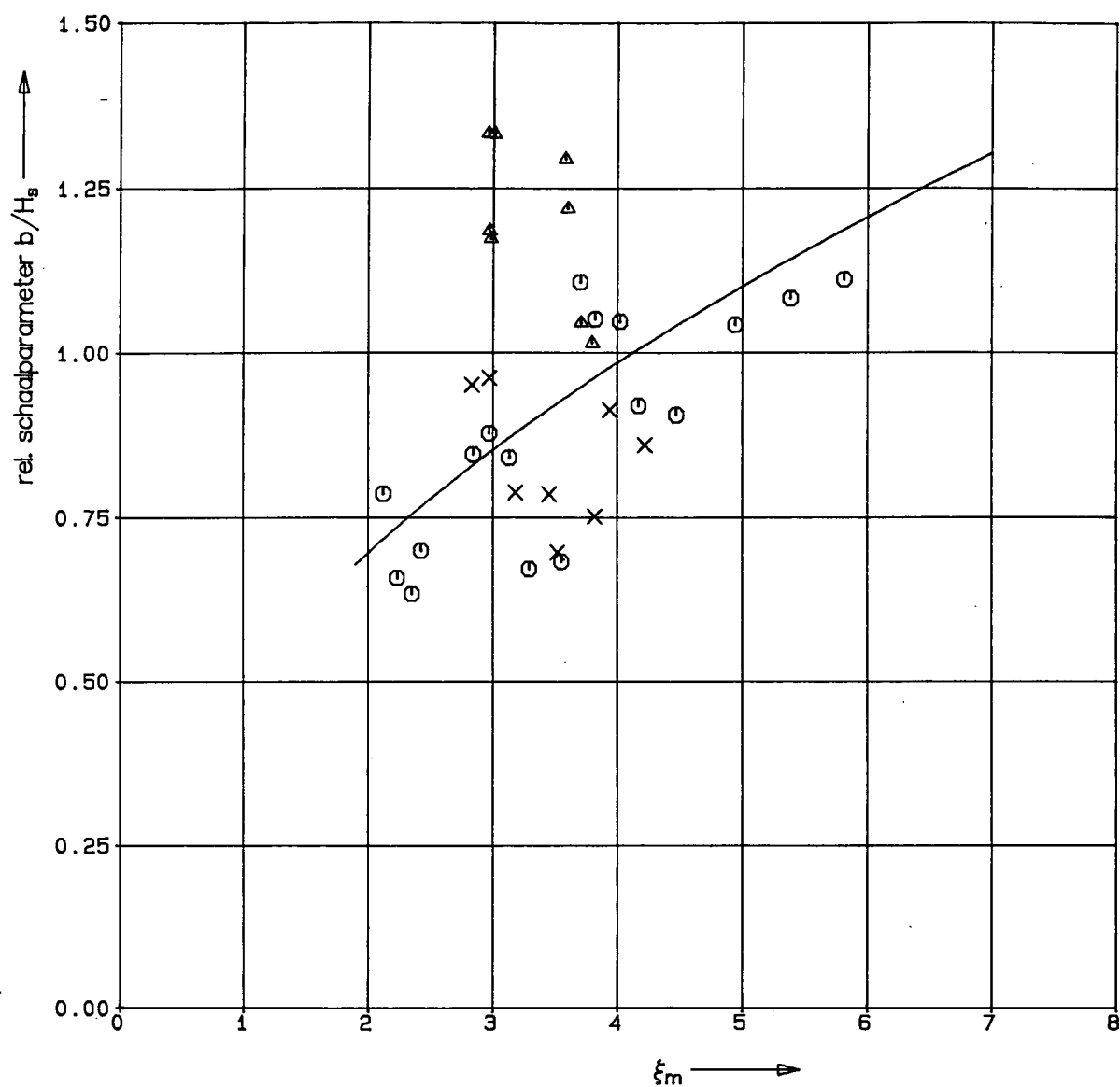


SCHAALPARAMETER, INVLOED SPEKTRUMVORM (SMAL SPEKTRUM :
 b GEBASEERD OP ONDERSTE TAK OPLOOPVERDELING)



- △ breed spektrum
- PM-spektrum
- × smal spektrum (b gebaseerd op onderste tak oploopverdeling)

$b/H_s - \xi_p$; INVLOED SPEKTRUMVORM



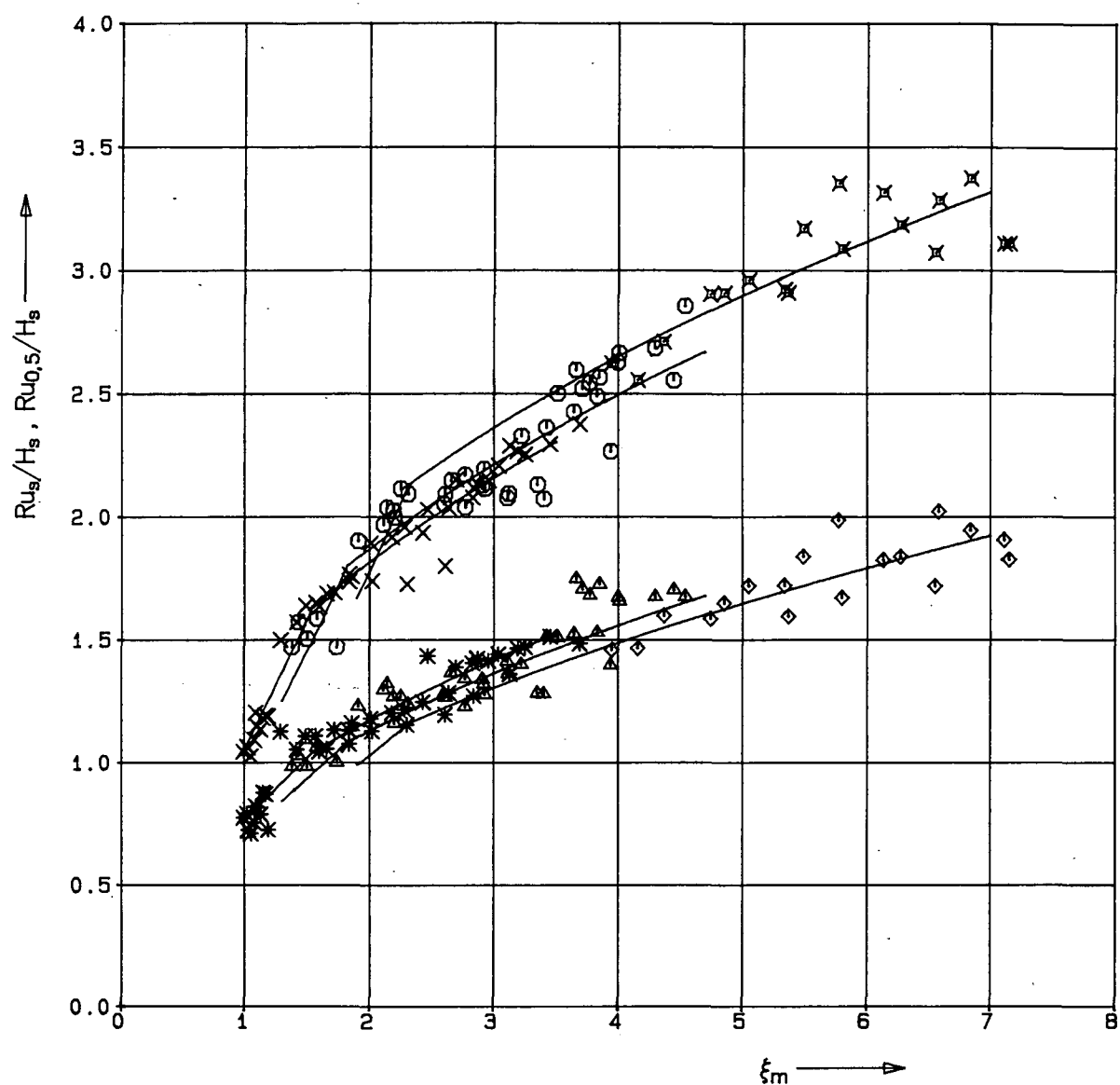
Opm. : doorlatende kern , $\cot \alpha = 2$, H_s voor de konstruktie

SCHAALPARAMETER , INVLOED VOORLAND

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.36



$Ru_{0.5}/H_s$: x $\cot \alpha = 2$

o $\cot \alpha = 3$

x $\cot \alpha = 4$

Ru_s/H_s : ♦ $\cot \alpha = 2$

▲ $\cot \alpha = 3$

* $\cot \alpha = 4$

— oplooprelaties m.b.v. benaderde oploopverdeling

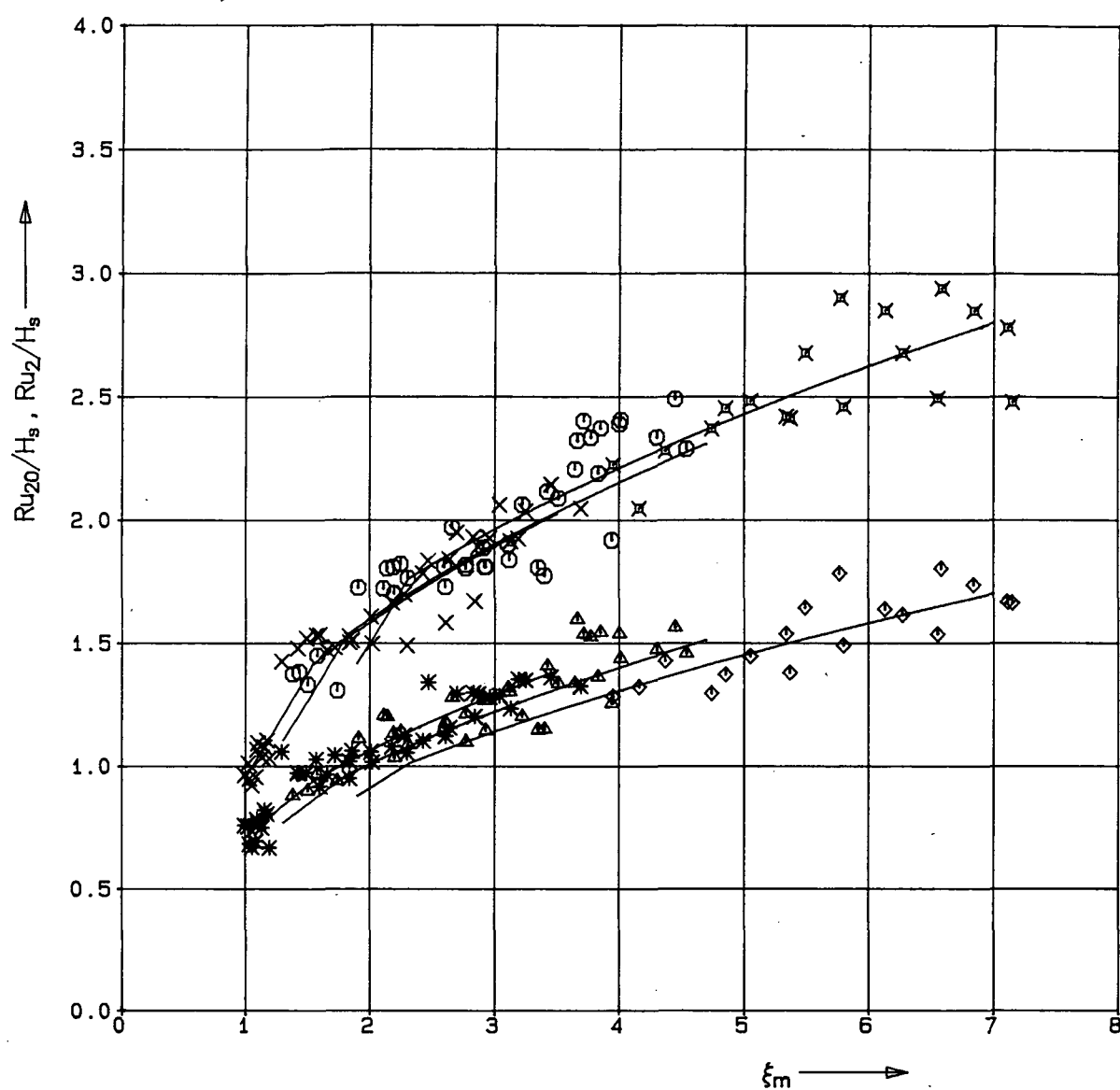
$Ru_p/H_s - \xi_m$, VERGELIJKING METINGEN MET RELATIES

OPLOOPVERDELING; ONDOORLATENDE KERN, PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.37



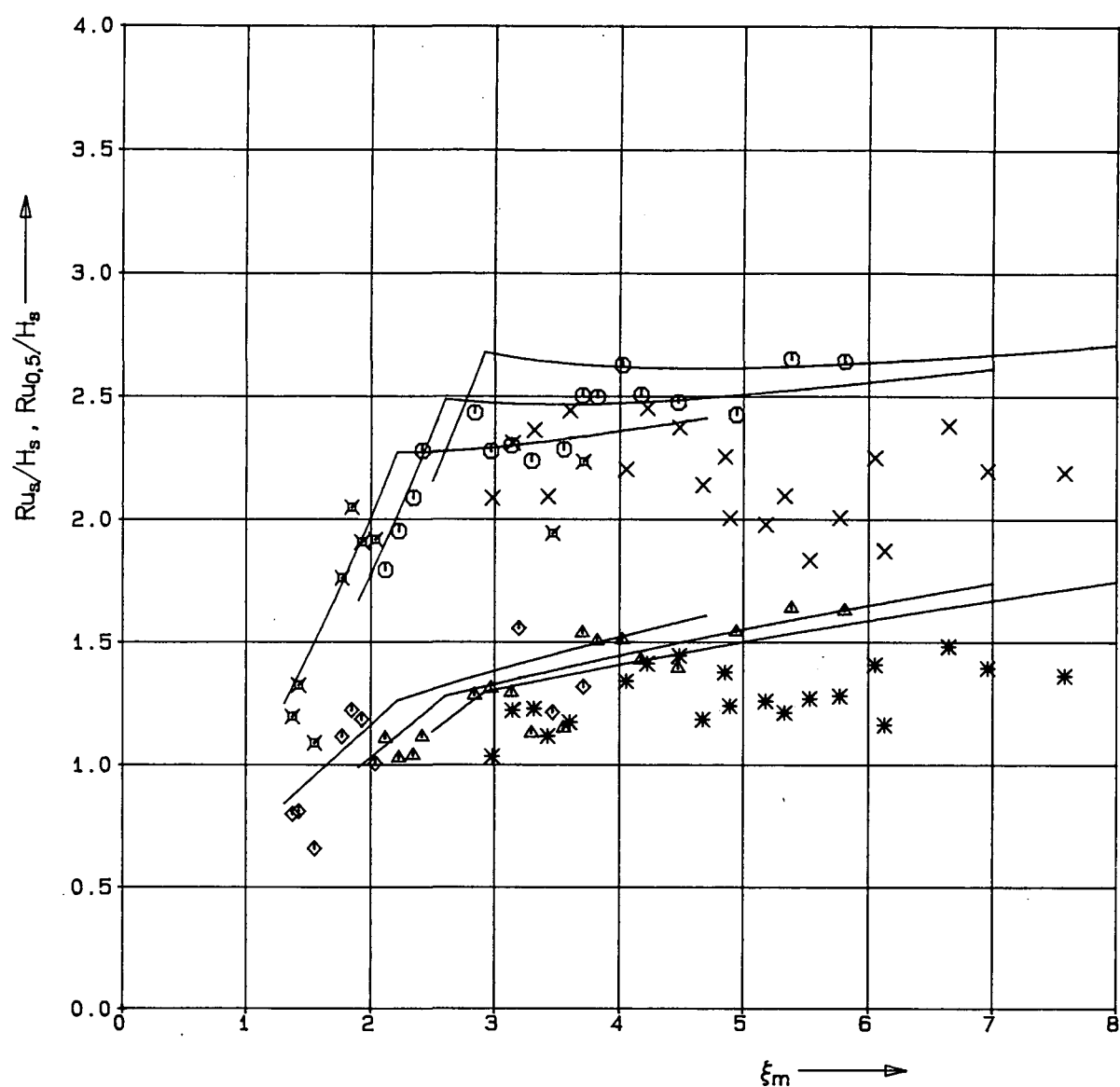
$Ru_p/H_s - \xi_m$, VERGELIJKING METINGEN MET RELATIES

OPOOPVERDELING ; ONDOORLATENDE KERN , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.38



$Ru_{0.5}/H_s$: x $\cot \alpha = 1,5$

o $\cot \alpha = 2$

x $\cot \alpha = 3$

Ru_s/H_s : * $\cot \alpha = 1,5$

Δ $\cot \alpha = 2$

◇ $\cot \alpha = 3$

—— oplooprelaties m.b.v. benaderde oploopverdeling

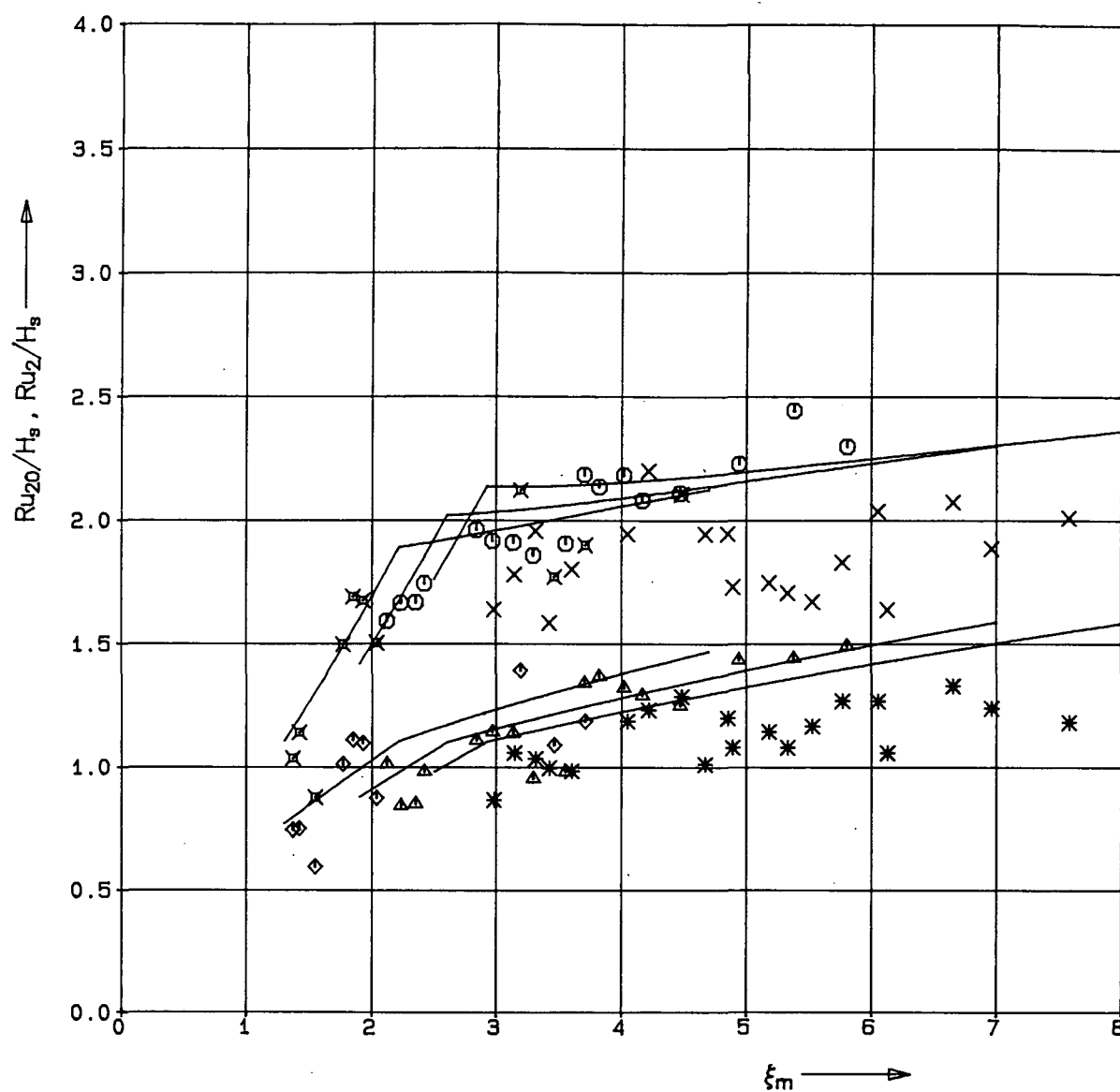
$Ru_p/H_s - \xi_m$, VERGELIJKING METINGEN MET RELATIES

OPLOOPVERDELING ; DOORLATENDE KERN , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.39



Ru_2/H_s : $\times$ $\cot \alpha = 1,5$

Ru_{20}/H_s : $\ast$ $\cot \alpha = 1,5$

$\circ$ $\cot \alpha = 2$

$\triangle$ $\cot \alpha = 2$

$\times$ $\cot \alpha = 3$

$\diamond$ $\cot \alpha = 3$

— ooplooprelaties m.b.v. benaderde ooploopverdeling

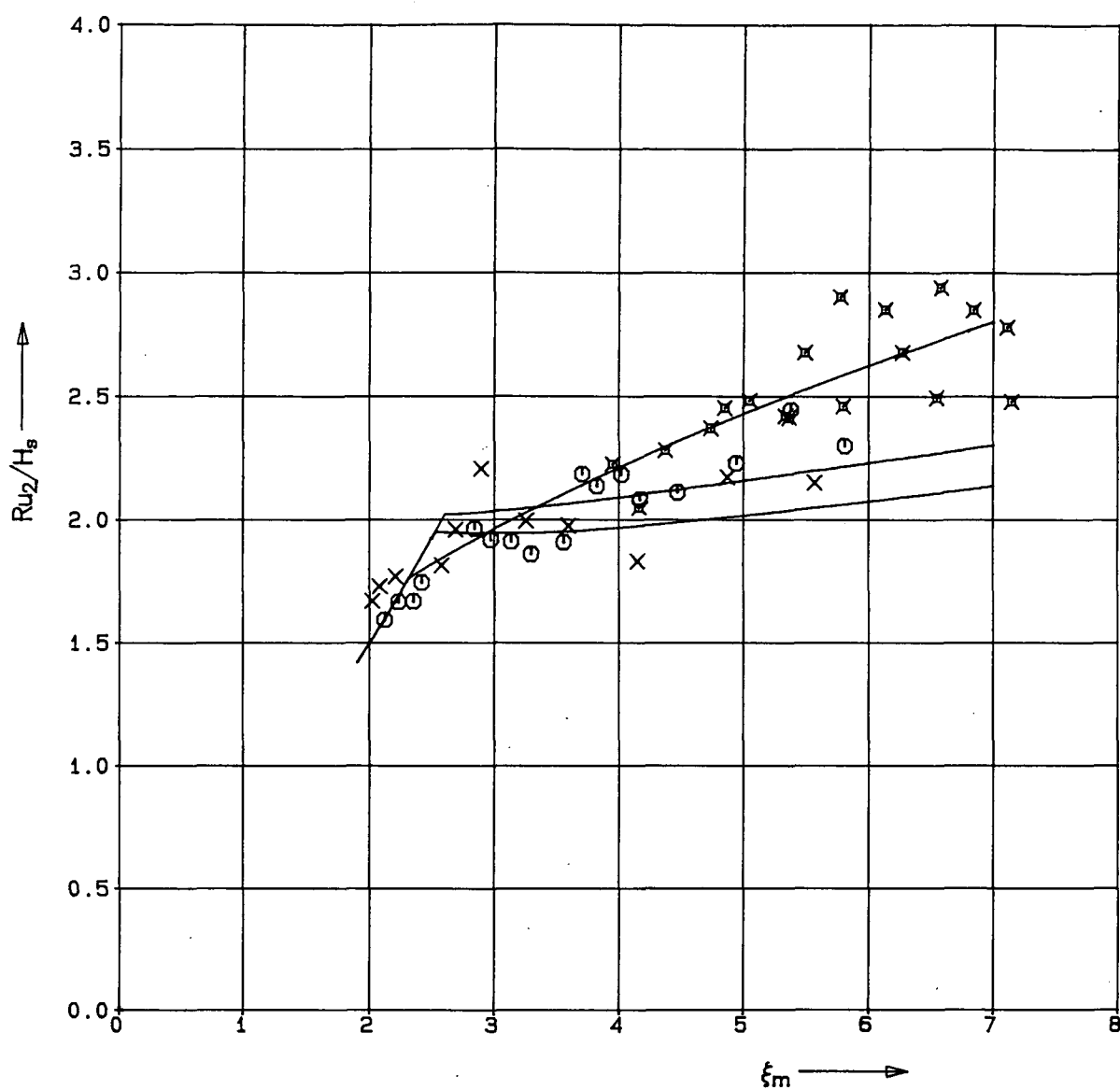
$Ru_p/H_s - \xi_m$, VERGELIJKING METINGEN MET RELATIES

OOPLOOPVERDELING ; DOORLATENDE KERN , PM-SPEKTRUM

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.40



✕ ondoorlatende kern

⊙ doorlatende kern

× homogene constructie

— 2%-oplooprelaties m.b.v. benaderde oploopverdeling

Opm. : $\cot \alpha = 2$, PM-spektrum

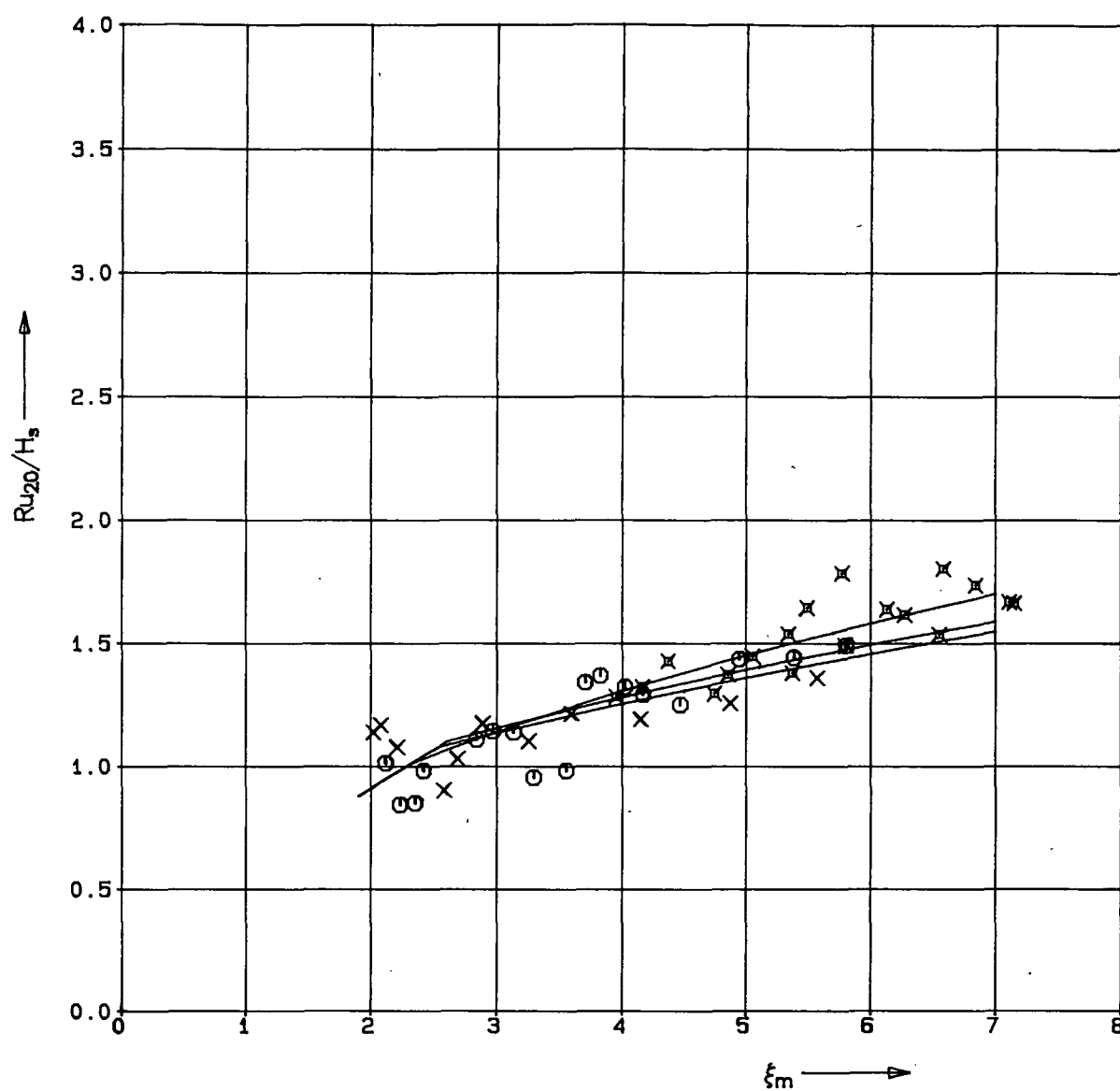
$Ru_2/H_s - \xi_m$, VERGELIJKING METINGEN MET RELATIES

OPLOOPVERDELING ; VARIERENDE DOORLATENDHEID

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.41



x ondoorlatende kern

o doorlatende kern

x homogene constructie

— 20%-oplooprelaties m.b.v. benaderde oploopverdeling

Opm. : $\cot \alpha = 2$, PM-spektrum

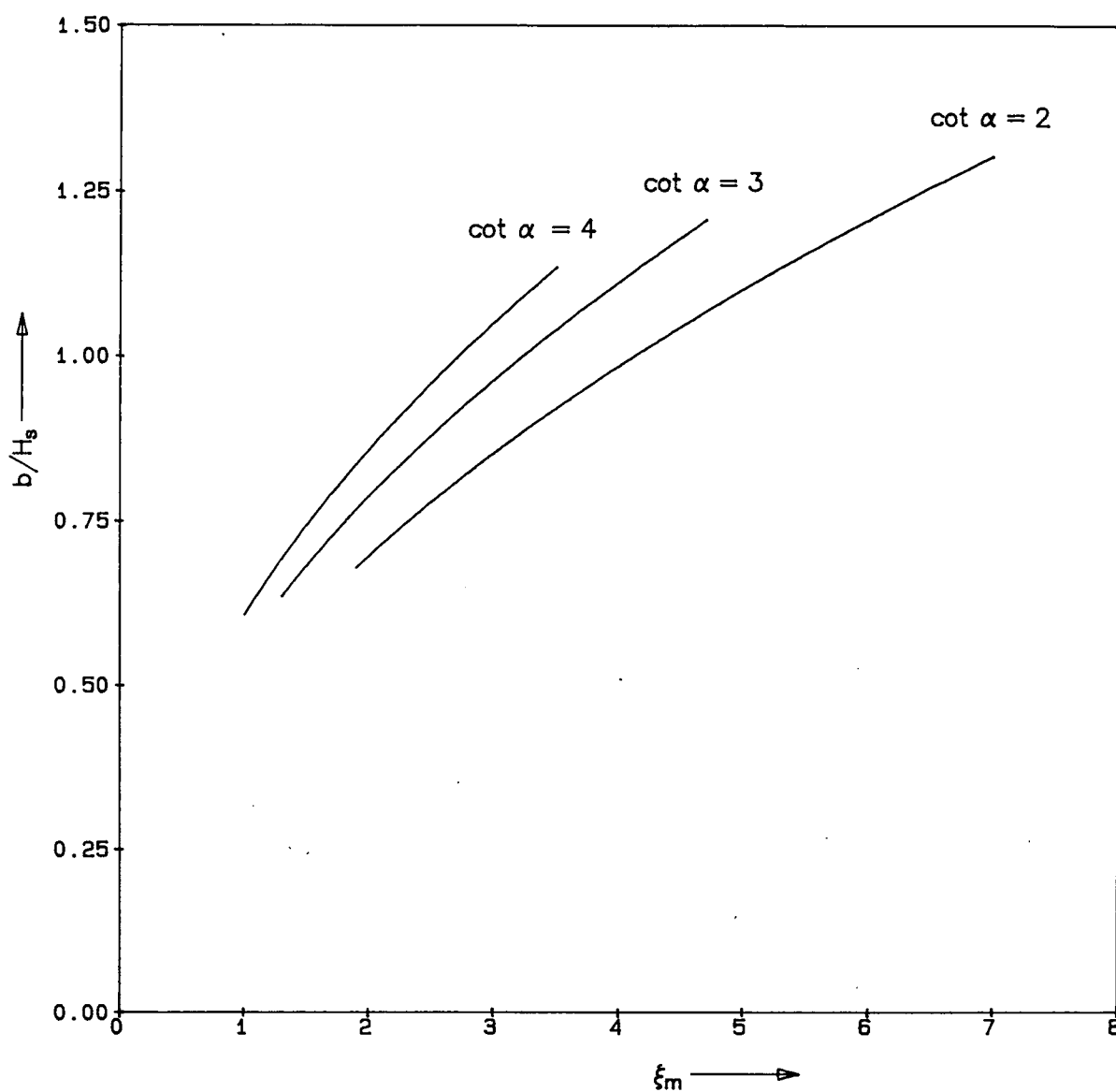
$Ru_{20}/H_s - \xi_m$, VERGELIJKING METINGEN MET RELATIES

OPLOOPVERDELING ; VARIERENDE DOORLATENDHEID

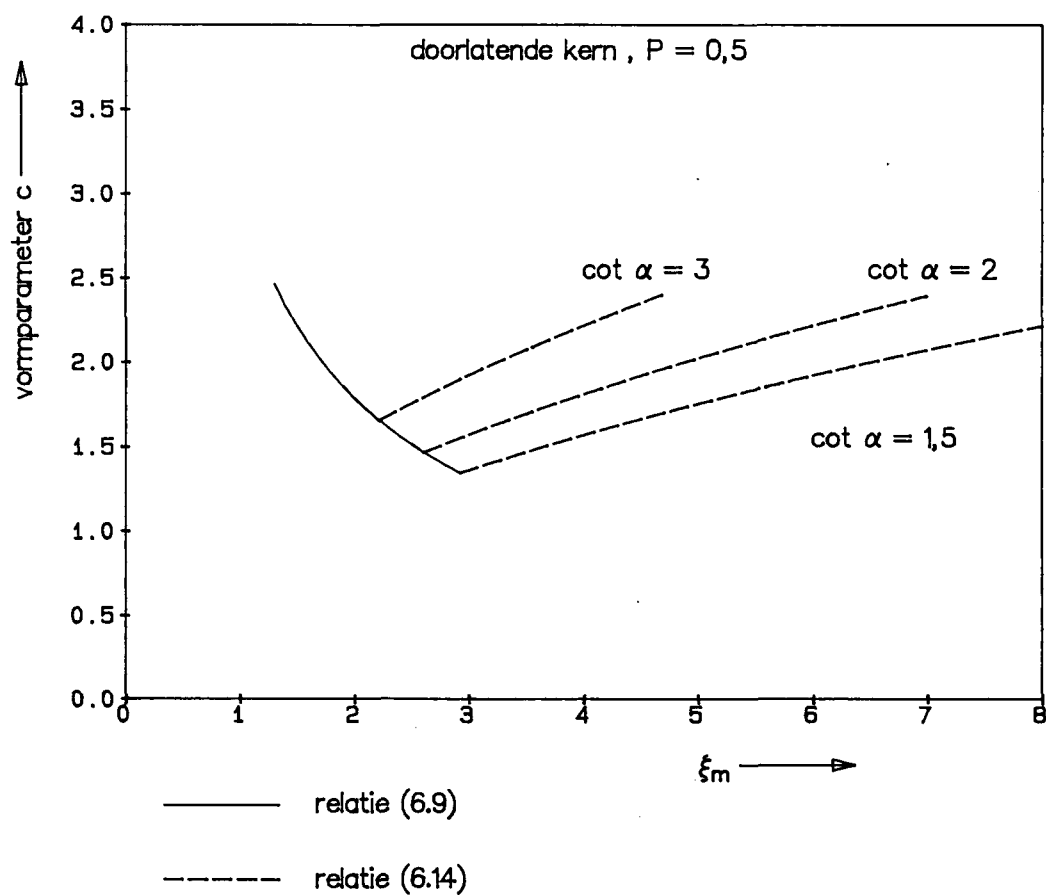
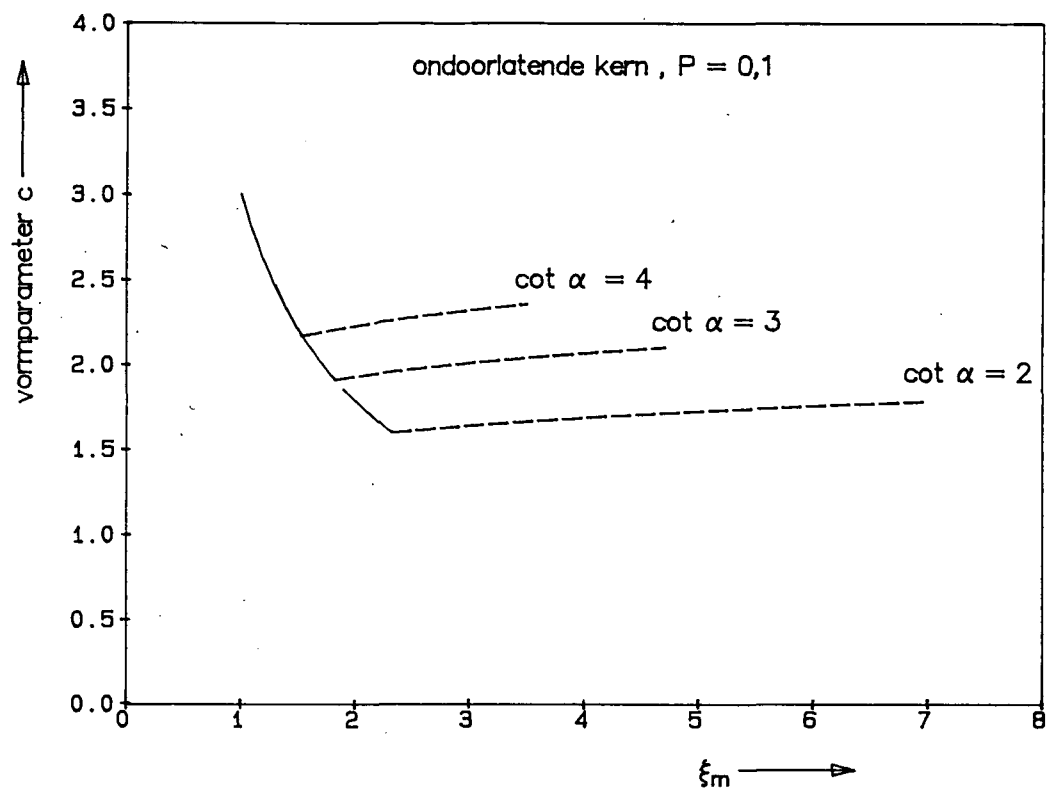
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.42



relatie (6.19)



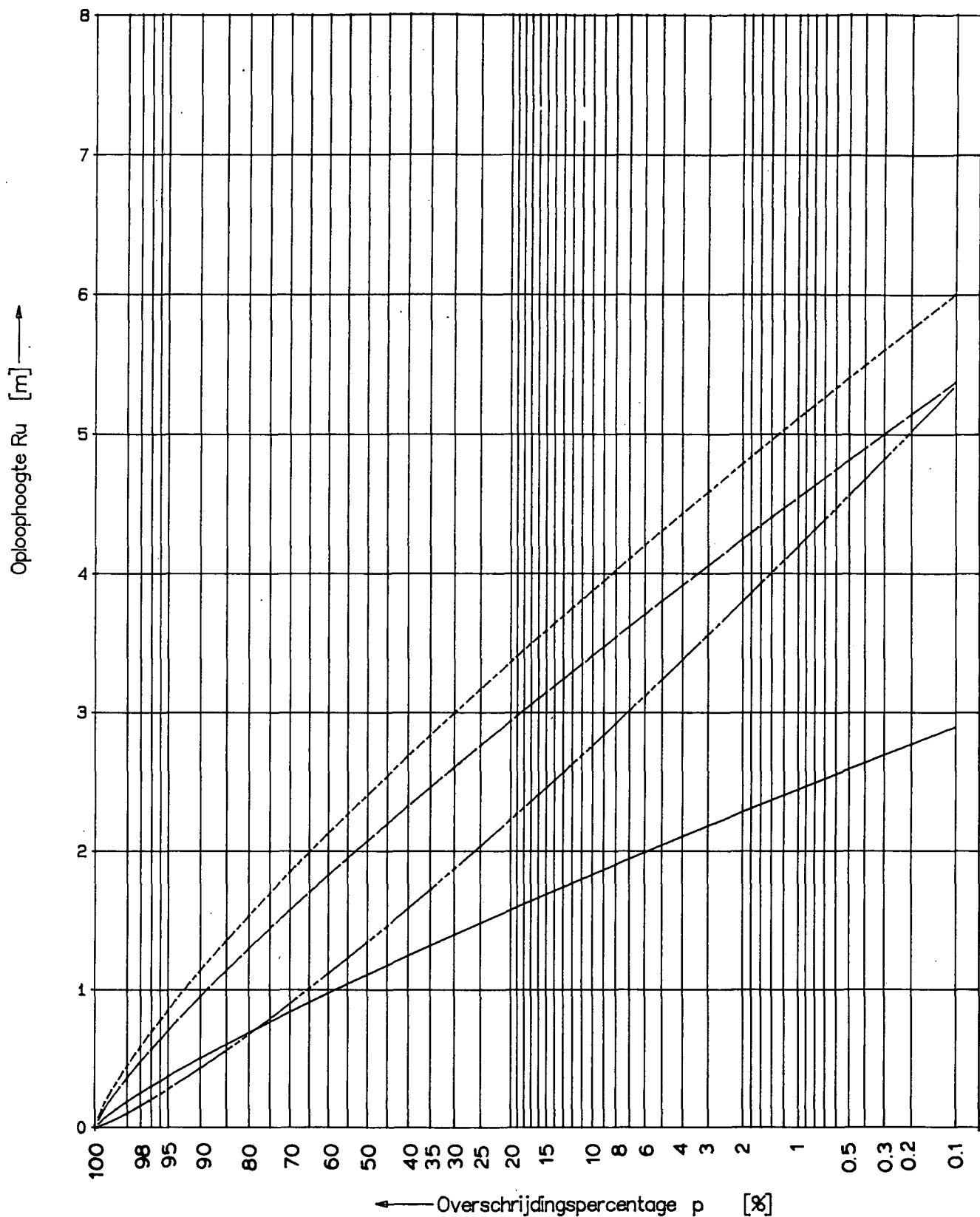
RELATIES VORMPARAMETER

INVLOED TALUDHELLING EN DOORLATENDHEID

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.44

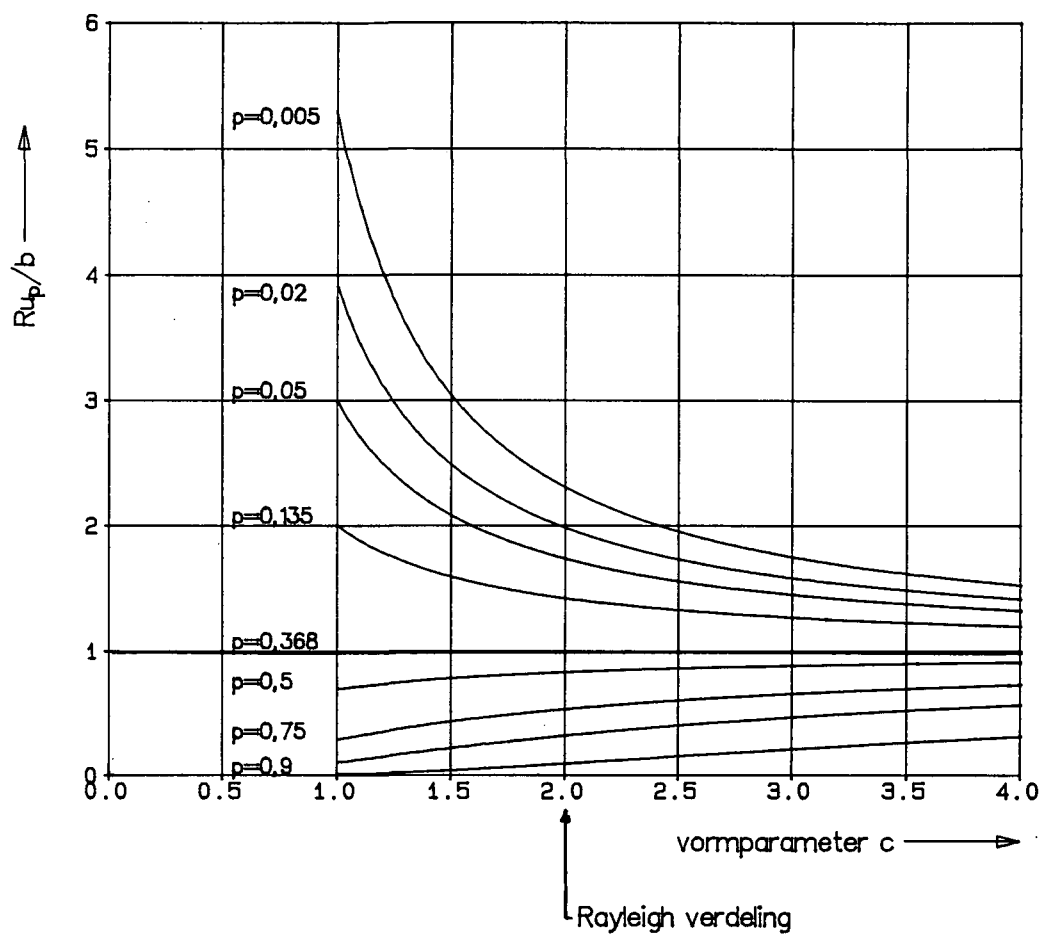


BENADERDE OPLOOPVERDELINGEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1983

FIG. 6.45



Weibull : $Ru_p/b = [-\ln p]^{1/c}$

• locatie 'De Voorst'

• hoofdkantoor

hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl

