

waterloopkundig laboratorium

havenmond Hoek van Holland

grindstrand zuidwal

verslag modelonderzoek

BIBLIOTHEEK
Dienst Wieg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
Tel. 015-690111

M 1063 - deel I

juni 1973

Bijvoegsel bij W.L. rapport: HAVENMOND HOEK VAN HOLLAND GRINDSTRAND
ZUIDWAL M 1063-I.

Ten behoeve van de uiteindelijke keuze van de uitvoeringsvorm voor de eerste fase van de Zuidwal zijn een aantal variant-oplossingen uitgewerkt. Behalve een variant-oplossing in zeegrind, waarvan de resultaten in dit rapport gegeven zijn, is ondermeer ook de mogelijkheid van een uit losgestorte breuksteen opgebouwde taludbekleding onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zijn gerapporteerd in het modelverslag M 856: Nieuwe Havenmond Hoek van Holland; Taludbekleding Zuidwal (bijvoegsel W-70.158). Voor de algemene problematiek met betrekking tot het ontwerp van de konstruktie voor de Zuidwal wordt verwezen naar nota W-71.127.

Het onderzoek heeft zich gericht op het vaststellen van het evenwichtsprofiel van een taludverdediging bestaande uit zeegrind bij loodrechte regelmatige golfaanval. Met behulp van deze gegevens is een schatting gemaakt van de profielvariaties voor de ter plaatse van de Zuidwal geldende kondities wat betreft golfhoogte, golfperiode en waterstand. Het is mogelijk met de wisselende waterstanden rekening te houden doordat uit het onderzoek volgt dat het evenwichtsprofiel bij een verandering van de waterstand meeschuift. Op deze manier wordt een omhullende verkregen, behorend bij de ter plaatse geldende kondities en voor loodrechte golfaanval, waarbinnen de maximale verticale variaties van het profiel liggen.

Bij een taludverdediging van zeegrind past de vorm van het profiel zich aan tot het bij de optredende golfomstandigheden en waterstand behorende evenwichtsprofiel is bereikt. Het evenwichtsprofiel bij een bepaalde konditie bevindt zich echter in een dynamisch evenwicht. Dit betekent dat er wel beweging van materiaal optreedt maar dat gemiddeld over de tijd geen transport optreedt. Een mogelijk langstransport ten gevolge van schuininvallende golven wordt hier buiten beschouwing gelaten.

Binnen de hiervoor genoemde omhullende zal het profiel zich dus vormen door accumulatie van grind op de ene plaats en erosie op een andere plaats. De laagdikte van het zeegrind zal zo beschouwd tenminste gelijk moeten zijn aan de helft van de verticale variatie ter plaatse.

Alhoewel bij het onderzoek, zoals uit hoofdstuk 1.2 blijkt, een groot aantal

variabelen zijn onderzocht heeft het onderzoek als geheel toch een beperkt systematisch karakter. Aangezien het onderzoek in de eerste plaats op relatief korte termijn moest aangeven of het al dan niet mogelijk was zeegrind voor de taludbekleding van de Zuidwal te gebruiken is de variatie van verschillende parameters beperkt gebleven. Met name de beperking in de variatie van de golfkarakteristieken (golfhoogte en golfperiode) en van het materiaal (korrel-diameter) heeft tot gevolg dat het niet mogelijk is een algemeen verband tussen de vorm van het evenwichtsprofiel, de golfkarakteristieken en het materiaal vast te stellen. Wel zijn met behulp van de resultaten van het onderzoek een aantal empirische relaties tussen een aantal profielgrootheden en golfparameters bepaald.

De gemiddelde helling van een taludverdediging van grofkorrelige materialen zoals zeegrind is aanmerkelijk steiler dan van een verdediging in zand. De totaal te verwerken hoeveelheid materiaal in een dwarsprofiel, bij eenzelfde hoogte, is hierdoor geringer. Bovendien kan algemeen gesteld worden dat de stabiliteit van een korrelig materiaal toeneemt naarmate de diameter groter is. Ook een toename van de dichtheid (ρ) van het materiaal levert een positieve bijdrage m.b.t. de stabiliteit van het materiaal. Dit kan er toe leiden dat in bepaalde gevallen een taludverdediging met een grofkorrelig materiaal economisch aantrekkelijker is dan een verdediging met zand. Het terbeschikking hebben van een algemeen verband tussen de golfkarakteristieken, de materiaaleigenschappen en de vorm van het evenwichtsprofiel is hierbij uiteraard erg belangrijk. Om dit te verwezenlijken is het onderzoek naar het gedrag van grindstranden later in opdracht van de Deltadienst voortgezet. De resultaten van dit onderzoek zijn gerapporteerd in M 1216: Grindstranden; Evenwichtsprofiel bij loodrechte regelmatige golfaanval. (bijvoegsel W-73.047).

De in hoofdstuk 1.3 van het rapport gegeven conclusies met betrekking tot de resultaten van het uitgevoerde onderzoek geven dezerzijds geen aanleiding tot opmerkingen.

's-Gravenhage, 9 juni 1975,



(Ir. W.P.A. Broeders)

9.0-293

havenmond Hoek van Holland

grindstrand zuidwal

verslag modelonderzoek

13 SEP. 1991
BIBLIOTHEEK
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
Tel. 015-699111

M 1063 deel I

juni 1973

INHOUD

blz.

<u>1</u>	<u>Inleiding</u>	
1.1	Opdracht.....	1
1.2	Overzicht van het onderzoek.....	2
1.3	Conclusies.....	3
<u>2</u>	<u>Modelonderzoek</u>	
2.1	Modelschalen	4
2.2	Beschrijving van het model.....	6
2.3	Meetmethoden	7
<u>3</u>	<u>Bepaling schaalinvloeden in het model</u>	
3.1	Invloed van de schaalfactor	7
3.2	Invloed van de ligging ten opzichte van de golfopwekker	9
3.3	Invloed van de waterdiepte voor het model	10
3.4	Invloed van de breedte van het model	11
<u>4</u>	<u>Constructieve beïnvloeding van het evenwichtsprofiel</u>	
4.1	Invloed van het uitgangsprofiel	12
4.2	Invloed van de doorlatendheid.....	13
4.3	Invloed van de korrelsamenstelling	14
<u>5</u>	<u>Hydro-dynamische beïnvloeding van het evenwichtsprofiel</u>	
5.1	Invloed van de getijbeweging	14
5.2	Invloed van de golfperiode.....	15
<u>6</u>	<u>Transportmechanismen</u>	
6.1	Vertikaal materiaaltransport	16
6.2	Uitzeving	17
<u>7</u>	<u>Samengestelde constructies</u>	
7.1	Voorlopig ontwerp Zuidwal.....	17
7.2	Invloed van de aanwezigheid van de vooroever	19

INHOUD (vervolg)

8	<u>Karakterisering van het evenwichtsprofiel</u>	
8.1	Inleiding	20
8.2	Kenmerkende profielgrootheden	21
8.3	Kenmerkende golfgrootheden	23
8.4	Evenwichtsdiepte zeewaarts van de brekerzone	23
8.5	Hoogte van de golfoploop boven stilwaterniveau	24
8.6	Diepte van de berm of "bar" beneden het stilwaterniveau ..	26
8.7	Afstand van de brekerlijn tot het punt van maximale golfoploophoogte.....	26
8.8	Helling van het evenwichtsprofiel op de waterlijn	27

Tabel I Overzicht uitgevoerde proeven

Tabel II Overzicht uitgevoerde proeven Zuidwal

Literatuur

FIGUREN

1	Situatie Zuidwal
2	Overzicht modelopstelling
3	Korrelverdelingen
4	"Roundness" en "sphericity" van de gebruikte materialen
5	Voorbeeld driedimensionaal effect
6 ... 8	Invloed schaal op evenwichtsprofiel
9 ... 11	Invloed liggen ten opzichte van golfopwekker
12, 13	Invloed waterdiepte op evenwichtsprofiel
14, 15	Invloed gootbreedte
16, 17	Invloed uitgangshelling
18	Invloed niet-doorlatende laag
19	Invloed <i>fijne fractie</i>
20	Getijsimulatie
21	Invloed wisselende waterstanden
22 ... 24	Invloed golfperiode op evenwichtsprofiel
25	Profielvariaties voorlopig ontwerp Zuidwal
26	Voorlopig ontwerp Zuidwal
27	Randvoorwaarden onderzoek voorlopig ontwerp Zuidwal
28	Invloed vooroever; onderzochte modellen
29, 30	Invloed vooroever
31	Begin van beweging van grofkorrelig materiaal in een oscillerende stroom
32, 33	Bepaling golfploophoogte boven stilwaterniveau
34	Bepaling bermligging beneden stilwaterniveau
35	Bepaling van de horizontale afstand L_B
36	Taludhelling α als functie van de golfsteilheid

Lijst van gebruikte symbolen

a	= versnelling
b	= amplitude van de oscillerende beweging langs de bodem
d	= korreldiameter
d_{50}	= korreldiameter, die door 50 gewichtsprocenten wordt overschreden
g	= versnelling van de zwaartekracht
h	= waterdiepte
h_o	= diepte waarop materiaal begint te bewegen
h_1	= golfoploophoogte
h_2	= diepte van de "bar"
h_b	= waterdiepte ter plaatse van de brekende golf
n	= schaalfactor = prototypewaarde/modelwaarde
u	= stroomsnelheid
y	= afstand waterlijn tot knikpunt in het onderwaterbeloop
C	= constante afhankelijk van ruwheid en doorlatendheid van het talud
C_D	= "drag" coëfficiënt
C_m	= traagheidscoëfficiënt
F	= kracht
H	= golfhoogte
H_o	= diepwatergolfhoogte
H_B	= brekergolfhoogte
L	= golflengte
L_o	= diepwatergolflengte
L_B	= horizontale afstand van de brekerlijn tot het punt van maximale golfoploophoogte
Re	= getal van Reynolds
T	= golfperiode
α	= helling van het talud op de waterlijn
α_o	= helling van het talud van de vooroever tussen h_b en h_2
ν	= kinematische viscositeit
ρ_m	= dichtheid van het korrelmateriaal
ρ_w	= dichtheid van het water

HAVENMOND HOEK VAN HOLLAND

Grindstrand Zuidwal

1 Inleiding

1.1 Opdracht

In de brief no. 3539 d.d. 10 september 1969 verzocht Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren, Afdeling Havenmonden aan het Waterloopkundig Laboratorium om een principeonderzoek uit te voeren naar evenwichtsprofielen van grindtaluds ten behoeve van de aanleg van de Zuidwal van de nieuwe havenmond te Hoek van Holland.

Teneinde de golfbeweging binnen de nieuwe havenmond en de aansluitende havenbekkens zoveel mogelijk te beperken, is aansluitend op de Zuiderdam een golfdempend strand, de Zuidwal, geprojecteerd (zie figuur 1).

Een dergelijk strand kan bestaan uit een flauw talud, opgebouwd uit loskorrelig materiaal, teneinde een zo groot mogelijke energie-absorptie te verkrijgen. Om nautische en waterloopkundige redenen is het echter niet mogelijk een flauwere helling dan circa 1 : 10 toe te passen. Een dergelijke helling kan alleen worden verkregen door het toepassen van grind. Daar zeegrind al op grote schaal wordt toegepast als bodembescherming bij de aanleg van de havendammen, is bij het voorlopig ontwerp van de Zuidwal ook dit materiaal in overweging genomen.

Om inzicht te verkrijgen in de eigenschappen van dit materiaal als taludbekleding onder golfaanval was het gewenst om naast prototypewaarnemingen en een literatuurstudie ook modelproeven uit te voeren.

De bevindingen van een studiegroep tijdens een bezoek aan verschillende grindstranden in Zuid Engeland zijn gerapporteerd in een nota van het Waterloopkundig Laboratorium "Verslag bezoek grindstranden, Zuid Engeland", M 1063, d.d. februari 1970.

Het modelonderzoek dat werd verricht in het Laboratorium De Voorst, stond onder leiding van ir. T.L. van Heummen, die ook dit verslag samenstelde.

1.2 Overzicht van het onderzoek

Doel van het onderzoek was het bepalen van de ligging van het evenwichtsprofiel onder loodrechte golfaanval als functie van de volgende parameters:

- a parameters, die betrekking hebben op de constructieve aspecten:
 - . uitgangsprofiel
 - . korrelsamenstelling
 - . doorlatendheid
- b hydrodynamische parameters:
 - . golfkarakteristieken
 - . waterstanden (getij).

Daarnaast was het noodzakelijk om na te gaan in hoeverre, als gevolg van de specifieke modelopstelling, schaafeffecten aanwezig waren. Om dit te bepalen zijn proeven verricht om de invloed te bepalen van:

- . de schaalfactor
- . de ligging van het model ten opzichte van de golfopwekker
- . de aanwezige waterdiepte vóór het model
- . de breedte van het model.

Ook het verticale materiaaltransport en de uitzeying zijn punten van onderzoek geweest.

Aan de hand van de modelresultaten is een schatting gemaakt van de profielvariaties zoals die bij loodrechte golfaanval op de Zuidwal zullen optreden. Een voorlopig profiel van de Zuidwal, ontworpen met gebruikmaking van de hierboven verkregen gegevens, is daarna onder verschillende golfcondities beproefd. Tenslotte is een principeproef uitgevoerd naar de invloed van een eventueel aanwezig voorland.

Een overzicht van de uitgevoerde proeven is gegeven in tabel I en II.

1.3 Conclusies

- 1 Tijdens het onderzoek zijn proeven vergeleken met schaalfactoren $n_1 = 1, 5$ en 20 . Zowel uit de gemeten evenwichtsprofielen als uit de nadere uitwerking van de profielkarakteristieken zijn geen systematische afwijkingen gevonden. Uitgaande van zeegrind met $d_{50} = 1,85$ cm als prototypemateriaal is een vergroting van de schaalfactor tot $n_1 = 20$ verantwoord.
- 2 De aanwezigheid van een staand golfpatroon en van stoorgolven heeft geen merkbare invloed op het evenwichtsprofiel. Het bereikte evenwichtsprofiel is in vorm en plaats onafhankelijk van de ligging ten opzichte van de golfopwekker.
- 3 De aanwezigheid van een vaste vooroever is een duidelijke vormbepalende factor bij het bereiken van het evenwichtsprofiel.
- 4 De breedte van het model heeft geen invloed op het optreden van verschillen in peilingen van naast elkaar gelegen raaien. Ten aanzien van driedimensionale verschijnselen is geen systematisch gedrag geconstateerd.
- 5 De uitgangshelling beïnvloedt het evenwichtsprofiel alleen indien de uitgangshelling zich uitstrekt tot beneden de evenwichtsdiepte geldend voor het betreffende materiaal en de optredende golfomstandigheden. De evenwichtsdiepte is hierbij gedefinieerd als de waterdiepte, waarbij onder invloed van de golfbeweging geen materiaaltransport meer optreedt.
- 6 De doorlatendheid van het gebruikte materiaal is zodanig dat de aanwezigheid van een waterdichte laag op 2 m beneden het oppervlak van het uitgangsprofiel geen invloed heeft op het uiteindelijke evenwichtsprofiel.
- 7 De invloed van de toevoeging van een fijne fractie, zodanig dat de gemiddelde korreldiameter daalt van $d_{50} = 1,85$ cm tot $d_{50} = 1,20$ cm, heeft een nauwelijks merkbare invloed op de vorm van het evenwichtsprofiel.
- 8 Onder invloed van wisselende waterstanden gedurende een getijcyclus verplaatst het evenwichtsprofiel, zoals dat gevormd zou zijn bij één waterstand, zich met de waterstand mee.
- 9 De golfploop boven het stilwaterniveau neemt toe naarmate de golfsteilheid afneemt. Uit de modelresultaten is de volgende betrekking gevonden:

$$\frac{h_1}{H_o} = 0,05 \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-0,75}$$

- 10 De diepte van de onderwaterberm beneden het stilwaterniveau is onafhankelijk van de golfsteilheid. Uit de modelresultaten blijkt dat deze diepte gelijk is aan $h_2 = 0,7 H_o$.
- 11 Over het vertikaal materiaaltransport kunnen uit het modelonderzoek geen gegevens worden verkregen.
- 12 Door uitzeping verzamelt zich grof materiaal rond het brekerpunt, terwijl fijn materiaal aanwezig is in de zone van de golfoploop.
- 13 De afstand van de brekerlijn tot het punt van maximale golfoploop (L_B), blijkt ongeveer gelijk te zijn aan $14 H_o$.
- 14 De in het model waargenomen evenwichtsdiepten buiten de brandingszone blijken goed aan te sluiten bij de resultaten van het onderzoek door Rance en Warren [12].
- 15 De helling van het evenwichtsprofiel op de waterlijn bedraagt gemiddeld 1 : 7 tot 1 : 8.

2 Modelonderzoek

2.1 Modelschalen

De modelschaal wordt bepaald door de vereiste waterdiepten en golfcondities enerzijds, en de mogelijkheden van de golfgoot anderzijds.

Daarnaast wordt de schaal beperkt door de meetnauwkeurigheid en de eis dat schaaffecten dienen te worden vermeden.

Bij het weergeven van golven in het model wordt uitgegaan van de schaalwet van Froude, waarbij geldt: $n_t = \sqrt{n_l}$ waarin n_t en n_l respectievelijk de schaafactoren voor tijd en lengte zijn. Hieruit worden de schaafactoren afgeleid voor de snelheid en de versnelling, $n_u = \sqrt{n_l}$ en $n_a = 1$. De krachten die door golven op een korrel worden uitgeoefend worden veroorzaakt door de snelheid en de versnelling, respectievelijk vertraging, van de waterdeeltjes.

De totale kracht F kan daarbij worden geschreven als:

$$F = C_D \cdot 1/8 \rho \pi d^2 u^2 + C_m \cdot 1/6 \rho \pi d^3 \cdot a$$

waarin C_D en C_m functies zijn van de golfparameters. Bij kleine korrels zal in het algemeen de grootte van de eerste term bepalend zijn voor het gedrag van de korrels. Een juiste reproductie van het krachterspel in het model wordt dan alleen verkregen als de schaal voor de functie C_D één is.

De waarde C_D is afhankelijk van het getal van Reynolds, $Re = \frac{u \cdot d}{\nu}$.

Het onderzoek is uitgevoerd bij schaalfactoren 1, 5 en 20. Nagegaan zal moeten worden of bij de onderhavige proeven de omstandigheden zodanig waren dat de grootte van de factor C_D inderdaad onafhankelijk van het getal van Reynolds is.

Uitgaande van een gemiddelde brekergolfhoogte $H_B = 2,0$ m en aannemend dat $h \approx H_B$ (h = waterdiepte) is de watersnelheid

$$u \approx \sqrt{gh} = 4,5 \text{ m/s}$$

Bij een materiaaldiameter $d_{50} = 1,85$ cm is $Re = 8,4 \cdot 10^4$.

Daar de viscositeit van het water in model en prototype gelijk is volgt voor de schaalfactor

$$n_{(Re)} = n_l^{3/2}$$

zodat geldt voor:

$$n_l = 5 : Re = 7400$$

$$n_l = 20 : Re = 950$$

In het beschouwde gebied blijkt de waarde C_D inderdaad bij benadering onafhankelijk te zijn van Re [1]. Bij toepassing van kleinere golfhoogten en op plaatsen waar de snelheden aanzienlijk kleiner zijn, zoals op en boven het stilwaterniveau en aan de bodem, zullen afwijkingen ten opzichte van het prototype optreden. Met name in de brekerzone waar de snelheden maximaal zijn zal het krachterspel echter goed worden gereproduceerd.

Tot nu toe is alleen gesproken over de stromingstoestand rond de korrels, ervan uitgaande dat de korrelvorm en de structuur ook gelijk zullen zijn. Dit zal nog moeten worden aangetoond. Bij vergelijking van de verschillende materialen wordt uitgegaan van de in [2] gebruikte karakteristieken voor de vorm van de korrels: "sphericity" en "roundness". Deze worden als volgt gedefinieerd:

$$\text{sphericity} = \sqrt{\frac{\text{volume van het deeltje}}{\text{volume van de omhullende bol}}}$$

$$\text{roundness} = \frac{\text{gemiddelde straal van hoeken en randen}}{\text{straal van de grootst mogelijke ingeschreven cirkel}}$$

Bij de laatste definitie wordt het deeltje zo geplaatst gedacht, dat de grootste projectie zichtbaar is.

Voor beide karakteristieke grootheden zijn van de verschillende gebruikte materialen de cumulatieve verdelingskrommen samengesteld. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4. Hoewel door de vrij moeilijke beoordeling van de vorm van de korrels, wellicht aan de absolute waarden van de gegeven krommen niet te veel waarde moet worden gehecht, maken ze toch een goede vergelijking van de verschillende materialen mogelijk. Tussen de verschillende materialen blijken betrekkelijk geringe verschillen te bestaan.

2.2 Beschrijving van het model

Het model is gebouwd in een golfgoot 3,0 meter breed; 29,7 meter lang, waarin regelmatige golven zijn opgewekt (zie figuur 2). De maximale waterdiepte was 1,2 m.

Teneinde de invloed van de breedte van het model te onderzoeken werd bij enige proeven ook gebruik gemaakt van een 1,0 m brede goot.

Het modelmateriaal is op schaal weergegeven, waarbij erop is toegezien dat de juiste korrelverdeling verkregen werd (zie figuur 3).

Vóór het grindstrand is een golfhoogtemeter opgesteld, die in de lengterichting van de goot verrijdbaar was. Op die manier was het mogelijk, zowel de hoogte van de aankomende als van de gereflecteerde golf te bepalen.

2.3 Meetmethoden

Uitgaande van een bepaald uitgangsprofiel is de ligging van het grindtalud tijdens het verloop van de proef door middel van peilingen bepaald. Bij het begin van een proef, wanneer de veranderingen zich snel voltrekken, is met korte tussenpozen gepeild. Naarmate het proces vorderde konden deze intervallen worden verlengd. De proef werd beëindigd wanneer tussen twee elkaar opvolgende peilingen geen noemenswaardige verschillen meer optraden.

De ligging van het grindtalud werd bepaald als het gemiddelde van de ligging in drie raaien h.o.h. 5,0 m (prototype). Over het algemeen treden tussen de afzonderlijke peilingen geen grote verschillen op. Om een idee te geven van de orde van grootte van deze verschillen wanneer deze wél optreden zijn in figuur 5 een tweetal voorbeelden gegeven. Bij de verwerking van de modelgegevens is steeds van de afzonderlijke raaien uitgegaan. In de figuren is steeds het gemiddelde van de drie raaien weergegeven. Om een goede vergelijking van de vorm van de evenwichtsprofielen mogelijk te maken zijn in de figuren de evenwichtsprofielen zodanig in horizontale richting verschoven dat de stilwaterlijnen samenvallen. Bij een aantal proeven zijn oppervlakte monsters genomen om de uitzeving van het grind te bepalen.

De waterstanden zijn met behulp van een peilnaald afgelezen, de golfhoogten zijn met behulp van een golfhoogtemeter van het weerstandstype gemeten en op papier geregistreerd. Visueel is bij iedere proef de plaats vastgesteld waar de golven op het talud breken.

3 Bepaling schaalinvloeden in het model

3.1 Invloed van de schaalfactor

Tijdens verschillende proevenseries is de invloed nagegaan die de schaalfactor op het uiteindelijke evenwichtsprofiel heeft.

De volgende schaalcombinaties zijn bestudeerd: $1 : 1 \rightarrow 1 : 5$, en $1 : 5 \rightarrow 1 : 20$.

Bij deze schaalcombinaties zijn, afgezien van de breedte, alle afmetingen van het model, het modelgrind alsmede de waterdiepte en de ligging ten opzichte van de golfopwekker in gelijke mate aangepast. In de figuren 6, 7 en 8 worden de verkregen evenwichtsprofielen vergeleken.

Over het algemeen bestaat een goede overeenkomst tussen de profielen in de omgeving van de waterlijn. Ook de profielen boven water vertonen slechts geringe verschillen.

Bij vergelijking van schaalfactor 1 met schaalfactor 5 ontstond bij de langste periode een afwijking doordat het model in verband met de golfoploop niet lang genoeg bleek te zijn.

Bij vergelijking van schaalfactor 5 met schaalfactor 20 lijkt het bovenwater-talud in het algemeen een iets steiler verloop te hebben bij schaalfactor 5. Vergelijking van het onderwatertalud levert nogal wat verschillen op. Bij de vergelijking van schaalfactor 1 met schaalfactor 5 is de vorm van dit talud min of meer gelijk, alleen de lengte verschilt. Van een systematische afwijking is echter geen sprake.

Bij vergelijking van schaalfactor 5 met schaalfactor 20 valt vooral de goede overeenkomst op bij een golfperiode $T = 4,0$ s. Daarentegen treden grote verschillen op, vooral in de lengte van het onderwatertalud, bij een golfperiode $T = 7,5$ s.

Afgezien van het resultaat van de proef met schaalfactor 5 en uitgangshelling 1 : 6, liggen de verschillen echter in dezelfde orde als die welke gevonden worden in paragraaf 3.2 en die als een normale spreiding moeten worden beschouwd. De hierboven genoemde proef met schaalfactor 5 en uitgangshelling 1 : 6 zal ook bij andere vergelijkingen zich afwijkend blijken te gedragen. Hoewel dit gedrag niet verklaard kan worden lijkt het verantwoord bij de beoordeling van de resultaten met het afwijkend gedrag rekening te houden. Concluderend mag worden gesteld dat vergroting van de schaalfactor tot $n_1 = 20$ verantwoord is. Dit wordt bevestigd bij de nadere uitwerking van de profielkarakteristieken in hoofdstuk 8, waarbij van een systematische afwijking van een van de gekozen schalen geen sprake is.

3.2 Invloed van de ligging ten opzichte van de golfopwekker

In de golfgoot ontstaat, doordat de aankomende golf gedeeltelijk wordt gereflecteerd, een staand golfpatroon.

Ook is het mogelijk dat interferentie optreedt tussen de opgewekte golf en de daarbij tevens opgewekte stoorgolven. Het is gewenst na te gaan of de aanwezigheid van deze stelsels golven invloed kan hebben op de uiteindelijke ligging van het evenwichtsprofiel ten opzichte van de golfopwekker of op de totale vorm van het evenwichtsprofiel.

Hiertoe zijn twee proeven uitgevoerd. Allereerst is nagegaan of een verschuiving van het uitgangsprofiel ten opzichte van de golfopwekker over $1/8$ golflengte van invloed is op de plaats van het evenwichtsprofiel. Verder is een proef uitgevoerd waarbij over een lange periode (85 uur model) continu materiaal aan het model respectievelijk boven stilwaterniveau en in de brandingszone, is toegevoegd (zie figuur 10). Gedurende deze proef is de wijze van aangroeien van het grindstrand vastgesteld. Indien deze aangroeiing zou worden beïnvloed door het genoemde staande golfpatroon, zouden onregelmatigheden in het gedrag te verwachten zijn.

Bij alle proeven treden slechts geringe variaties op, zowel wat de ligging van de waterlijn als de vorm van het totale profiel betreft.

De resultaten van de eerstgenoemde proeven zijn gegeven in figuur 9. In deze figuur zijn ook de beide uitgangsprofielen ($1/8$ golflengte ten opzichte van elkaar verschoven) aangegeven. De evenwichtsprofielen zijn gegeven in de uiteindelijke positie en zijn niet, zoals bij de andere figuren ten opzichte van elkaar verschoven. Het blijkt dat voor alle gevallen de verplaatsing van de waterlijn ten opzichte van het uitgangsprofiel beperkt blijft tot maximaal 2 meter, d.w.z. zeer veel kleiner dan de golflengte. Ook de totale vorm van het evenwichtsprofiel vertoont geen significante verschillen.

Gedurende de proef waarbij materiaal is toegevoegd, is de verplaatsing van de waterlijn als functie van de tijd lineair, met slechts zeer kleine afwijkingen vergeleken met de optredende golflengte (figuur 10). Ook in het gedrag van de lengte y , gedefiniëerd als de afstand van de waterlijn tot het knikpunt in het onderwaterbeloop, treden geen duidelijke onregelmatigheden op. De lengte y

neemt met het vorderen van de proef slechts zeer langzaam toe. Gemiddeld is $y = 24,0$ m. Na beëindiging van de voeding neemt de lengte y snel enigszins toe, terwijl de waterlijn zich landwaarts verplaatst, wat betekent dat de toegevoerde hoeveelheid materiaal iets te groot is geweest en niet volledig kon worden getransporteerd. In figuur 11 is het gebied aangegeven waarbinnen zich, tijdens deze proef, alle veranderingen hebben voltrokken, uitgaande van een aangenomen vaste ligging van de waterlijn. De grootste variaties blijken op te treden in de ligging van het onderwaterbeloop (maximaal 5,7 m horizontaal).

De helling van het profiel in de omgeving van de waterlijn varieert van 1 : 8 tot 1 : 13. Uit het bovenstaande moet worden geconcludeerd dat de ligging ten opzichte van de golfmachine geen merkbare invloed heeft op de ligging en de vorm van het evenwichtsprofiel.

3.3 Invloed van de waterdiepte voor het model

Bij vele proeven zijn de golven opgewekt op een relatief geringe waterdiepte, $h = 5,0$ m (prototype). Om na te gaan wat de invloed hiervan is op het bereikte evenwichtsprofiel zijn enige proeven uitgevoerd met verschillende diepten van de vooroever. Eenzelfde grindtalud is hierbij onderzocht bij twee waterdiepten, 5,0 m en 14,4 m. In het laatste geval is de overgang van de teen van het grindtalud (5 m beneden het stilwaterniveau) naar de bodem gevormd door een vast talud met helling 1 : 20. De proeven zijn uitgevoerd voor golfperiodes $T = 6,0; 7,5; 11,0$ en $15,0$ s. De resultaten zijn gegeven in de figuren 12 en 13. Hieruit kan het volgende worden geconcludeerd:

korte perioden: bij kleine waterdiepte, hogere golfoploop dan bij grotere waterdiepte.

alle perioden: bij kleine waterdiepte, kortere onderwaterberm en minder steil onderwaterbeloop dan bij een grotere waterdiepte.

Doordat de aankomende golf bij het ontmoeten van de overgangshelling in grootte zal toenemen, neemt ook de golfsteilheid toe en zal de golf bij de grotere waterdiepte eerder breken. Hierdoor zal de golfoploop afnemen, welk effect uiteraard het grootst is bij kortere golven.

De grotere hoogte van de vervormde golf zal ook het materiaal tot op grotere diepte verwijderen. Dit zal het duidelijkst naar voren komen bij de langere golven.

Uit deze proeven blijkt dat de aanwezigheid van een vaste vooroever een vormbepalende factor is bij het bereiken van het evenwichtsprofiel.

3.4 Invloed van de breedte van het model

Het lijkt niet onwaarschijnlijk dat de mate waarop een model tweedimensionaal functioneert wordt beïnvloed door de breedte van het model. Verwacht mag worden dat, bij toenemende breedte, driedimensionale effecten meer hun invloed zullen doen gelden. Dat ook bij de toegepaste modelbreedte van 3,0 m deze driedimensionale effecten een rol kunnen spelen blijkt uit de verschillen tussen profielen in naast elkaar liggende doorsneden die bij enkele proeven zijn opgetreden (figuur 5). Om na te gaan in hoeverre de breedte van het model hiervoor verantwoordelijk is, zijn een aantal proeven uitgevoerd, waarbij gelijke profielen zijn onderworpen aan gelijke golfomstandigheden, respectievelijk in een golfgoot van 3,0 m en 1,0 m breedte.

Deze proeven zijn uitgevoerd in de windgoot van het Laboratorium De Voorst met een totale gootbreedte van 4,0 m. Door een schot werd deze goot verdeeld in twee goten met de genoemde breedten.

De proeven in de 3,0 m brede goot vormden een reproductie van reeds eerder uitgevoerde proeven. In de figuren 14 en 15 worden de resultaten van de proeven vergeleken. Duidelijk blijkt dat slechts zeer geringe verschillen optreden tussen de evenwichtsprofielen van het 1,0 m brede en 3,0 m brede model. Ook de vergelijking met de reeds eerder uitgevoerde proeven is redelijk, hoewel bij enkele van die proeven tussen peilingen in naast elkaar gelegen raaien aanzienlijke verschillen optreden. Dat deze verschillen bij de eerder uitgevoerde proeven wel en bij de proeven in de windgoot niet optreden wijst erop dat deze niet veroorzaakt worden door de breedte van de modellen, maar door andere oorzaken, zoals bijvoorbeeld onregelmatigheden in de golfbeweging of eventuele toevallige omstandigheden.

4 Constructieve beïnvloeding van het evenwichtsprofiel

4.1 Invloed van het uitgangsprofiel

Om de invloed van het uitgangsprofiel op het uiteindelijk evenwichtsprofiel te bepalen, zijn enige vergelijkende proeven uitgevoerd. Hierbij is uitgegaan van uitgangshellingen 1 : 6 en 1 : 15, terwijl in enkele gevallen ook een uitgangshelling 1 : 8 is onderzocht.

De resultaten van de proeven, uitgevoerd op schaal 1 : 5, zijn gegeven in figuur 16, die op schaal 1 : 20 in figuur 17.

Over het algemeen blijkt er een goede overeenkomst te bestaan. Afgezien van de kleinste periode ($T = 4,0$ s) liggen de verschillen binnen de grenzen die gevonden zijn bij de proef met continue voeding (figuur 11). Daarbij moet in aanmerking worden genomen dat bij de proeven met uitgangshelling 1 : 15 nog geen evenwicht is bereikt zeewaarts van de brandingszone.

Het materiaaltransport als gevolg van de orbitaalbeweging langs de bodem verloopt uiteraard veel langzamer dan in het hevig turbulente brandingszone en in de golfploopzone met relatief hoge stroomsnelheden.

Als gevolg van het materiaaltransport zeewaarts van de brandingszone zal de bodem daar verdiepen, waardoor de orbitaalsnelheden langs de bodem kleiner worden. Tenslotte zal een evenwichtssituatie optreden, waarbij de maximale orbitaalsnelheden niet meet in staat zijn het bodemmateriaal in beweging te brengen. Uit berekeningen volgt, dat voor een periode $T = 7,5$ s, deze evenwichtsdiepte groter is dan de beschikbare waterdiepte. De weergegeven bodem bij de proeven met uitgangshelling 1 : 15 is nog niet in evenwicht.

Er moet nog materiaal naar de kust worden getransporteerd, hetgeen ook blijkt uit het verloop van de peilingen. Het onderwaterprofiel van de proef met uitgangshelling 1 : 6 en $T = 7,5$ s is in verhouding erg kort en gedraagt zich, zoals reeds eerder werd opgemerkt, afwijkend. Bij de periode $T = 6,0$ s blijkt, uit berekening, de evenwichtsdiepte 5,0 m te zijn. Ook hier is de weergegeven bodem bij de proef met uitgangshelling 1 : 15 nog niet geheel in evenwicht.

Bij een periode $T = 4,0$ s is de evenwichtsdiepte 3,8 m. Dit is dezelfde diepte als in het model met uitgangshelling 1 : 15, zodat hier kennelijk een evenwichtstoestand is ingetreden.

Dat deze verhoogde bodemligging zich kan instellen is het gevolg van de aanwezigheid van het flauwe talud, waardoor de golf in staat is zich aan de veranderende bodemligging aan te passen. Dit is niet het geval bij de uitgangshelling 1 : 6, waar de vrij abrupte bodemverandering aanpassing van de golf onmogelijk maakt. De waterdiepte groter dan de evenwichtsdiepte, zoals aanwezig bij een uitgangshelling 1 : 6, en $T = 4,0$ sleidt tot een verschuiving van het onderwaterbeloop in de richting van de waterlijn.

Uit de proeven kan worden geconcludeerd dat de uitgangshelling het uiteindelijke evenwichtsprofiel alleen beïnvloedt indien deze uitgangshelling zich uitstrekt tot beneden de evenwichtsdiepte, zoals die berekend kan worden voor het betreffende materiaal en de optredende golfomstandigheden.

Doordat het onderwaterbeloop beneden de evenwichtsdiepte vrijwel onveranderd blijft, zal de golf zich bij verschillende uitgangshellingen op een andere wijze aan de bodemligging aanpassen. Als gevolg van de op deze manier ontstane golfbeelden zullen ook de evenwichtsprofielen boven de evenwichtsdiepte verschillen vertonen.

4.2 Invloed van de doorlatendheid

Teneinde de invloed na te gaan van de aanwezigheid van een niet doorlatende ondergrond, is een proef herhaald, waarbij een waterdichte laag is aangebracht op 2,0 m beneden het oppervlak van het uitgangsprofiel.

In figuur 18 wordt het verkregen evenwichtsprofiel vergeleken met het evenwichtsprofiel van de proef zonder dichte laag.

Er treden geen noemenswaardige verschillen op. Blijkbaar is de doorlatendheid van het gebruikte materiaal reeds zo gering, dat veranderingen in de omstandigheden op de genoemde diepte geen invloed hebben.

4.3 Invloed van de korrelsamenstelling

Een aantal proeven is uitgevoerd om de invloed van de korrelverdeling op het evenwichtsprofiel na te gaan.

Naast proeven uitgevoerd met het voor dit onderzoek gebruikelijke materiaal, zijn deze proeven herhaald met hetzelfde materiaal, waaraan een fijne fractie is toegevoegd. De korrelverdeling voor beide materialen is gegeven in figuur 3. In figuur 19 zijn de verkregen evenwichtsprofielen vergeleken.

In de omgeving van de waterlijn en boven water zijn de evenwichtsprofielen voor beide onderzochte materialen vrijwel gelijk. Onder water is, althans bij de kortere golven, van enig verschil nauwelijks sprake. Voor de lange golf ($T = 7,5$ s) treden grote verschillen op. Hier moet er echter weer op worden gewezen dat het evenwichtsprofiel, bij de proef met $T = 7,5$ s en $d_{50} = 1,85$ cm, vergeleken met de andere perioden, zich afwijkend gedraagt, zoals ook al eerder is geconstateerd.

Deze proef buiten beschouwing latend kan gesteld worden dat de invloed van de toevoeging van de fijne fractie nauwelijks merkbaar is geweest.

5 Hydrodynamische beïnvloeding van het evenwichtsprofiel

5.1 Invloed van de getijbeweging

Teneinde na te gaan hoe het grindtalud zich gedraagt bij wisselende waterstanden zijn enige proeven uitgevoerd, waarbij een getijbeweging is gesimuleerd.

Omdat in de gebruikte golfgoet geen mogelijkheid aanwezig is om dit getij continu te laten verlopen, is de waterstand in stappen gewijzigd. In figuur 20 is dit schematisch weergegeven. De waterstand is gewijzigd in stappen van 0,3 m (prototype) overeenkomend met een variatie van de waterdiepte van 4,1 m tot 5 m met een gemiddelde waterdiepte van 4,55 m.

Teneinde een indruk te verkrijgen van de tijdschaal van het verticale materiaaltransport is de duur van de getijcyclus in het model gevarieerd.

Twee gevallen worden hierbij onderscheiden. In het eerste geval bedraagt de duur van de getijcyclus in het model 4 uur, wat overeenkomt met een schaal-factor voor de tijd $n_t = 3$. In het tweede geval is deze tijdsduur 8 uur,

overeenkomend met een schaalfactor 1,5. Alleen het tweede geval is in figuur 20 weergegeven. Beginnend bij hoogwater is gedurende twee getijcycli gegolfd. Aan het einde van iedere stap is het gevormde profiel gepeild. Na het eerste traject hoogwater-laagwater blijkt zich min of meer een evenwichtsprofiel te hebben ingesteld. Bij verdere wijziging van de waterstand verplaatst dit evenwichtsprofiel zich met de waterstand mee, in die zin, dat de respectievelijke punten van het evenwichtsprofiel zich bewegen langs een helling 1 : 9 (figuur 21). Vergelijking van de evenwichtsprofielen ten tijde van gelijke punten op beide achtereenvolgende getijkrommen geven een indruk van de snelheid van het transportmechanisme. Bij een modelgetijcyclus van 4 uur blijken de waterstandsvariaties te snel te verlopen, zodat het transportmechanisme niet in staat is het evenwichtsprofiel geheel aan het gewijzigde waterniveau aan te passen. Bij een modelgetijcyclus van 8 uur blijkt dit wel het geval te zijn en zijn de verschillen tussen de gepeilde evenwichtsprofielen te verwaarlozen. Vergeleken met de Froude tijdschaal blijkt de tijdschaal in het laatste geval gelijk te zijn aan $n_t = 1,5 = 0,67 \sqrt{n_l}$.

Op deze wijze is een indruk verkregen van de snelheid van het transport in het model. Het is echter niet voldoende om de transportschaal te bepalen. Dan dient ook de snelheid waarmee het transport in het prototype plaats vindt bekend te zijn.

Het hierboven omschreven verschuiven van het evenwichtsprofiel met de veranderende waterstand gedurende een getijcyclus is ook in de natuur waargenomen [3].

5.2 Invloed van de golfperiode

In de figuren 22, 23 en 24 worden de evenwichtsprofielen bij verschillende golfperioden, maar overigens gelijke randvoorwaarden, vergeleken.

De invloed van de golfperiode op het evenwichtsprofiel komt vooral tot uiting in de golfoploop. Algemeen geldt dat de golfoploop hoger wordt naarmate de golfperiode langer is. Bij gelijkblijvende golfhogte, zoals bij de betreffende proeven, betekent dit dat de golfoploop toeneemt naarmate de golfsteilheid afneemt (zie ook paragraaf 8.5).

In de evenwichtshelling in de omgeving van de waterlijn worden slechts geringe verschillen geconstateerd. Er bestaat een lichte tendens dat de hellingen steiler

worden naarmate de golf langer is (zie ook paragraaf 8.8). De onderwaterberm bevindt zich bij alle perioden vrijwel op dezelfde diepte, namelijk op ongeveer 0,7 maal de golfhoogte H beneden het stilwaterniveau (zie ook paragraaf 8.6).

De horizontale ligging van het onderwaterbeloop beneden deze berm vertoont grote variaties. Voor een deel zijn deze variaties al besproken in de paragrafen 3.2, 3.3 en 4.1. Ook het afwijkende karakter van de proef met periode $T = 7,5$ s, uitgangshelling 1 : 6 en normaal materiaal (figuur 23) kwam reeds ter sprake. Met name in figuur 24 treden echter grote verschillen op. Bij een golfperiode $T = 7,5$ s treedt daar de langste onderwaterberm op. Waarom deze golfperiode een dergelijke extreme onderwaterberm doet ontstaan, en daardoor een logisch verband tussen golfperiode en vorm van het onderwaterprofiel onmogelijk maakt, kan vooralsnog niet verklaard worden.

6 Transportmechanismen

6.1 Vertikaal materiaaltransport

Om een indruk te verkrijgen van het verloop en de grootte van het vertikale materiaaltransport en om de invloed van de schaalfactor hierop na te gaan, is voor een aantal proeven voor de achtereenvolgende peilingen, de totale hoeveelheid verplaatst materiaal vanuit de beginsituatie bepaald.

Het verloop van dit transport als functie van de tijd verloopt voor de verschillende proeven en schaalfactoren echter zo weinig systematisch dat aan deze metingen geen verdere conclusies kunnen worden verbonden. Uit hetgeen in het voorgaande is gezegd over de spreiding in evenwichtsprofielen, met name betreffende het onderwaterprofiel, volgt ook dat in het vertikale transport een aanzienlijke spreiding zal optreden. Om enigszins betrouwbare resultaten te verkrijgen zal een uitgebreider proevenprogramma noodzakelijk zijn.

6.2 Uitzeping

Bij enige proeven is de korrelverdeling bepaald van oppervlaktemonsters uit een aantal punten van een langsgaai over het model.

Tengevolge van het dynamische karakter van het transportmechanisme ontstaan zeer plaatselijk opeenhopingen van grof en fijn materiaal. Deze concentraties verplaatsen zich voortdurend over het talud. Als gevolg hiervan ontstaat een zeer grote spreiding in korreldiameter in de verschillende bemonsterde plaatsen. Het is dan ook niet mogelijk vergaande conclusies uit deze resultaten te trekken. Wel blijkt de tendens aanwezig dat zich grof materiaal verzamelt rond het brekerpunt, terwijl zich fijner materiaal in de golfoploopzone bevindt.

7 Samengestelde constructies

7.1 Voorlopig ontwerp Zuidwal

Met behulp van de resultaten van het onderzoek is getracht een indruk te verkrijgen van de profielvariaties zoals die voor de condities langs de Zuidwal te verwachten zullen zijn. Enerzijds kan gebruik worden gemaakt van de evenwichtsprofielen die voor een groot aantal condities werden bereikt, anderzijds is het mogelijk met de wisselende waterstanden rekening te houden doordat vastgesteld is dat de evenwichtsprofielen met deze wisselingen meeschuiven. Op deze wijze zijn, ~~uitgaande van de "principe" proeven,~~ omhullenden verkregen zowel voor zomer- als wintercondities. Hierbij zijn de volgende combinaties van waterstanden en golfcondities in beschouwing genomen.

Zomercondities:

waterstanden: N.A.P. - 1,0 m tot N.A.P. + 2,0 m

golfperioden: 6,0 tot 11,0 s

golfhoogten : tot 2,0 m.

Wintercondities:

waterstanden: N.A.P. tot N.A.P. + 3,0 m

golfperioden: 6,0 tot 11,0 s

golfhoogten : tot 8,0 m.

De resultaten zijn gegeven in figuur 25. Uitgaande van de situatie ter plaatse en met behulp van de verkregen omhullenden is door Rijkswaterstaat een voorlopig ontwerp Zuidwal gemaakt (figuur 26). Hoewel uit de omhullenden maximaal mogelijke verticale variaties van ongeveer 8 m volgen, betekent dit nog niet dat ook de afdeklaag van zeegrind deze dikte moet hebben. Binnen de omhullende zal het profiel zich vormen door accumulatie van grind op de ene plaats en erosie op een andere plaats. Zo beschouwd zal de laagdikte van het zeegrind tenminste gelijk moeten zijn aan de helft van de verticale variatie ter plaatse. Ook uitvoeringstechnische redenen hebben een rol gespeeld bij de tot standkoming van het voorlopige ontwerp Zuidwal.

Voor dit ontwerp zijn een aantal proeven uitgevoerd, waarbij het grindstrand bij een aantal combinaties van waterstanden en golfcondities is onderzocht. Op deze manier is getracht het voorlopige ontwerp op zijn bruikbaarheid te toetsen en is nagegaan of de toegepaste laagdikte van het grindmateriaal inderdaad voldoende is.

De proeven zijn uitgevoerd op schaal 1 : 20. Achtereenvolgens zijn zomer- en wintercondities onderzocht, steeds in een getijcyclus met drie wisselende waterstanden.

Het verloop van de waterstanden als functie van de tijd is gegeven in figuur 27. Hierin zijn tevens de golfcondities aangegeven die gedurende de verschillende intervallen optreden.

Uit de evenwichtsprofielen zoals die onder deze omstandigheden gedurende een drietal proeven optraden werd zowel voor zomer- als voor wintercondities de omhullende bepaald. Deze zijn eveneens gegeven in figuur 25.

Rekening houdend met de verschillen in golfkarakteristieken en waterstanden sluiten deze omhullenden redelijk aan bij de eerder verkregen omhullenden samengesteld uit de evenwichtsprofielen volgens de "principe" proeven.

Uit de resultaten van de proeven kan worden geconcludeerd dat de voorgenomen laagdikte van het grindmateriaal voor het voorlopig ontwerp Zuidwal voldoende kan worden geacht.

7.2 Invloed van de aanwezigheid van de vooroever

Doordat zich op de plaats waar de Zuidwal geprojecteerd is momenteel een relatief hoge vooroever, opgebouwd uit zand, heeft gevormd terwijl niet met zekerheid is te voorspellen hoe dit voorland zich in de toekomst zal gedragen, zijn enige proeven uitgevoerd, teneinde de invloed van deze vooroever op het evenwichtsprofiel te bepalen.

Hiertoe zijn drie profielen onderzocht, overeenkomend met fase I, II en III zoals aangegeven in figuur 28.

Fase I benadert de bestaande situatie, fase II stelt een verdieping van de vooroever tot op de zeegrondkade (N.A.P. - 5,5 m) voor, terwijl fase III een verkorting van de vooroever als gevolg van de verbreding van de vaargeul tot 500 m voorstelt.

De proeven zijn uitgevoerd op schaal 1 : 10. De waterstand was N.A.P. + 3,0 m, de golfhoogte $H \approx 3,5$ m en de golfperioden 8,0 en 11,0 s. Bij deze proeven is gebruik gemaakt van hetzelfde materiaal als eerder gebruik werd bij de proeven met schaalfactor 5. Doordat nu een schaalfactor 10 is gebruikt komt de diameter van dit materiaal overeen met $d_{50} = 3,7$ cm.

Door gebruik te maken van dit grovere materiaal kunnen de nu gevonden evenwichtsprofielen niet vergeleken worden met de eerder uitgevoerde proeven, maar zijn zij slechts onderling vergelijkbaar.

Bij alle uitgevoerde proeven is de constructie, beneden het grindtalud met helling 1 : 8, star uitgevoerd.

In figuur 29 worden de evenwichtsprofielen voor de verschillende vooroevers vergeleken. In figuur 30 wordt de invloed van de golfperiode nagegaan.

Uit deze figuren kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Door een verdieping van de vooroever (fase II) en door deze vervolgens korter te maken (fase III) neemt de golfoploop aanzienlijk toe.
- Met name bij een golfperiode $T = 8,0$ s ontstaat bij vergelijking van respectievelijk de fase I, II en III een steeds flauwer talud.
- Een golfperiode $T = 11,0$ s veroorzaakt een grotere golfoploop dan $T = 8,0$ s, een iets steiler verloop van het talud alsmede een korter onderwaterbeloop.

Doordat de vooroever tijdens deze proeven star is uitgevoerd en dus van wederzijdse beïnvloeding van golf en vooroever geen sprake is, mag aan de resultaten van deze proeven geen absolute betekenis worden toegekend. Zij geven echter wel een indruk van de invloed van de vooroever op de golfoploop en de vorm van het evenwichtsprofiel.

8 Karakterisering van het evenwichtsprofiel

8.1 Inleiding

Het evenwichtsprofiel van een strand, opgebouwd uit grofkorrelig materiaal, kan worden gedefinieerd als het profiel, waarbij in ieder punt evenwicht bestaat tussen de op het materiaal werkende krachten. Het op deze wijze bereikte evenwicht is dynamisch, wat inhoudt dat wel beweging van materiaal optreedt, maar dat gemiddeld over de tijd geen transport optreedt. Het is duidelijk dat naast de aard van het korrelmateriaal ook de golfkarakteristieken en de waterstand van groot belang zijn voor de vorm van het evenwichtsprofiel.

Bij de meeste van de uitgevoerde proeven was de diepte zodanig beperkt dat de uitgangshelling zich niet uitstreckte beneden de zogenaamde evenwichtsdiepte. In die gevallen blijkt de uitgangshelling voor de vorm van het evenwichtsprofiel van weinig belang, wel echter voor de wijze waarop het evenwichtsprofiel tot stand komt. Bij een flauwe uitgangshelling zal in het algemeen materiaal naar de kust toe worden getransporteerd, hetgeen een zeewaartse verschuiving van de kustlijn tot gevolg heeft. Bij een steile uitgangshelling verloopt het proces over het algemeen tegengesteld waardoor de kustlijn zich landwaarts verplaatst. Bij de meeste van de in dit onderzoek toegepaste uitgangshellingen (1 : 6 en 1 : 8) was het laatste het geval.

Zoals aangetoond in paragraaf 5.1 kan de invloed van de waterstand grotendeels worden verdisconteerd door het meeschuiven van het evenwichtsprofiel met de waterstand, waarbij de respectievelijke punten van het evenwichtsprofiel langs een helling 1 : 9 (voor het hier toegepaste zeegrind met $d_{50} = 1,85$ cm) schuiven.

In dit hoofdstuk zal vooral aandacht worden besteed aan de relatie tussen het evenwichtsprofiel en de golfkarakteristieken. De gevonden relaties zijn geldig voor de in het onderzoek toegepaste materialen en voorzover het de situatie rond de brekerlijn betreft. Ze gelden ook voor die gevallen die met de schaalwet van Froude hieruit kunnen worden afgeleid. Zoals in paragraaf 2.1 is aangegeven, dient te worden verwacht dat, met name in gebieden met geringe watersnelheden, de genoemde schaalwet niet geldig is, zodat hier in het prototype afwijkingen van het in het model gevonden profiel kunnen optreden.

8.2 Kenmerkende profielgrootheden

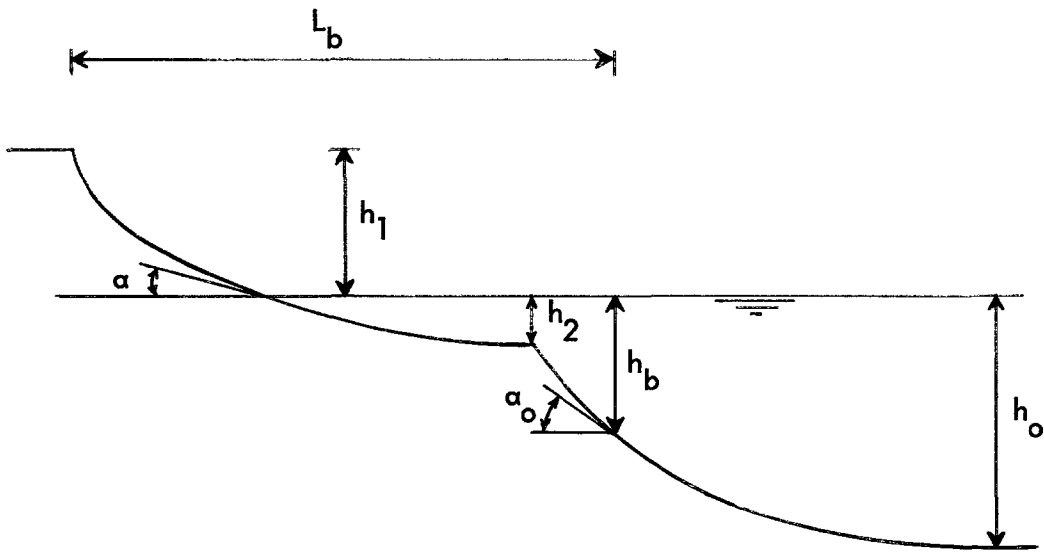
Het ligt voor de hand te trachten uit het krachtspel op de korrels als gevolg van hydrodynamische belastingen, wrijving en zwaartekracht de ligging van het evenwichtsprofiel te bepalen.

Eagleson [4] geeft een berekeningswijze, die uitgaande van een laminaire grenslaag, het evenwichtsprofiel geeft voor een zandstrand, zeewaarts van de brekerzone. Voor het gedeelte tussen de waterlijn en de brekerzone wordt geen oplossing gevonden.

Grigorian [5] heeft een vergelijking afgeleid voor dat gedeelte van een grindstrand dat afwisselend aan golfoploop wordt blootgesteld. In deze beschouwing ontbreekt iedere relatie met de brekerlijn, zodat ook hieruit geen beschrijving van het volledige profiel kan worden verkregen.

Het is duidelijk dat gezien de moeilijk te omschrijven hydrodynamische randvoorwaarden, een analytische aanpak moeilijk is. Veel onderzoekers hebben derhalve getracht de oplossing langs experimentele weg te vinden (Rector, Kemp [3, 6, 7]). De bij het merendeel van deze onderzoekers, gevonden relaties zijn echter weinig overtuigend, door de arbitraire keuze van de golfparameters.

Zoals uit de verschillende onderzoeken blijkt kan het evenwichtsprofiel in het algemeen goed benaderd worden door een "step"-profiel zoals hieronder is aangegeven.



Hierin is:

h_o = diepte waarop materiaal begint te bewegen (evenwichtsdiepte)

h_b = brekerdiepte

α_o = helling van het talud van de vooroever tussen h_b en h_2

h_2 = diepte van de "bar" beneden het stilwaterniveau

h_1 = hoogte golfoploop boven het stilwaterniveau

L_b = horizontale afstand van de brekerlijn tot het punt van maximale golfoploop

α = helling van het talud op de waterlijn.

In dit hoofdstuk zal niet worden getracht een universele beschrijving van het profiel te geven, doch zal worden volstaan met het geven van enige empirische relaties tussen een aantal profielgrootheden en de golfparameters. Mede naar analogie van de notatie van Kemp zijn voor de karakterisering van het profiel de grootheden h_1 , h_2 , L_b en α gekozen.

8.3 Kenmerkende golfgrootheden

Bepalend voor de waterbeweging op een talud is het gedrag van de golf op de vooroever. Bij voldoende kleine golfsteilheden (H_o/L_o), zal een "surging" breker optreden, waardoor een heen en weergaande waterstroom ontstaat, waarbij de snelheden in beide richtingen van dezelfde orde van grootte zijn. Bij grotere steilheden treedt breking op. De golfsteilheid waarbij begin van breking optreedt wordt bepaald door de steilheid van het talud van de vooroever (α_o), de vorm van de breker ("spilling" of "plunging"), door een steilheid van het talud en de golfsteilheid op diep water (Miche, Galvin [8, 9]).

Bij de, in dit onderzoek toegepaste omstandigheden werden voornamelijk "plunging" brekers waargenomen, wat duidt op een vrij steil talud in golven met gematigde tot grote steilheid.

Zoals aangetoond door Le Mehauté en Ayar [10, 11] wordt de geometrie van de breker (H_b/H_o , H_b/h_b) vooral bepaald door de golfsteilheid op diep water, H_o/L_o en de helling van het onderwatertalud α_o . Het ligt voor de hand de afgeleide verschijnselen eveneens te relateren aan deze parameters. Gezien de geringe variatie in de taludhelling valt de keuze in eerste instantie op de golfsteilheid H_o/L_o .

Voor het gedeelte van het profiel zeewaarts van de breker is de orbitaalbeweging op het onderwaterprofiel bepalend voor het gedrag van het korrelmateriaal.

8.4 Evenwichtsdiepte zeewaarts van de brekerzone

Zeewaarts van de brekerzone ontstaat door de golfbeweging een oscillerende waterbeweging boven de min of meer horizontale bodem. Als gevolg van deze waterbeweging kan materiaal in beweging worden gebracht, waardoor materiaaltransport kan optreden. Het moment waarop materiaaldeeltjes verplaatst worden wordt bepaald door de golfomstandigheden, de waterdiepte en de afmetingen en de aard van het korrelmateriaal.

Onderzoek naar het verband tussen de genoemde parameters is o.a. uitgevoerd door Rance en Warren [12]. Zij vonden een relatie tussen de grootheden

$$\frac{b}{T_g^2} \text{ en } \frac{b}{d},$$

waarin:

b = amplitude van de oscillerende beweging langs de bodem

T = golfperiode

d = d_{50} van het korrelmateriaal

$$g' = g \frac{(\rho_m - \rho_w)}{\rho_w}$$

g = versnelling van de zwaartekracht

ρ_m = dichtheid van het materiaal

ρ_w = dichtheid van het water

Het onderzoek werd uitgevoerd in een zogenaamde pulsating watertunnel. De gevonden relatie is weergegeven in figuur 31.

Bij het onderzoek naar evenwichtsprofielen van grindtaluds is het slechts voor enkele gevallen mogelijk de hierboven beschreven relatie te verifiëren. Over het algemeen was de beschikbare waterdiepte in het model kleiner dan de voor de toegepaste golfomstandigheden en materialen geldende evenwichtsdiepte. Voor de twee gevallen waarbij dit wel mogelijk is zijn de betreffende punten ook in de grafiek weergegeven. De amplitude van de orbitaalbeweging langs de bodem is hierbij, overeenkomstig de lineaire golftheorie, gesteld op

$$b = \frac{\frac{1}{2}H}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} .$$

De gevonden waarden sluiten goed aan bij de in figuur 31 gegeven relatie.

8.5 Hoogte van de golfoploop boven stilwaterniveau

Van de literatuur betreffende golfoploop, heeft slechts een enkele studie betrekking op golfoploop op stranden bestaande uit los grofkorrelig materiaal [3], [6], [7]. Bij de uitwerking van de modelresultaten is in eerste instantie getracht aan te sluiten bij de resultaten van de genoemde studies. Rector [7] deed een uitgebreide laboratoriumstudie naar de evenwichtsprofielen van stranden uitgaande van gemiddelde materiaaldiameters van 0,21 - 3,44 mm,

en een groot aantal golfomstandigheden, waterdiepten en uitgangsprofielen. Hierbij werden de volgende relaties tussen golfoploop en golfcondities gevonden:

$$H_o/L_o < 0,018 \quad h_1/L_o = 0,18 (H_o/L_o)^{0,5}$$

$$H_o/L_o > 0,018 \quad h_1/L_o = 0,024$$

In figuur 32 is deze relatie weergegeven, waarbij tevens het spreidingsgebied van de waarnemingen met een raster is aangeduid. In deze figuur zijn ook de waarnemingen van het Waterloopkundig Laboratorium weergegeven, die uit het onderhavige onderzoek zijn verkregen. Deze blijken goed overeen te komen met de door Rector gevonden waarden. Wel moet worden opgemerkt dat de spreiding rond de gegeven lijn aanzienlijk is, terwijl het bevreemdend opwekt dat voor golfsteilheden $H_o/L_o > 0,018$ de golfoploop onafhankelijk van de golfhoogte zou zijn. Dit is ook in strijd met de relatie die door Hunt [13] werd gevonden voor stabiele taluds:

$$h_1/H_o = C \operatorname{tg} \alpha (H_o/L_o)^{-\frac{1}{2}}$$

Hierbij is C afhankelijk van de ruwheid en de doorlatendheid van het talud. Hoewel bij grindstranden geen sprake is van een stabiel talud in de zin die Hunt bedoelde, is het belangwekkend na te gaan of een soortgelijke relatie ook voor grindstranden zal bestaan. In figuur 33 zijn de dimensieloze parameters h_1/H_o en H_o/L_o tegen elkaar uitgezet. Zowel de waarnemingen van het Waterloopkundig Laboratorium als die van Rector zijn in de figuur weergegeven. De gevonden relatie, gebaseerd op de door het Waterloopkundig Laboratorium verkregen gegevens, kan in de volgende vorm geschreven worden

$$h_1/H_o = 0,05 (H_o/L_o)^{-0,75}$$

Anders dan bij stabiele taluds lijkt het niet zinvol de hoek α in deze formule te introduceren. Van een recht talud is geen sprake. Onder invloed van de golfaanval vormt zich een convexe vorm van het evenwichtsprofiel. Een nogal eens gebruikte waarde om de vorm van het evenwichtsprofiel mede te karakteriseren is de helling van het talud op de waterlijn [6].

Omdat het talud is opgebouwd uit loskorrelig materiaal is deze hoek afhankelijk van de aard en vorm van het materiaal en het vervormingsmechanisme. Als zodanig is het dan ook niet zinvol de hoek α als variabele in de gevonden betrekking in te voeren. Wel dient te worden vermeld dat de genoemde relatie geldt voor de in het model onderzochte materialen met diameters $d_{50} = 0,9 - 18,5$ mm. Dit geldigheidsgebied is gebaseerd op alle beproefde materiaal-diameters zowel door het Waterloopkundig Laboratorium als door Rector.

8.6 Diepte van de berm of "bar" beneden het stilwaterniveau

Om de diepte van de berm zo eenduidig mogelijk te bepalen is het gemeten profiel zo goed mogelijk benaderd door twee krommen, zoals in de inzet op figuur 34 is aangegeven. In de figuur is de dimensieloze parameter h_2/H_0 uitgezet als functie van de golfsteilheid op diep water. Hoewel in de waarnemingen een vrij grote spreiding optreedt, blijkt dat de grootte h_2/H_0 bij benadering onafhankelijk is van de golfsteilheid. Uit de figuur volgt dat voor het model de volgende relatie geldt:

$$h_2 = 0,7 H_0.$$

Hierbij dient te worden vermeld dat de modelproeven zijn uitgevoerd met materiaaldiameters $d_{50} = 0,9 - 3,5$ mm.

8.7 Afstand van de brekerlijn tot het punt van maximale golfoploophoogte

Tijdens de proeven is steeds de plaats van breken vastgesteld. Omdat het hier in vrijwel alle gevallen "plunging" brekers betreft kan dit punt redelijk nauwkeurig worden bepaald. Zoals in 8.3 is betoogd, komt de golfsteilheid als parameter het meest in aanmerking om het brekermechanisme te beschrijven. Daarbij mag worden verondersteld dat de horizontale afstand van de brekerlijn tot het punt van maximale golfoploop rechtstreeks gekoppeld is aan het brekermechanisme.

Daarom is getracht een verband te leggen tussen de golfsteilheid en de horizontale afstand van de brekerlijn tot het punt van maximale golfoploop. In figuur 35 is dit verband grafisch weergegeven. Hoewel enige spreiding rond de gevonden kromme optreedt blijkt dit verband goed te worden beschreven

door de betrekking:

$$L_B \approx 14 H_o$$

Deze betrekking is gevonden bij modelproeven uitgevoerd met materialen met diameters $d_{50} = 0,9 - 3,5$ mm.

8.8 Helling van het evenwichtsprofiel op de waterlijn

Het is niet mogelijk gebleken uit de resultaten van de modelproeven een verband te leggen tussen een of andere golfparameter en de helling van het evenwichtsprofiel op de waterlijn. Over het algemeen is bij de waarnemingen een aanzienlijke spreiding geconstateerd.

In figuur 36 is de genoemde taludhelling uitgezet als functie van de golfsteilheid. De waarnemingen variëren van een taludhelling 1 : 6 tot 1 : 11 met een gemiddelde waarde van 1 : 7 - 1 : 8. Naarmate de golfsteilheid toeneemt bestaat de tendens dat de helling van het talud iets flauwer wordt.

LITERATUUR

- 1 ROUSE, H. Engineering Hydraulics, New York, Wiley, 1950.
- 2 KRUMBEIN, W.C. and SLOSS, L.L. Stratigraphy and sedimentation, 1963, chapter 14.
- 3 KEMP, P.H. A field study of wave action on natural beaches, London, 10th I.A.H.R. Congress 1963.
- 4 IPPEN, A.T. Estuary and coastline hydrodynamics, New York Graw Hill, 1966.
- 5 GRIGORIAN, S.S. The stable form of equilibrium of a pebble beach subjected to surf, Journal Appl. Math. Mech 29, 1965, no. 2.
- 6 KEMP, P.H. and PLINSTON, D.T. Beaches produced by waves of low phase difference, Proceedings A.S.C.E., 94, 1968, no. HY 5.
- 7 RECTOR, R.L. Laboratory study of equilibrium profiles of beaches. Beach Erosion Board, 1954, Techn. Mem. no. 41.
- 8 MICHE, M. Mouvements ondulatoire de la mer en profondeur constante ou décroissante, 1945.
- 9 GALVIN, C.J. Breaker travel and choice of design wave height, Proceedings A.S.C.E., 95, 1969, no. WW 2.
- 10 MÉHAUTÉ le, B. and KOH, R.C.Y. On the breaking of waves arriving at an angle to the shore, Journal of hydraulic Research, I.A.H.R. 5, 1967, no. 1.
- 11 AYYAR, H.R. On the Hydromechanics of breakers on steep slopes, Hannover, Mitteilungen Franzius Institut, 1969, no. 33.

- 12 RANCE, P.J. and WARREN, N.F. The threshold of movement of coarse material in oscillatory flow, London, 11th Coastal Engineering Conference, 1968, chapter 30.
- 13 HUNT, J.A. Design of seawalls and breakwaters, Proceedings A.S.C.E., 85, 1959, no. WW 3.

proef	schaal- faktor	uitgangs- helling cotg α	water- diepte (m)	golf- periode T (s)	golf- hoogte H (m)	vergelijking met	doel	figuur
T1	1	3	1,0	3,4	0,3	T5	invloed schaalfaktor	8
						T2	invloed golfperiode	22
T2	1	3	1,0	2,2	0,4	T6	invloed schaalfaktor	8
						T1	invloed golfperiode	22
T3	1	3	1,0	2,2	0,3	T7	invloed schaalfaktor	8
T4	1	6	1,0	2,2	0,4	T8	invloed schaalfaktor	-
T5	5	3	1,0	3,4	0,4	T1	invloed schaalfaktor	8
						T6	invloed golfperiode	22
T6	5	3	1,0	2,2	0,4	T2	invloed schaalfaktor	8
						T5	invloed golfperiode	22
T7	5	3	1,0	2,2	0,3	T3	invloed schaalfaktor	8
T8	5	5	1,0	2,2	0,4	T4	invloed schaalfaktor	-
T9	5	6	5,0	7,5	1,9	T20	invloed schaalfaktor	6
						T14	invloed uitgangshelling	16
						T15	invloed uitgangshelling	16
						T9A	invloed korrelgradering	19
						T10	invloed golfperiode	23
						T11	invloed golfperiode	23
T9A	5	6	5,0	7,5	1,9	T9	invloed korrelgradering	19
						T10A	invloed golfperiode	23
						T11A	invloed golfperiode	23
T10	5	6	5,0	6,0	1,9	T21	invloed schaalfaktor	7
						T13	invloed uitgangshelling	16
						T10A	invloed korrelgradering	19
						T9	invloed golfperiode	23
						T11	invloed golfperiode	23
T10A	5	6	5,0	6,0	2,1	T10	invloed korrelgradering	19
						T9A	invloed golfperiode	23
						T11A	invloed golfperiode	23
						-	driedimensionaal effect	
T11	5	6	5,0	4,0	2,1	T22	invloed schaalfaktor	7
						T12	invloed uitgangshelling	16
						T11A	invloed korrelgradering	19
						T9	invloed golfperiode	23
						T10	invloed golfperiode	23

Tabel I Overzicht uitgevoerde proeven

proef	schaal- faktor	uitgangs- helling cotg α	water- diepte (m)	golf- periode T (s)	golf- hoogte H (m)	vergelijking met	doel	figuur
T11A	5	6	5,0	4,0	2,1	T11 T9A T10A	invloed korrelgradering invloed golfperiode invloed golfperiode	19 23 23
T11B	5	6	5,0	4,0	0,5		invloed getijbeweging	-
T11C	5	6	4,0	4,0	0,5		invloed getijbeweging	-
T12	5	15	5,0	4,0	2,0	T11 T13 T14	invloed uitgangshelling invloed golfperiode invloed golfperiode	16 23 23
T13	5	15	5,0	6,0	2,1	T10 T12 T14	invloed uitgangshelling invloed golfperiode invloed golfperiode	16 23 23
T14	5	15	5,0	7,5	2,0	T9 T15 T12 T13	invloed uitgangshelling invloed uitgangshelling invloed golfperiode invloed golfperiode	16 16 23 23
T15	5	8	5,0	7,5	1,9	T19 T9 T14 T16	invloed schaalfaktor (duurproef) invloed uitgangshelling invloed uitgangshelling invloed doorlatende laag	6 16 16 18
T16	5	8	5,0	7,5	2,0	T15	invloed doorlatende laag	18
T17	5	8	5,0	7,5	1,8		invloed getijbeweging	-
			4,7 4,4 4,1					
T18	5	8	5,0 4,7 4,4 4,1	7,5	2,1		invloed getijbeweging	20/21
T19	20	8	5,0	7,5	2,0	T15 T20	invloed schaalfaktor invloed uitgangshelling	6 17
T20	20	6	5,0	7,5	2,0	T9 T30 T20A T19 T21 T22	invloed schaalfaktor invloed waterdiepte invloed gootbreedte invloed uitgangshelling invloed golfperiode invloed golfperiode	6 12 15 17 24 24

Tabel I Overzicht uitgevoerde proeven

proef	schal- faktor	uitgangs- helling cotg α	water- diepte (m)	golf- periode T (s)	golf- hoogte H (m)	vergelijking met	doel	figuur
T20A	20	6	5,0	7,5	-	T23	invloed golfperiode	24
T21	20	6	5,0	6,0	1,9	T24	invloed golfperiode	24
						T20	invloed gootbreedte	15
						T10	invloed schalfaktor	7
						T31	invloed waterdiepte	12
						-	invloed gootbreedte	14
						T20	invloed golfperiode	24
						T22	invloed golfperiode	24
						T23	invloed golfperiode	24
						T24	invloed golfperiode	24
T22	20	6	5,0	4,5	2,0	T11	invloed schalfaktor	7
						T20	invloed golfperiode	24
						T21	invloed golfperiode	24
						T23	invloed golfperiode	24
						T24	invloed golfperiode	24
T23	20	6	5,0	15,0	1,9	T23A	ligging t.o.v. golfopwekker	9
						T32	invloed waterdiepte	13
						T20	invloed golfperiode	24
						T21	invloed golfperiode	24
						T22	invloed golfperiode	24
						T24	invloed golfperiode	24
T23A	20	6	5,0	15,0	-	T23	invloed ligging t.o.v. golfopwekker	9
T24	20	6	5,0	10,9	2,0	T24A	invloed ligging t.o.v. golfopwekker	9
						T29	invloed waterdiepte	13
						T24A	invloed gootbreedte	15
						T20	invloed golfperiode	24
						T21	invloed golfperiode	24
						T22	invloed golfperiode	24
						T23	invloed golfperiode	24
T24A	20	6	5,0	10,9	-	T24	invloed ligging t.o.v. golfopwekker	9
						T24	invloed gootbreedte	15
T25	20	6	20,0	7,5	7,9	T26	invloed golfperiode	24
						T28	invloed golfperiode	24
T26	20	6	20,0	6,0	5,8	T25	invloed golfperiode	24
						T28	invloed golfperiode	24

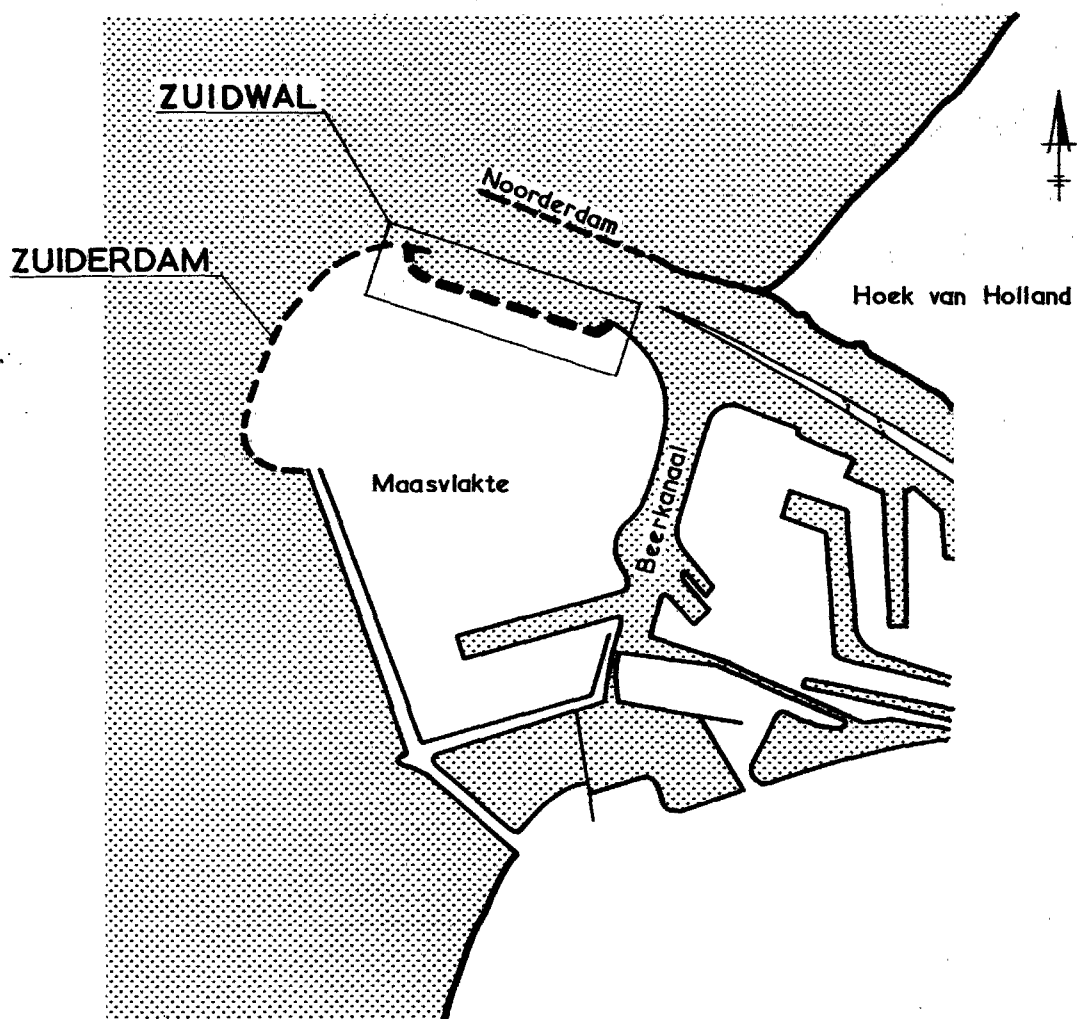
Tabel I Overzicht uitgevoerde proeven

proef	schaal- faktor	uitgangs- helling cotg α	water- diepte (m)	golf- periode T (s)	golf- hoogte H (m)	vergelijking met	doel	figuur
T27	20	6	20,0	4,4	2,8		invloed golfhoogte	-
T28	20	6	20,0	10,9	7,8	T25	invloed golfperiode	24
					T26	invloed golfperiode	24	
					-	driedimensionaal effect	5	
T29	20	6	14,4	10,9	2,0	T24	invloed waterdiepte	13
					T30	invloed golfperiode	24	
					T31	invloed golfperiode	24	
					T32	invloed golfperiode	24	
T30	20	6	14,4	7,5	2,0	T20	invloed waterdiepte	12
					T29	invloed golfperiode	24	
					T31	invloed golfperiode	24	
					T32	invloed golfperiode	24	
T31	20	6	14,4	6,0	2,0	T21	invloed waterdiepte	12
					T29	invloed golfperiode	24	
					T30	invloed golfperiode	24	
					T32	invloed golfperiode	24	
T32	20	6	14,4	15,0	2,0	T23	invloed waterdiepte	13
					T29	invloed golfperiode	24	
					T30	invloed golfperiode	24	
					T31	invloed golfperiode	24	
T36	5	6	5,0	6,0	2,0		invloed ligging t.o.v. golfopwekker	10/11

Tabel 1 Overzicht uitgevoerde proeven

proef	schaal- factor	uitgangs- helling	water- stand	T (s)	H (m)	doel	figuur
T33	20	6	N.A.P. - 1,0 tot N.A.P. + 2,0	10,9 7,5 6,0	3,0	voorlopig ontwerp Zuidwal zomercondities	25
T34	20	6	N.A.P. tot N.A.P. - 3,0	10,9	6,2	voorlopig ontwerp Zuidwal wintercondities	25
T35	20	6	N.A.P. tot N.A.P. + 2,0	10,9	7,5	voorlopig ontwerp Zuidwal wintercondities	25
T37	10	6	N.A.P. + 3,0	8,0 11,0	3,5	invloed vooroever	29/30

Tabel II Overzicht uitgevoerde proeven Zuidwal



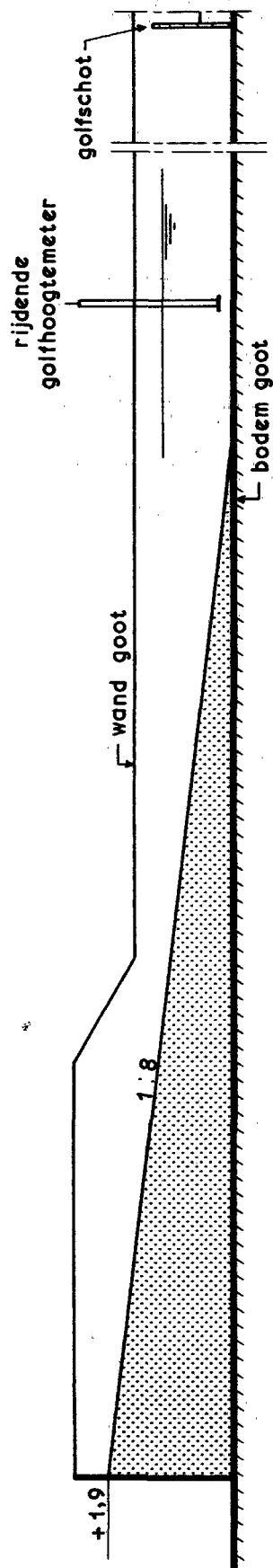
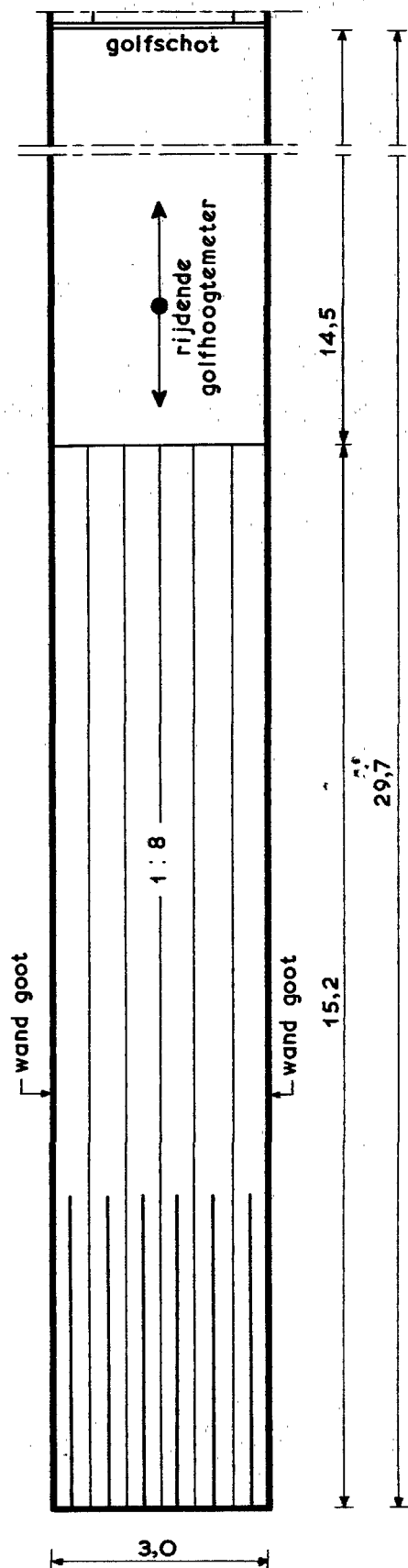
SITUATIE ZUIDWAL

SCHAAL 1:100.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 1



maten in m model

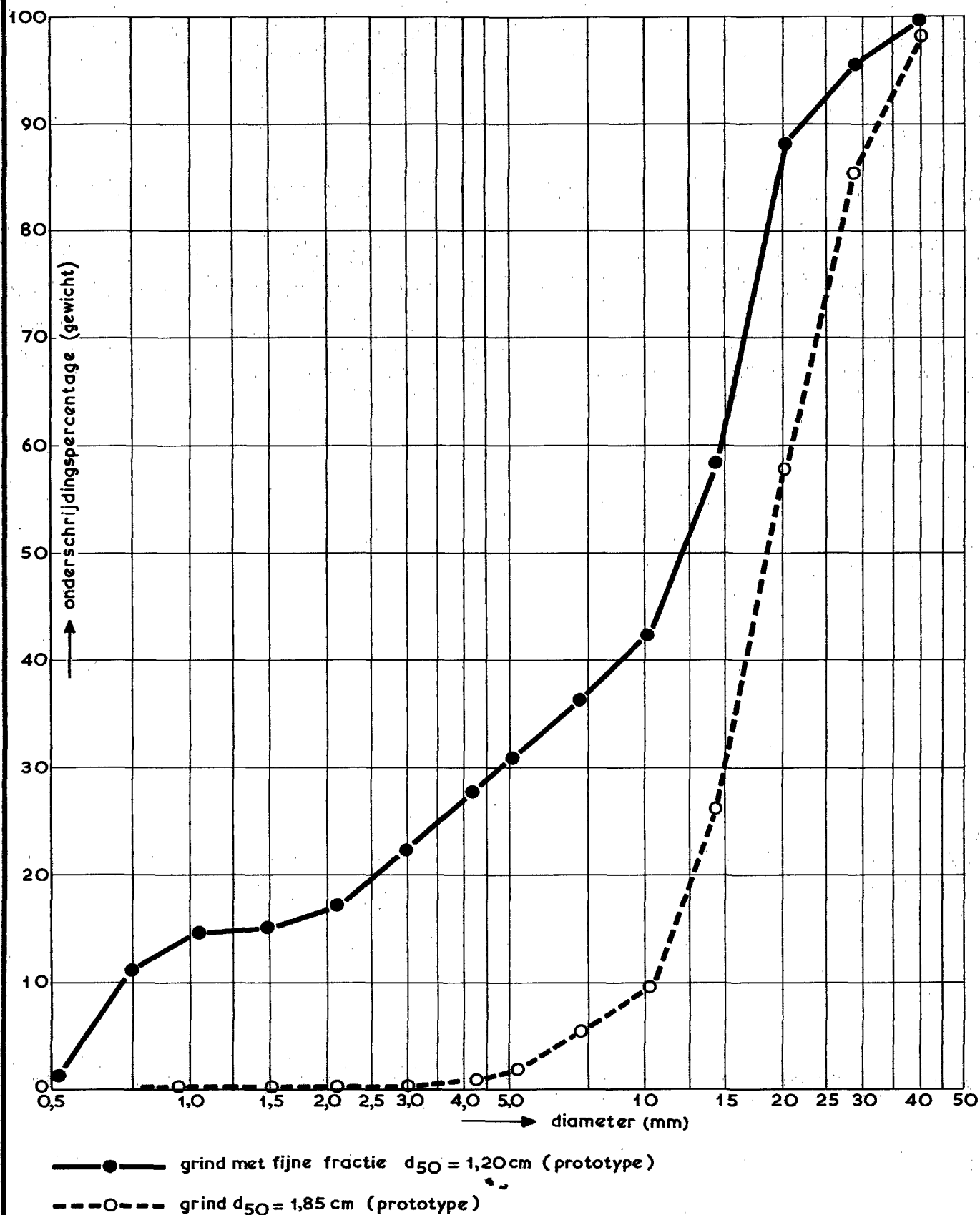
OVERZICHT MODELOPSTELLING

SCHAAL 1:100

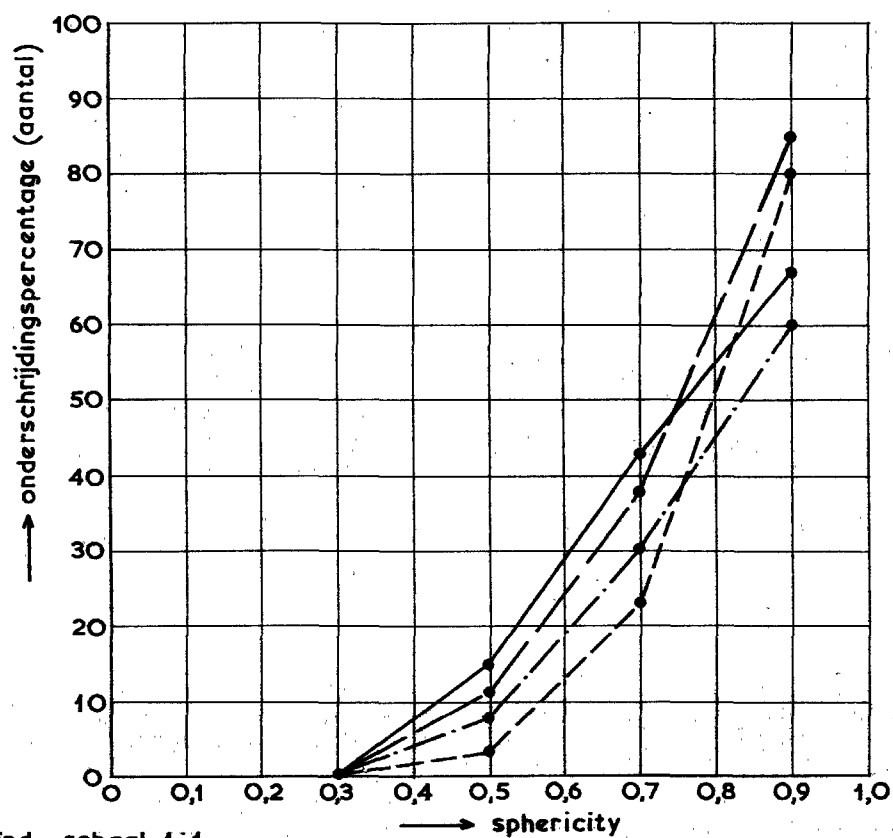
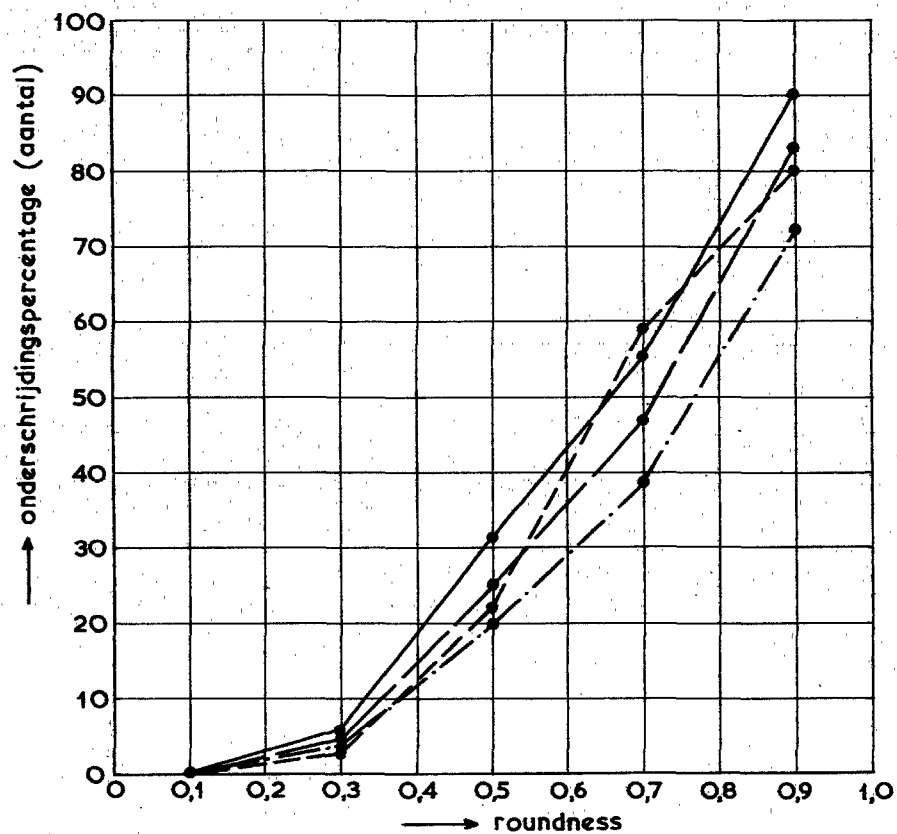
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 2



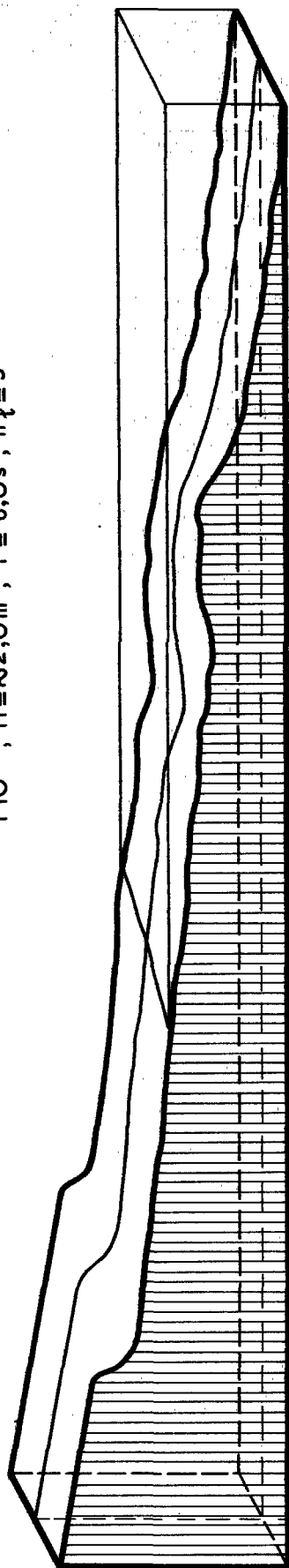
KORRELVERDELINGEN



- zeegrind schaal 1:1
- zeegrind schaal 1:5
- - - - - zeegrind met fijne fractie schaal 1:5
- zeegrind schaal 1:20

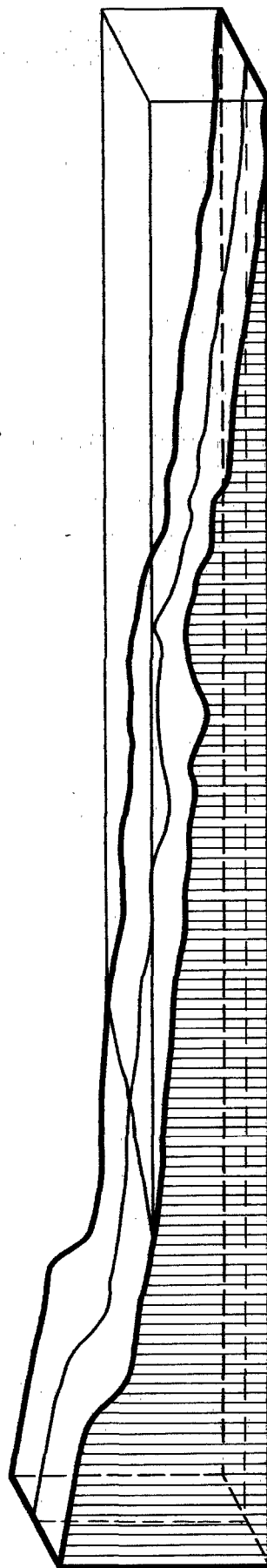
„ROUNDNESS” EN „SPHERICITY” VAN DE
GEBRUIKTE MATERIALEN

T10^a ; H=2,0m ; T=6,0s ; n_f=5



schaal : 0 2 4 6 8 10m (prototype)

T28 ; H=8,0m ; T=10,9s ; n_f=20



schaal : 0 10 20 30 40 50m (prototype)

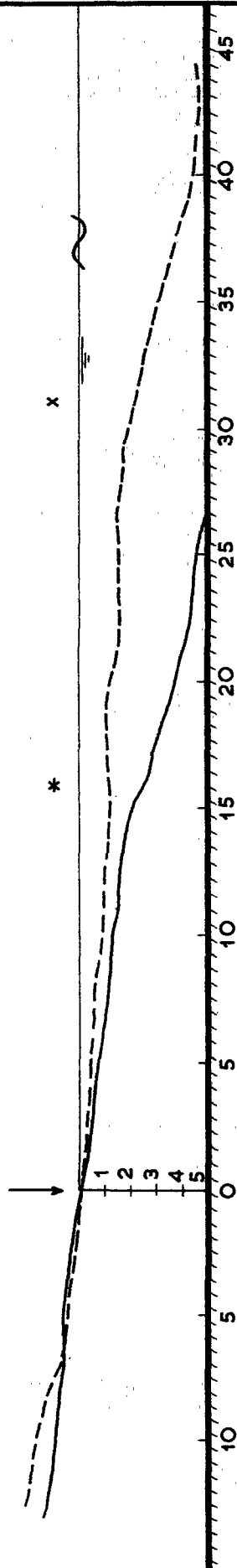
VOORBEELD DRIEDIMENSIONAAL EFFECT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

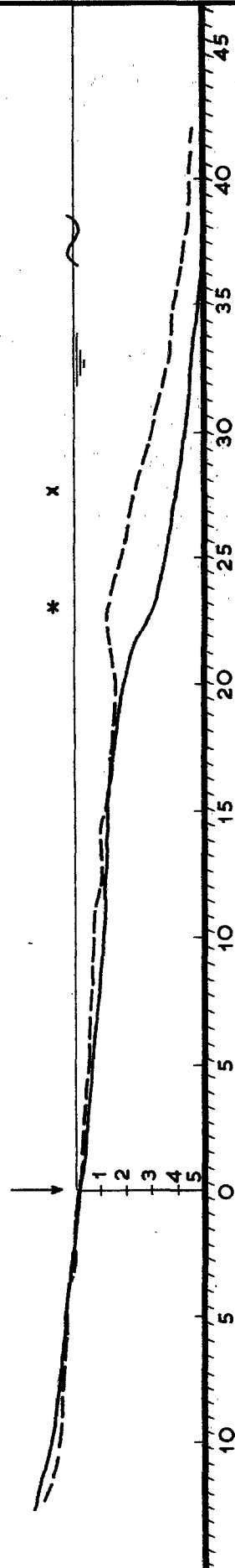
M. 1063

FIG. 5

$T=7,5s$; $H \sim 2,0m$; uitgangshelling 1:6



$T=7,5s$; $H \sim 2,0m$; uitgangshelling 1:8



* — $n_f=5$

x - - $n_f=20$

↑ breakpunt golven

maten in m prototype
waterdiepte $h=5m$

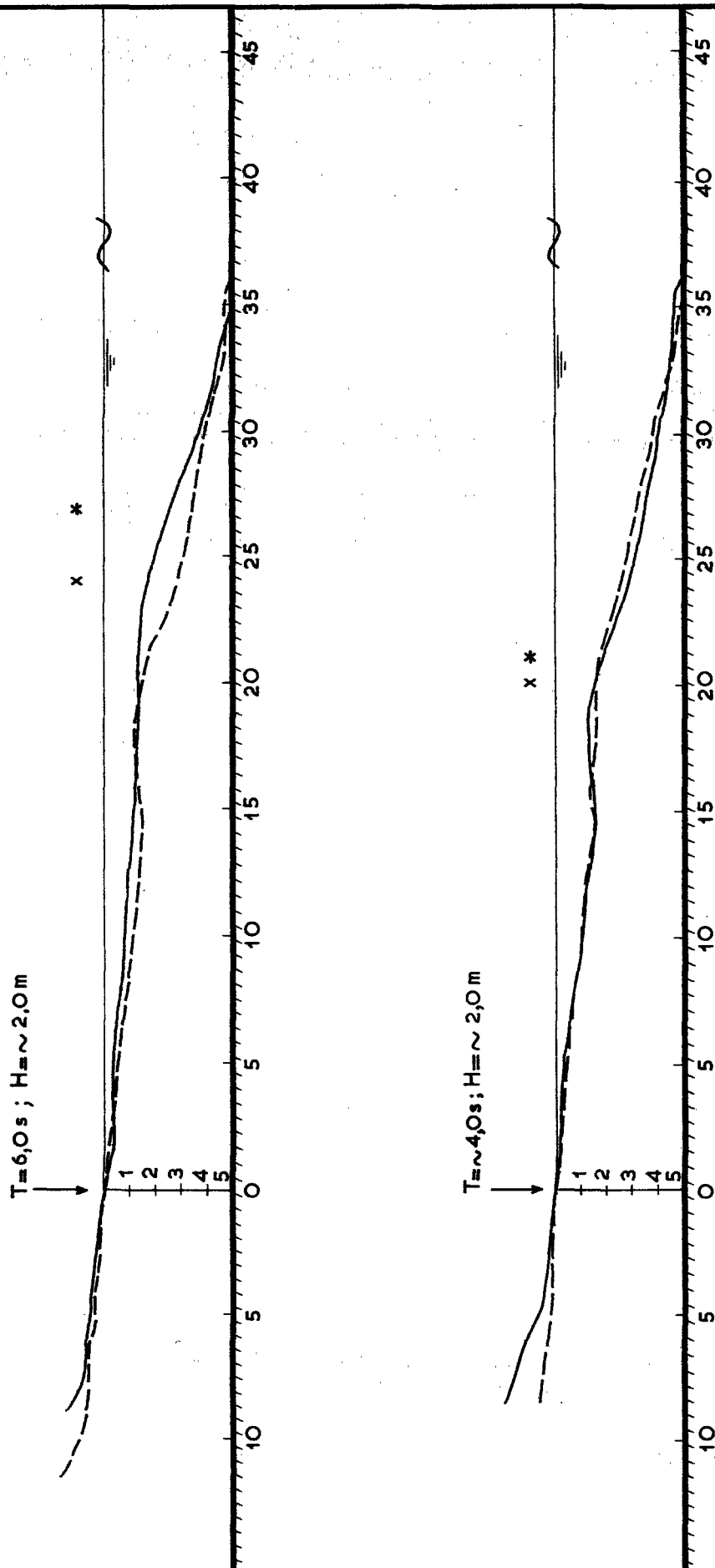
INVLOED SCHAAI OP EVENWICHTSPROFIEL

SCHAAI 1: 250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 6



maten in m prototype
 waterdiepte $h=5m$
 uitgangshelling 1:6

INVLOED SCHAAL OP EVENWICHTSPROFIEL

SCHAAL 1:250

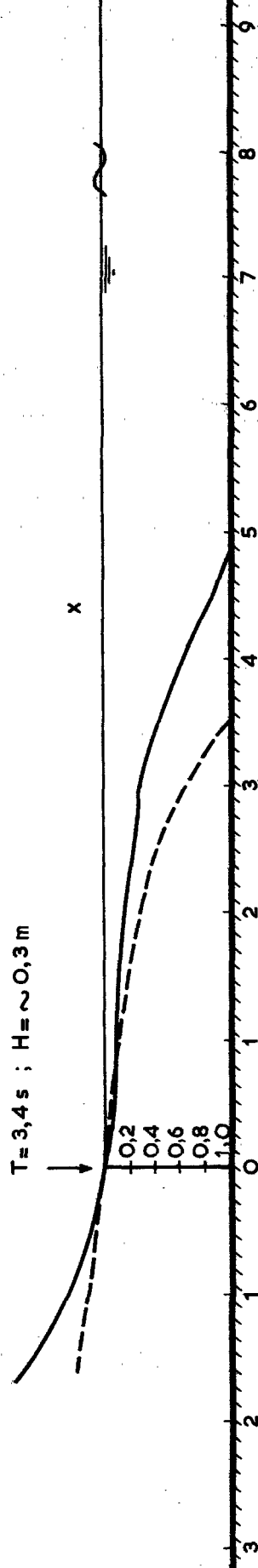
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 7

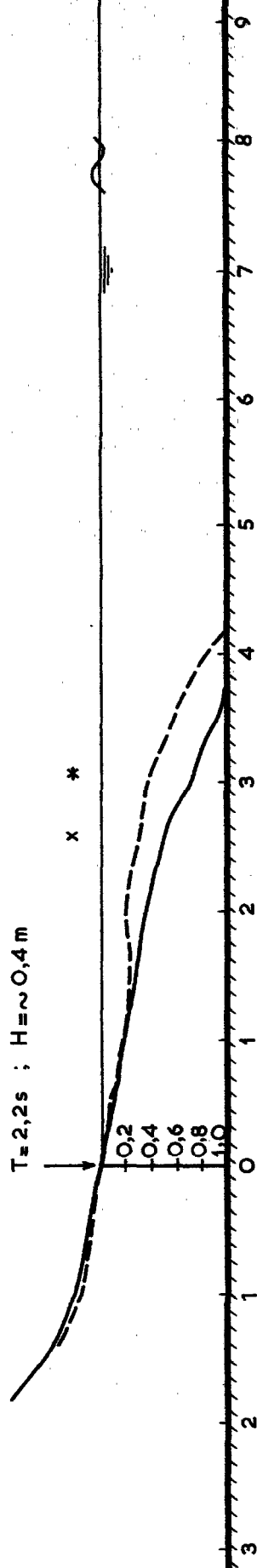
$T=3,4s$; $H \sim 0,3m$

x



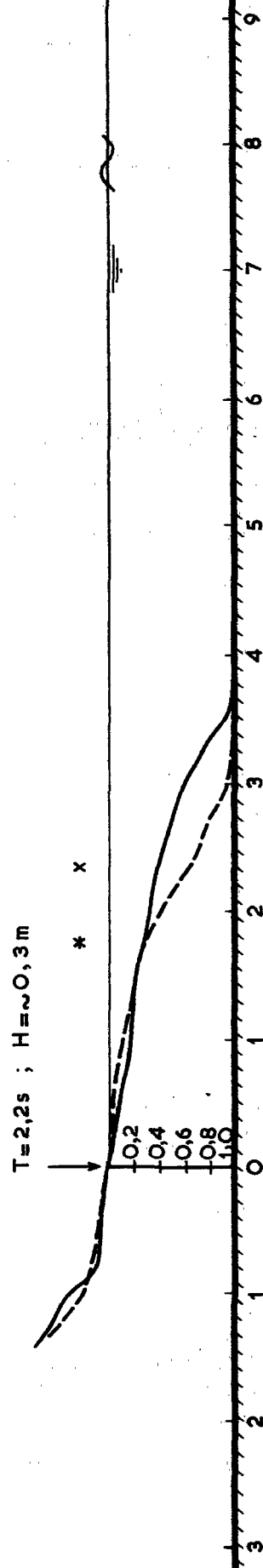
$T=2,2s$; $H \sim 0,4m$

x *



$T=2,2s$; $H \sim 0,3m$

x *



* --- $n\ell = 1$
 x — $n\ell = 5$
 ↑ breakpunt golven

maten in m prototype
 waterdiepte $h=1m$
 uitgangshelling 1:3

INVLOED SCHAAL OP EVENWICHTSPROFIEL

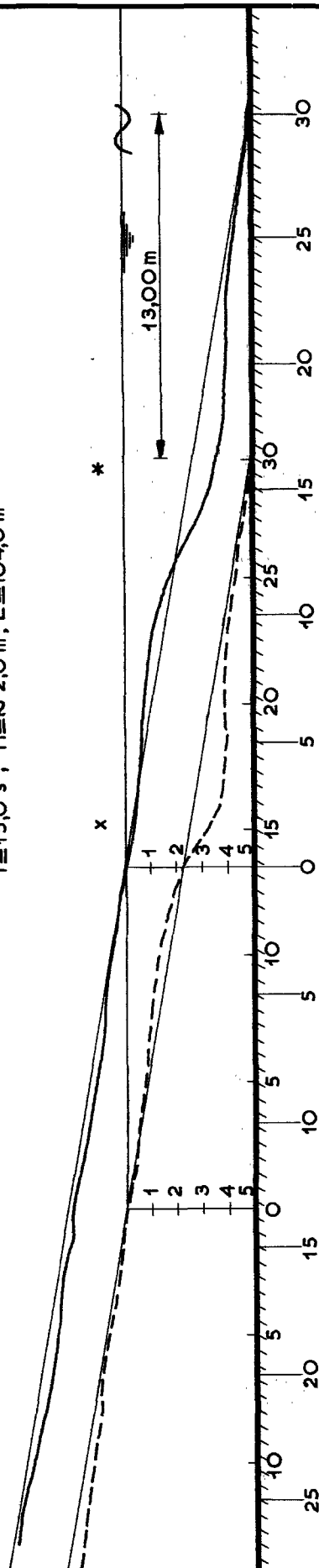
SCHAAL 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

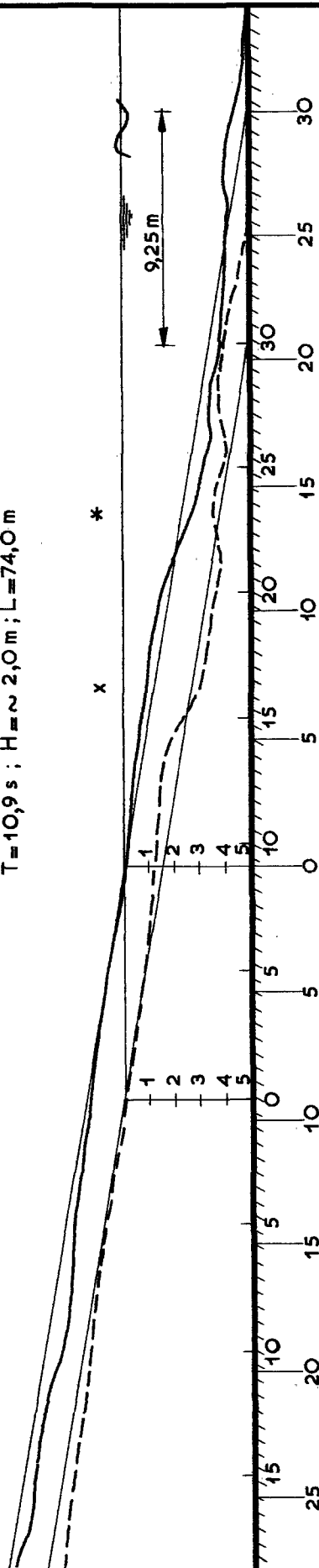
M. 1063

FIG. 8

$T=15,0\text{ s}$; $H \approx 2,0\text{ m}$; $L=104,0\text{ m}$



$T=10,9\text{ s}$; $H \approx 2,0\text{ m}$; $L=74,0\text{ m}$



maten in m prototype
waterdiepte $h=5\text{ m}$
 $n_f=20$
uitgangshelling 1:6

* — afstand model - golfschot = A
x — afstand model - golfschot = $A + 1/8 L$
A — breekpunt golven

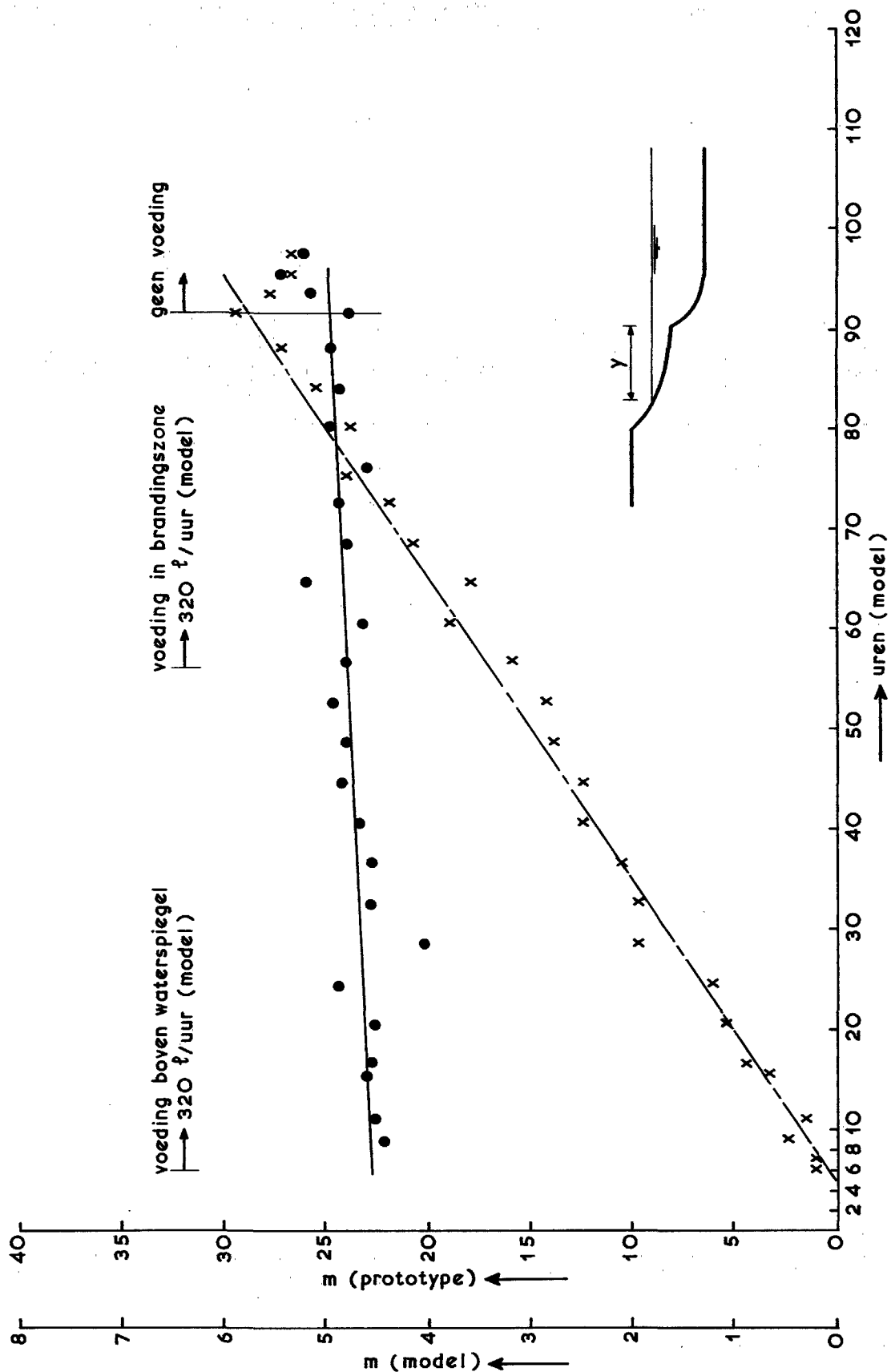
INVLOED LIGGING TEN OPZICHTE VAN
GOLFOPWEKKER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SCHAAL 1:250

M. 1063

FIG. 9



golfperiode $T = 2,7 \text{ s}$ (model)
 waterdiepte $h = 1,0 \text{ m}$ (model)
 golfhoogte $H = 0,4 \text{ m}$ (model)
 golflengte $L = 7,7 \text{ m}$ (model)

x verplaatsing van de waterlijn t.o.v.
 de ligging na 5 uur
 • lengte y

INVLOED LIGGING TEN OPZICHTE VAN
GOLFOPWEKKER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

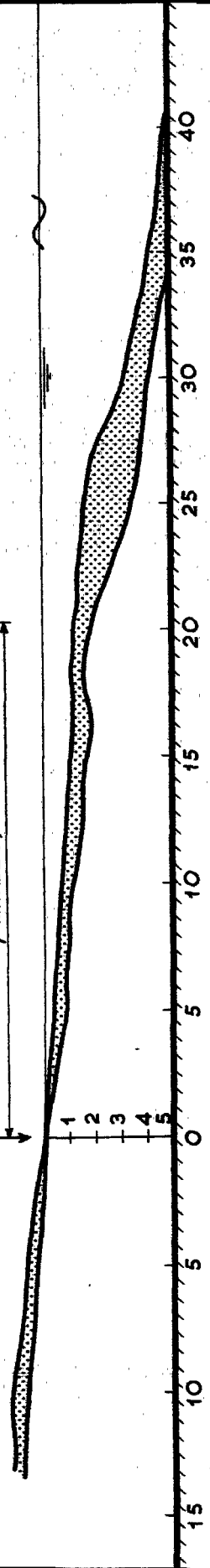
FIG. 10

$T = 6,0s$; $H \approx 2,0m$; $L = 38,2$; $n_p = 5$

$y_{max} = 26,0m$

$y_{min} = 20,3m$

1
2
3
4
5



profielvariaties tijdens voedingperiode



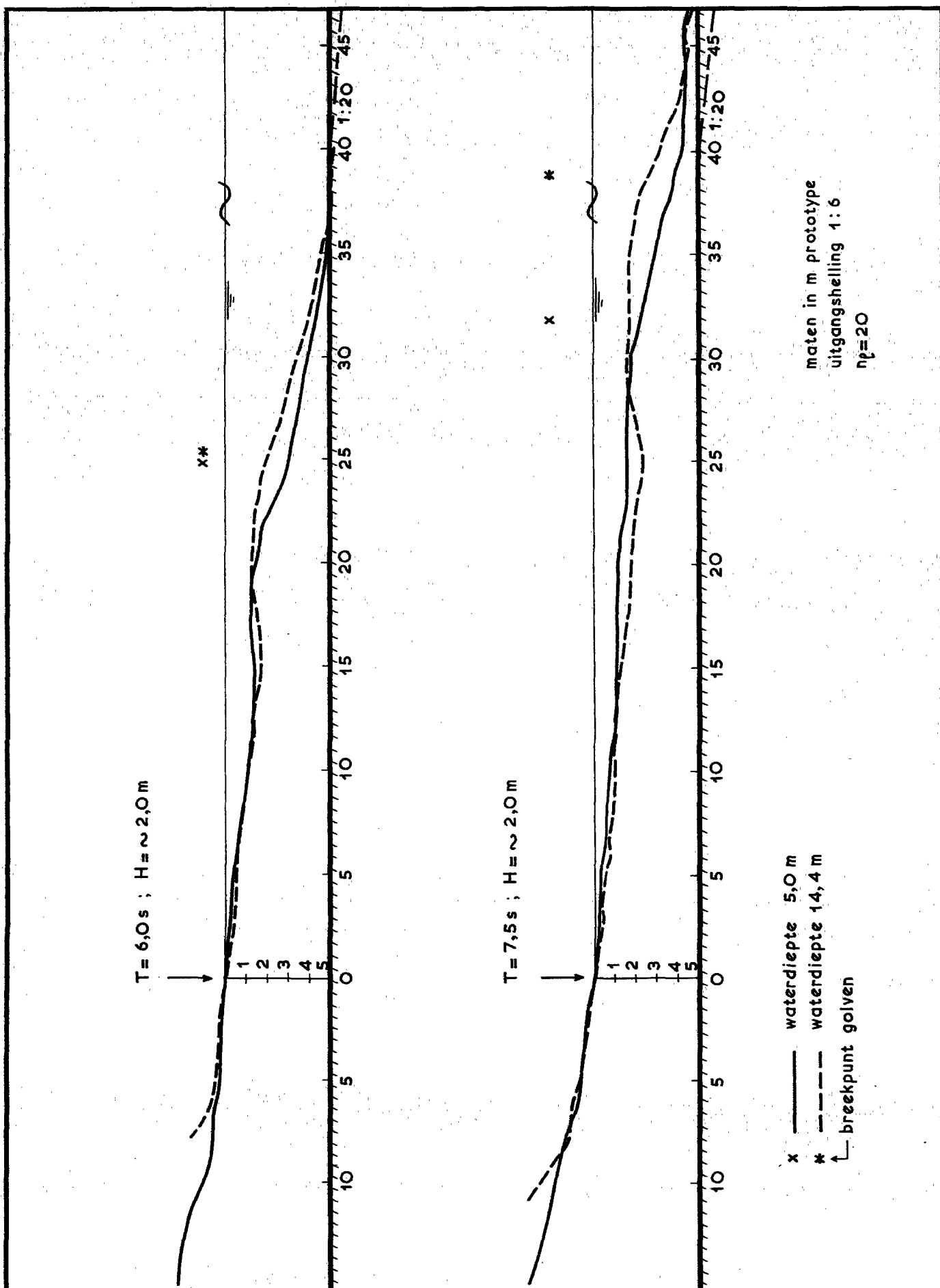
INVLOED LIGGING TEN OPZICHTE VAN
GOLFOPWEKKER

SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 11



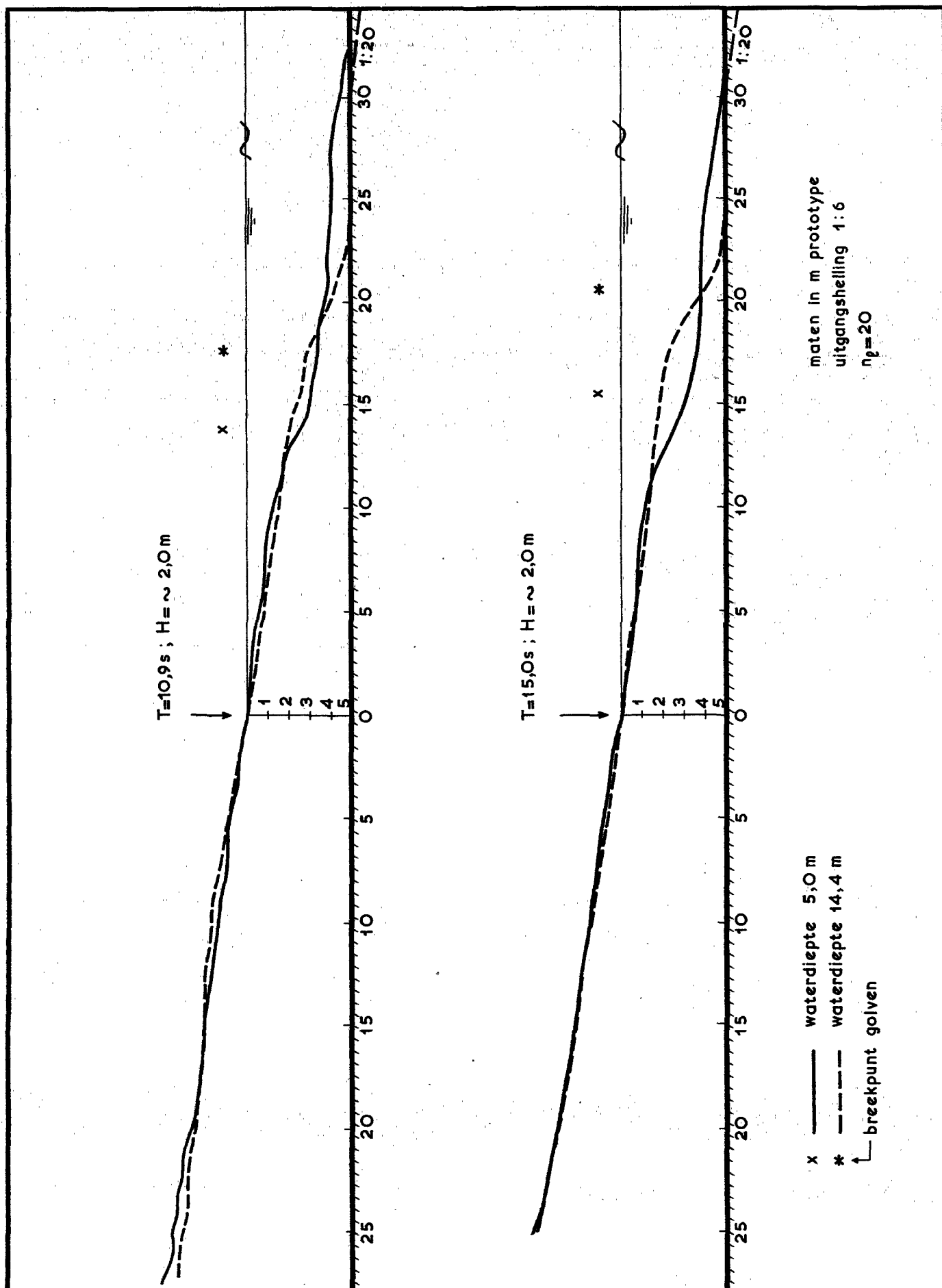
INVLOED WATERDIEPTE OP EVENWICHTSPROFIEL

SCHAAL 1: 250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 12



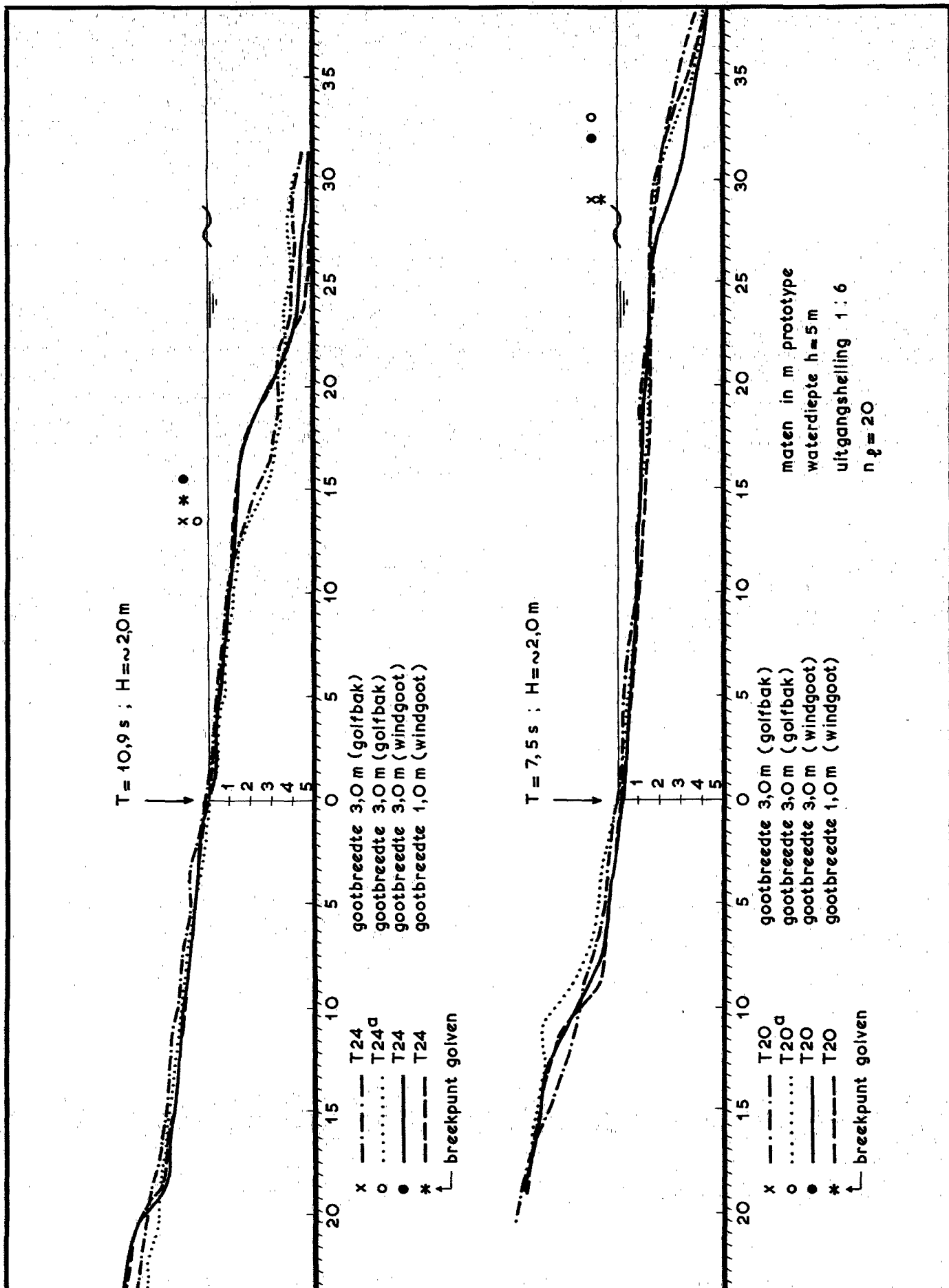
INVLOED WATERDIEPTE OP EVENWICHTSPROFIEL

SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 13



INVLOED GOOTBREEDTE

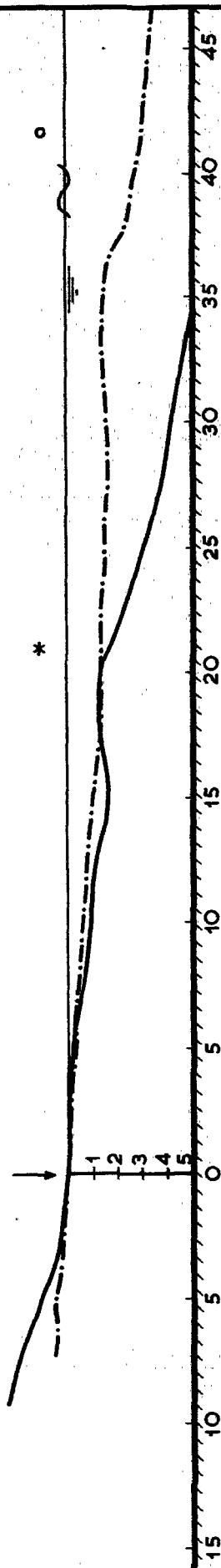
SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

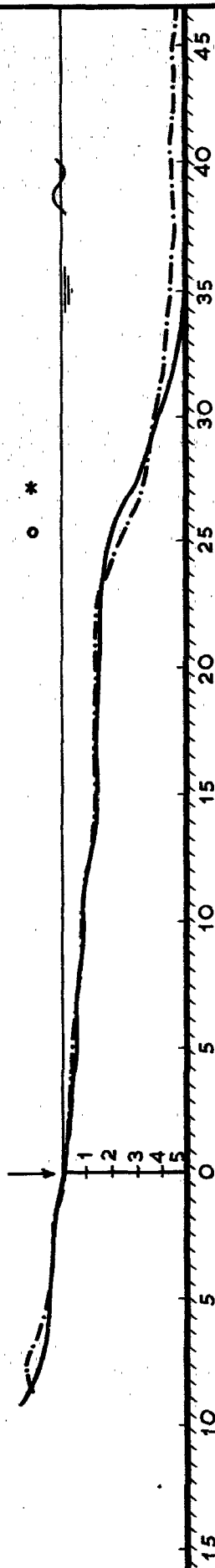
M. 1063

FIG. 15

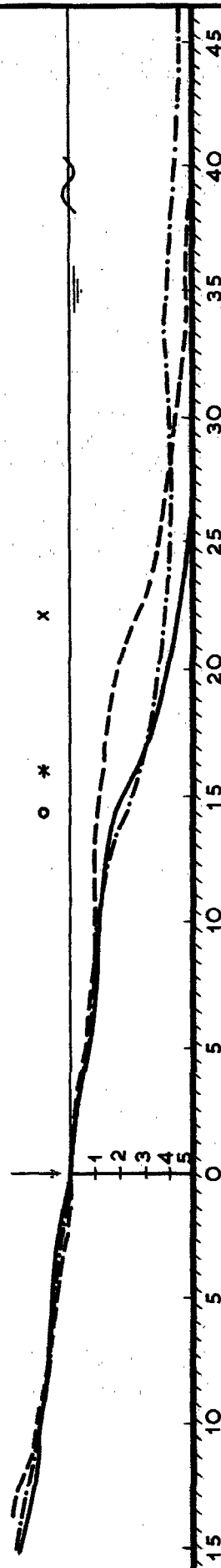
$T = 4,0s ; H = \sim 2,0m$



$T = 6,0s ; H = \sim 2,0m$



$T = 7,5s ; H = \sim 2,0m$



maten in m prototype
waterdiepte $h = 5m$
 $\eta_f = 5$

* — uitgangshelling 1:6
x — " " 1:8
o — " " 1:15
↑ breakpoint golv

INVLOED UITGANGSHELLING

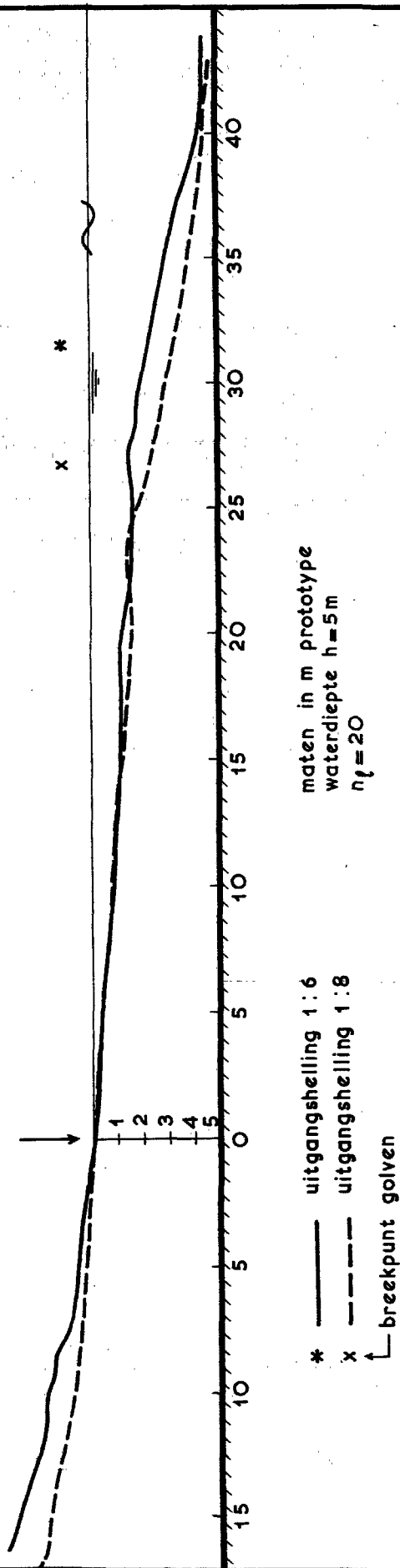
SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 16

$T=7,5s$; $H \approx 2,0m$



INVLOED UITGANGSHELLING

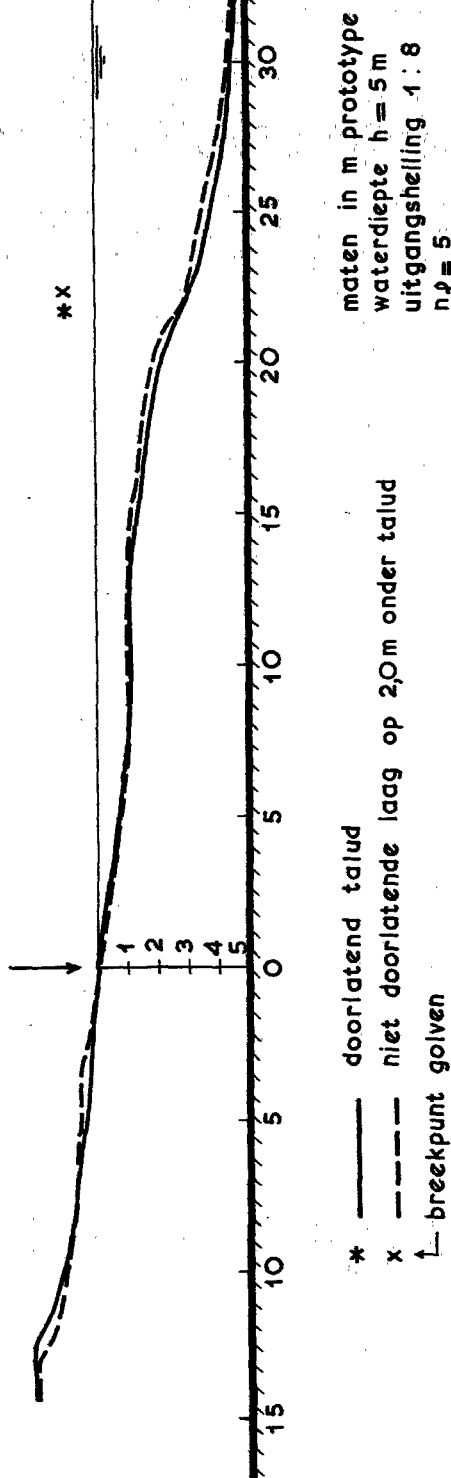
SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1063

FIG. 17

$T = 7,5s$; $H \approx 2,0m$



maten in m prototype
waterdiepte $h = 5m$
uitgangshelling 1 : 8
 $n \cdot \phi = 5$

* — doorlatend talud
x — niet doorlatende laag op 2,0m onder talud
↑ breekpunt golven

INVLOED NIET-DOORLATENDE LAAG

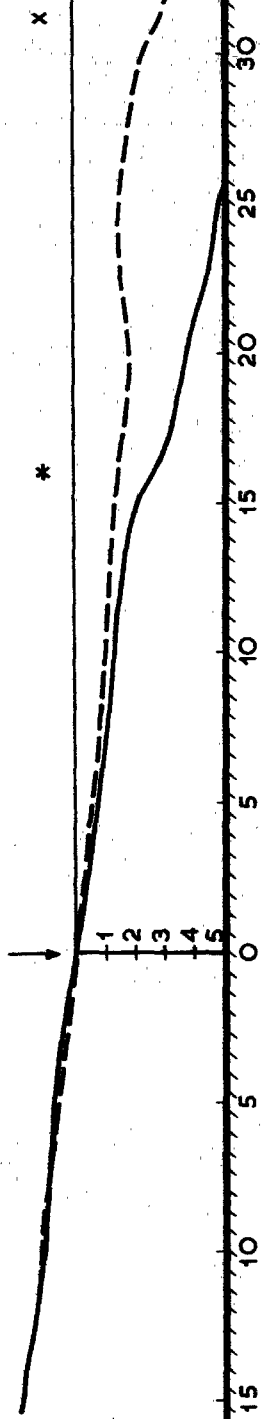
SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

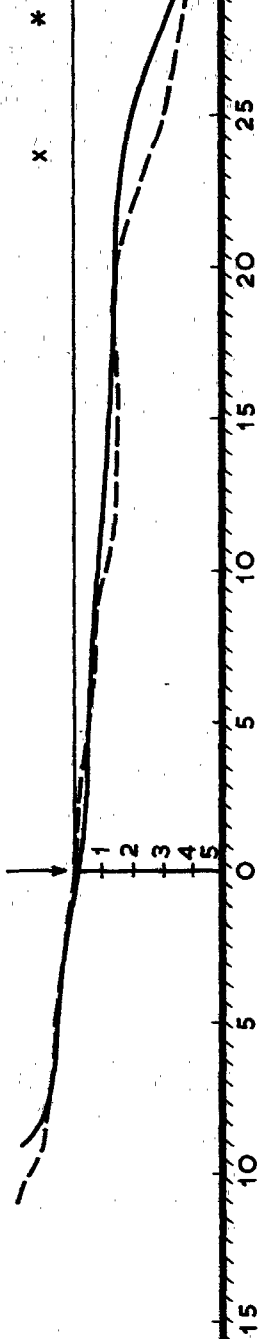
M. 1063

FIG. 18

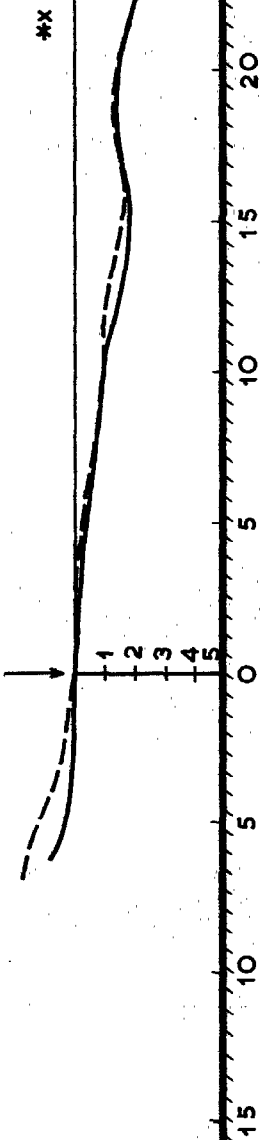
$T=7,5s$; $H \sim 2,0m$



$T=6,0s$; $H \sim 2,0m$



$T=4,0s$; $H \sim 2,0m$



$d_{50} = 1,85 \text{ cm}$

$d_{50} = 1,20 \text{ cm}$

breakpunt golven

maten in m prototype
waterdiepte $h=5m$
uitgangshelling 4:6
 $n_g = 5$

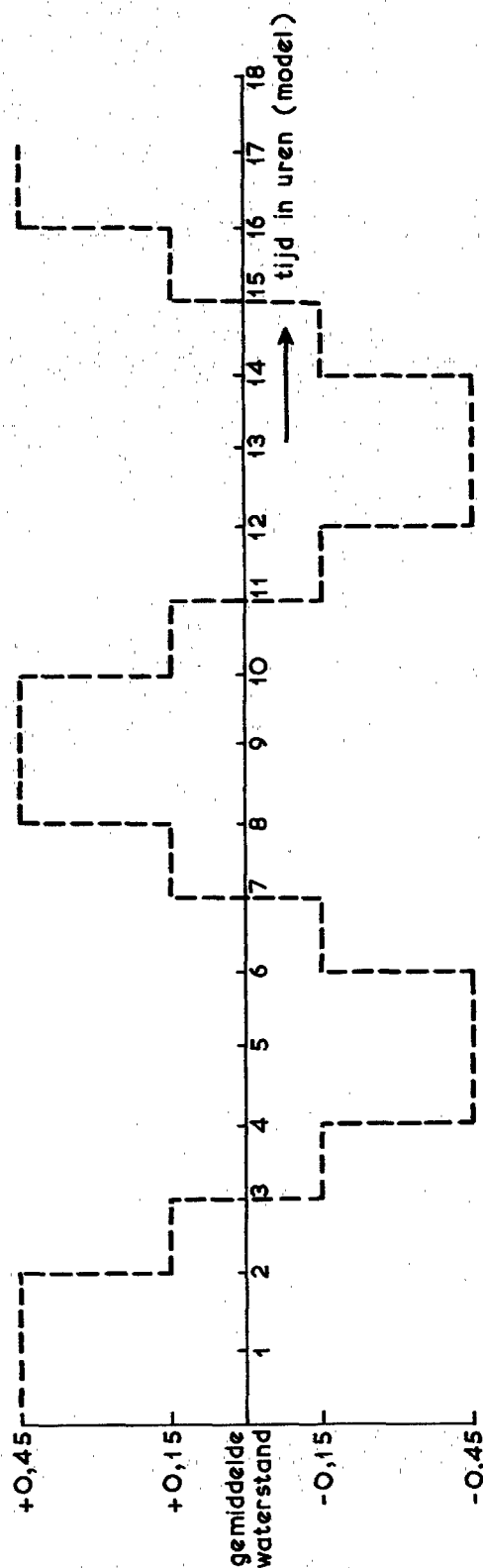
INVLOED FIJNE FRACTIE

SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 19



gemiddelde waterdiepte $h=4,55$ m

maten in m prototype

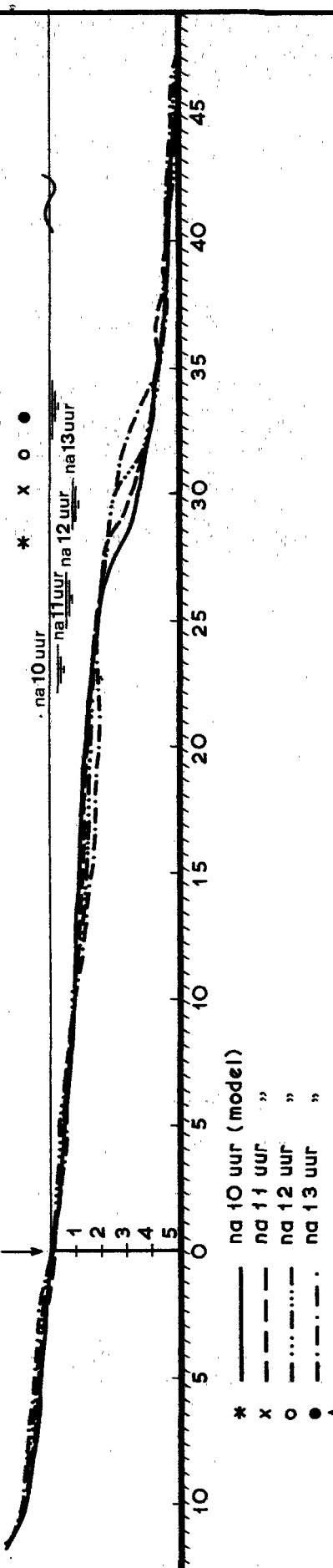
GETUSIMULATIE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1063

FIG. 20

$T = 7,5 s$; $H = \sim 2,0 m$



* — na 10 uur (model)

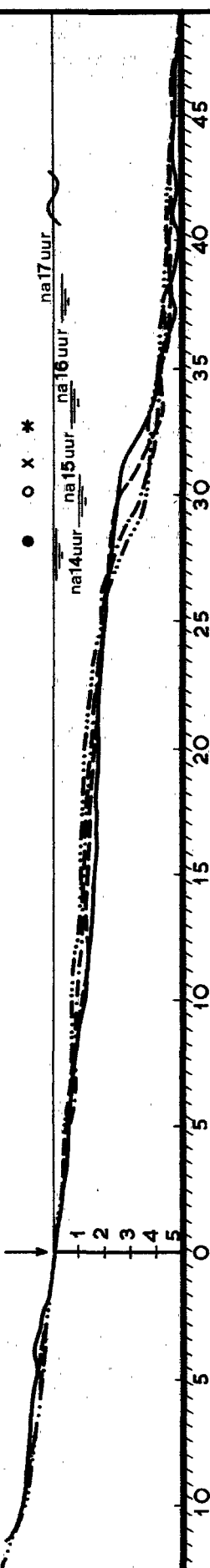
x - - na 11 uur "

o . . na 12 uur "

• - . na 13 uur "

↑ breekpunt golven

$T = 7,5 s$; $H = \sim 2,0 m$



* — na 14 uur (model)

x - - na 15 uur "

o . . na 16 uur "

• - . na 17 uur "

↑ breekpunt golven

maten in m prototype
gemiddelde waterdiepte $h = 4,55 m$
uitgangshelling 1:8
 $n_2 = 5$

INVLOED WISSELENDE WATERSTANDEN

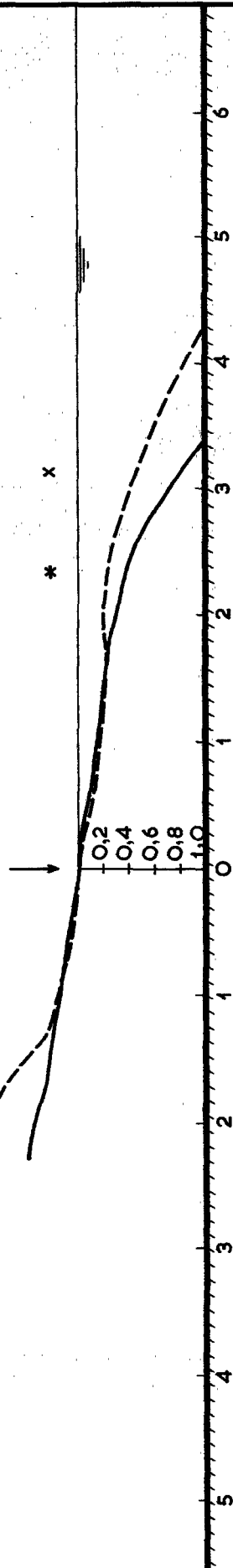
SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

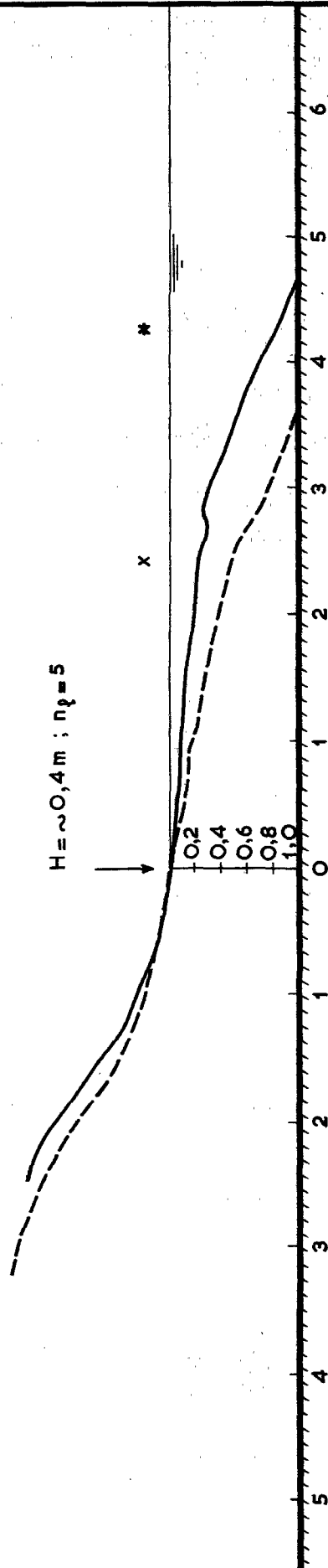
M. 1063

FIG. 21

$H \approx 0,4 \text{ m} ; n_g = 1$



$H \approx 0,4 \text{ m} ; n_g = 5$



maten in m prototype
waterdiepte $h = 1 \text{ m}$
uitgangshelling 1:3

* — $T = 3,4 \text{ s}$
x — $T = 2,2 \text{ s}$
↑ breakpunt golven

INVLOED GOLFPERIODE OP EVENWICHTSPROFIEL

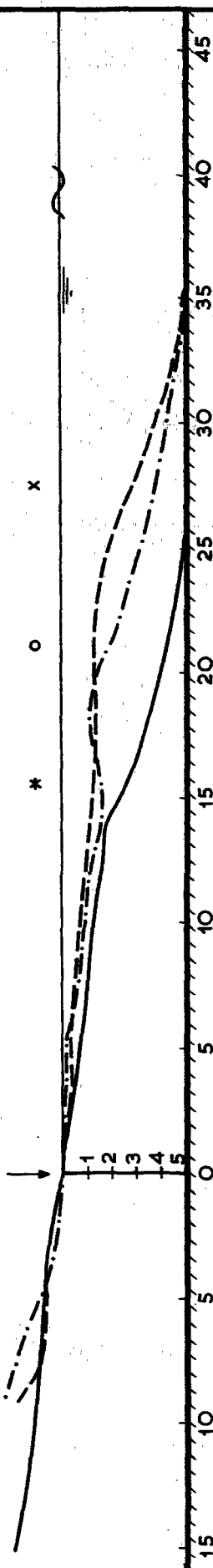
SCHAAL 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

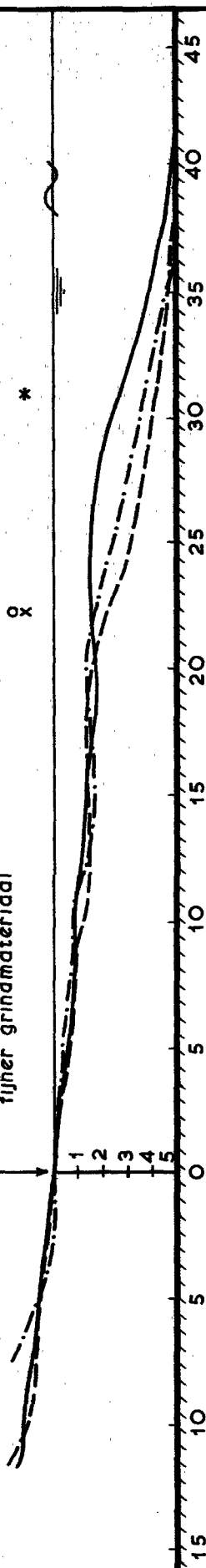
M. 1063

FIG. 22

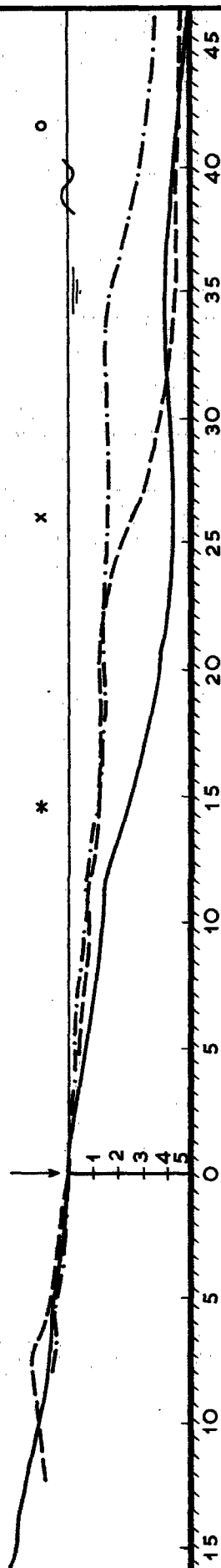
$H \approx 2,0\text{m}$; uitgangshelling 1:6



$H \approx 2,0\text{m}$; uitgangshelling 1:6
fijner grindmateriaal



$H \approx 2,0\text{m}$; uitgangshelling 1:15



* $T = 7,5\text{s}$
x $T = 6,0\text{s}$
o $T = 4,0\text{s}$
↑ breakpunt golven

maten in m prototype
waterdiepte $h = 5\text{m}$
 $n_b = 5$

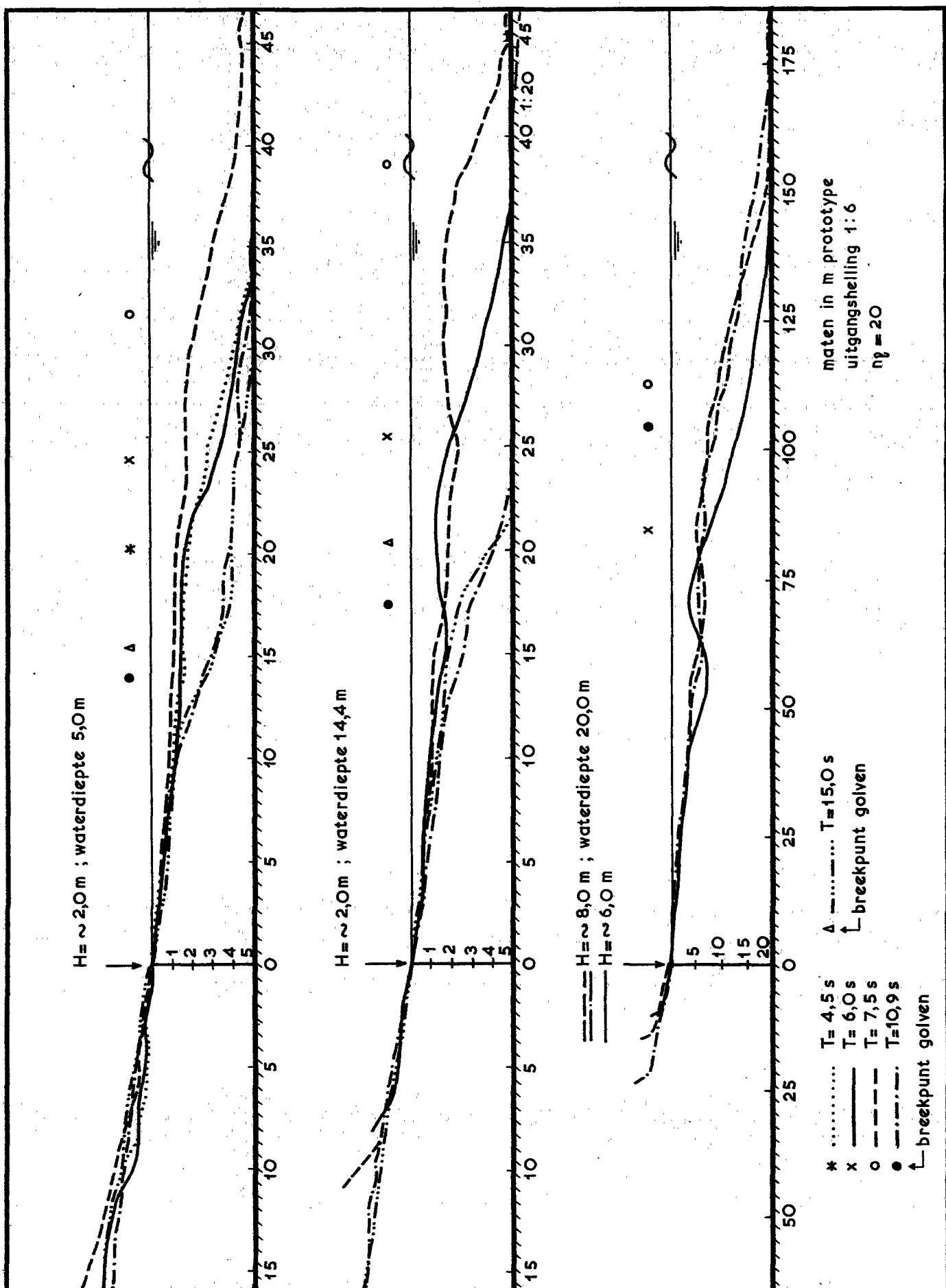
INVLOED GOLFPERIODE OP EVENWICHTSPROFIEL

SCHAAL 1:250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 23



INVLOED GOLFPERIODE OP EVENWICHTSPROFIEL

SCHAAL 1: 250

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

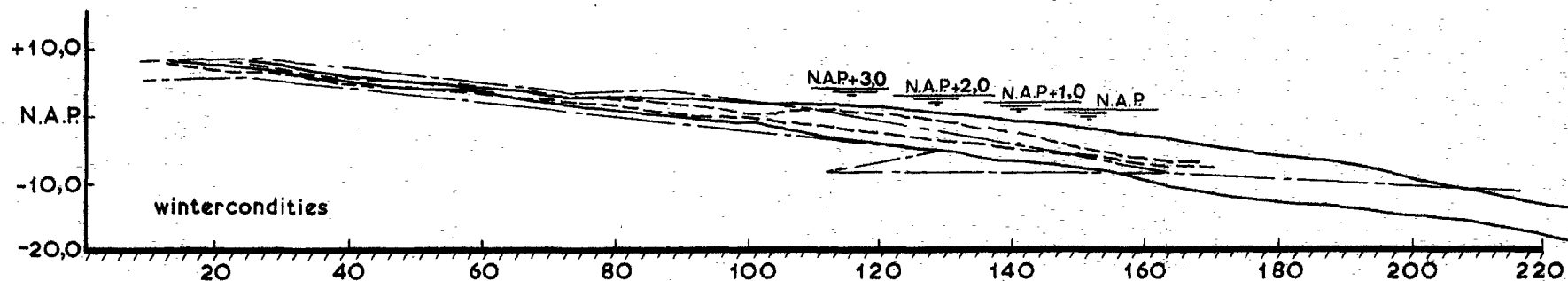
M. 1063

FIG. 24

PROFIELVARIATIES VOORLOPIG ONTWERP ZUIDWAL

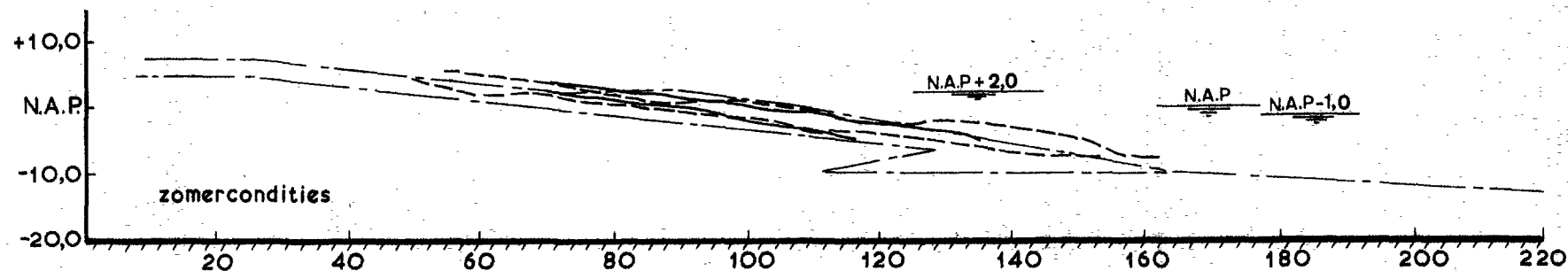
M. 1063

FIG. 25



— omhullenden samengesteld uit „principe”proeven
 H tot 8,0m ; T=6,0-11,0s
 waterstanden N.A.P. - N.A.P.+3,0m

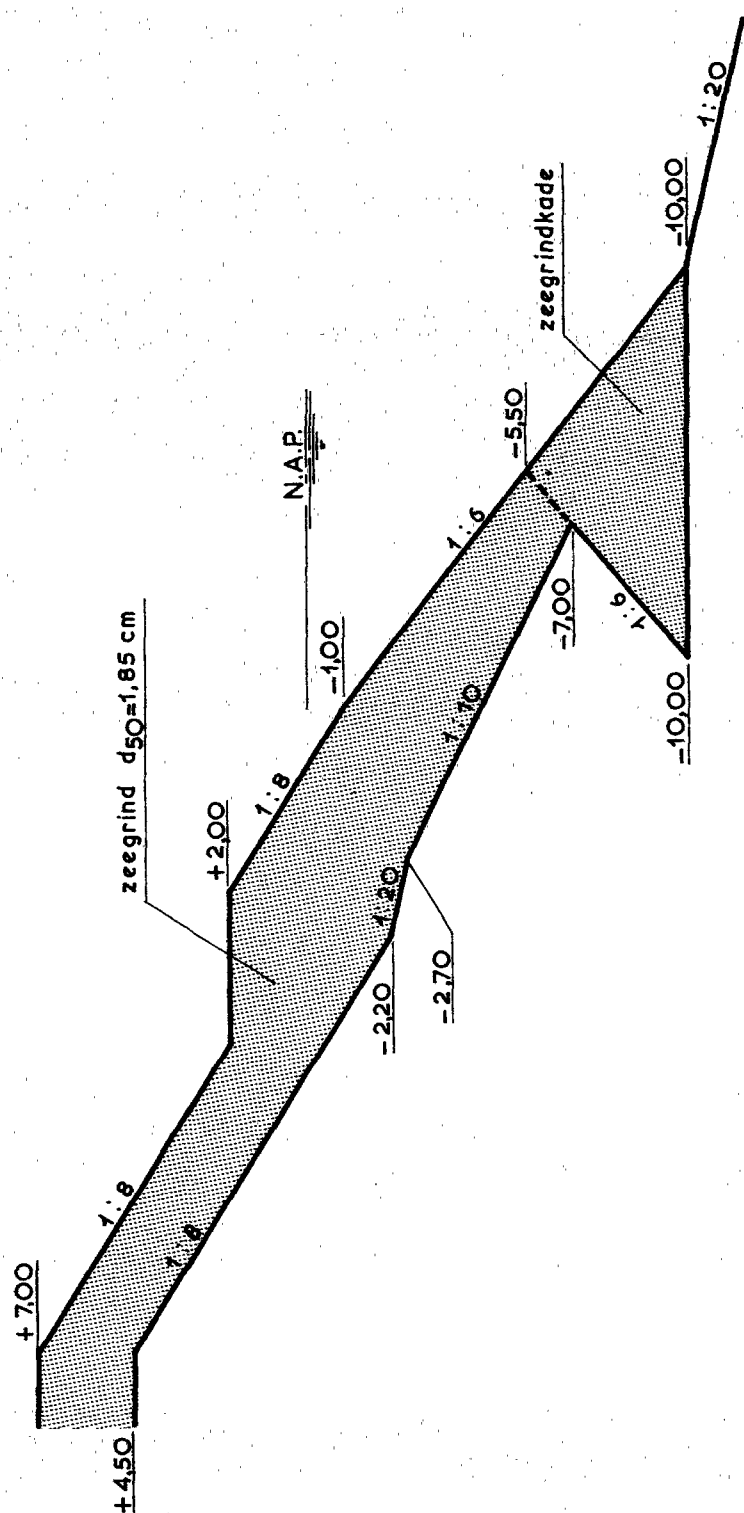
--- omhullenden volgens proeven voorlopig
 ontwerp Zuidwal
 - - - uitgangsprofiel voorlopig ontwerp Zuidwal



— omhullenden samengesteld uit „principe”proeven
 H tot 2,0m ; T=4,0-7,5s
 waterstanden N.A.P.-1,0m - N.A.P.+2,0m

--- omhullenden volgens proeven voorlopig
 ontwerp Zuidwal
 - - - uitgangsprofiel voorlopig ontwerp Zuidwal

maten in m prototype



maten in m prototype

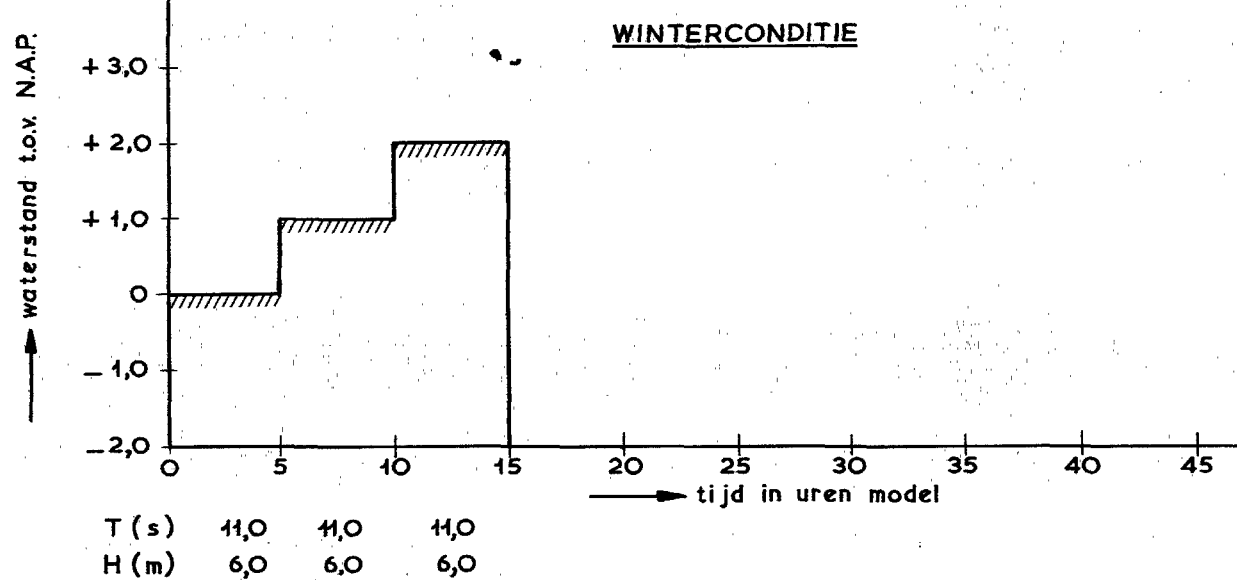
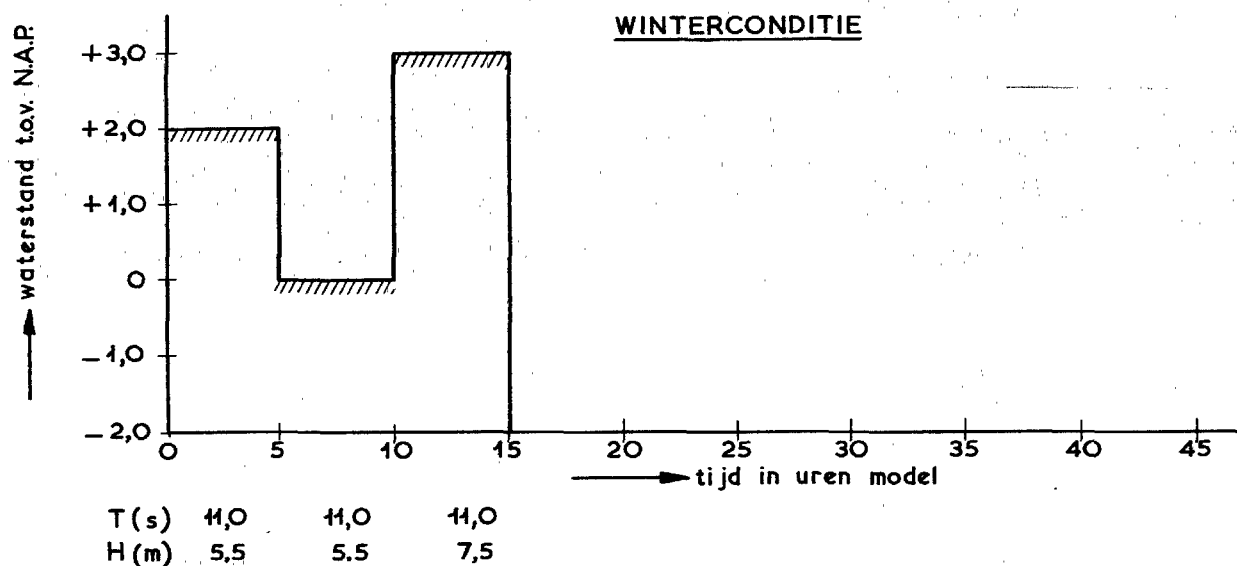
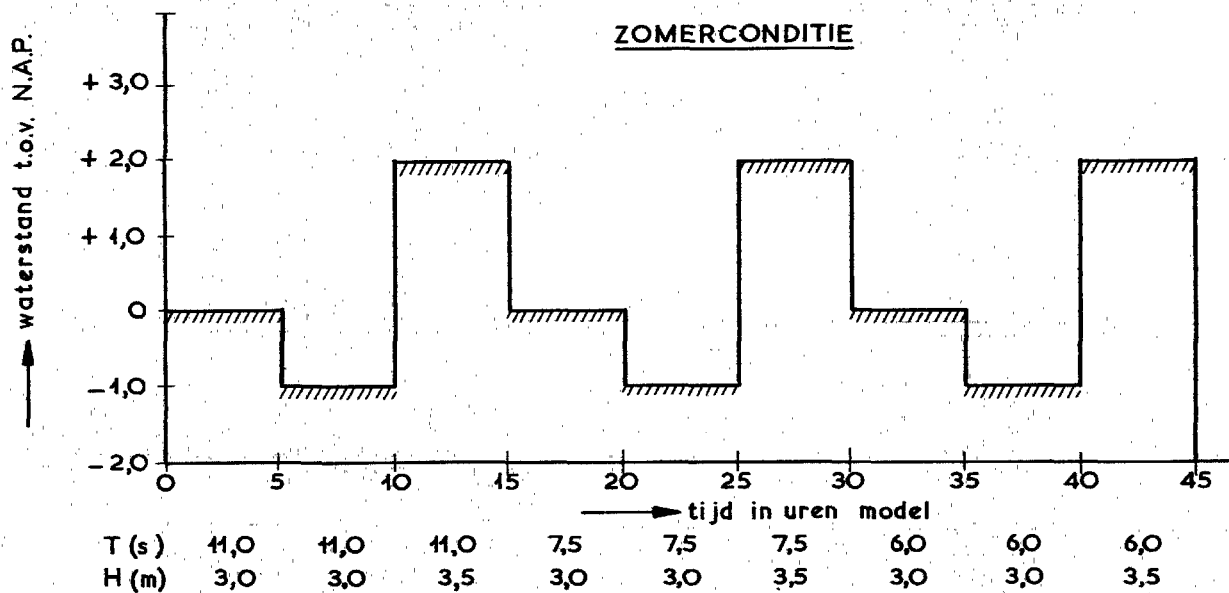
VOORLOPIG ONTWERP ZUIDWAL

SCHAAL hor. 1:1000
vert. 1:200

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 26



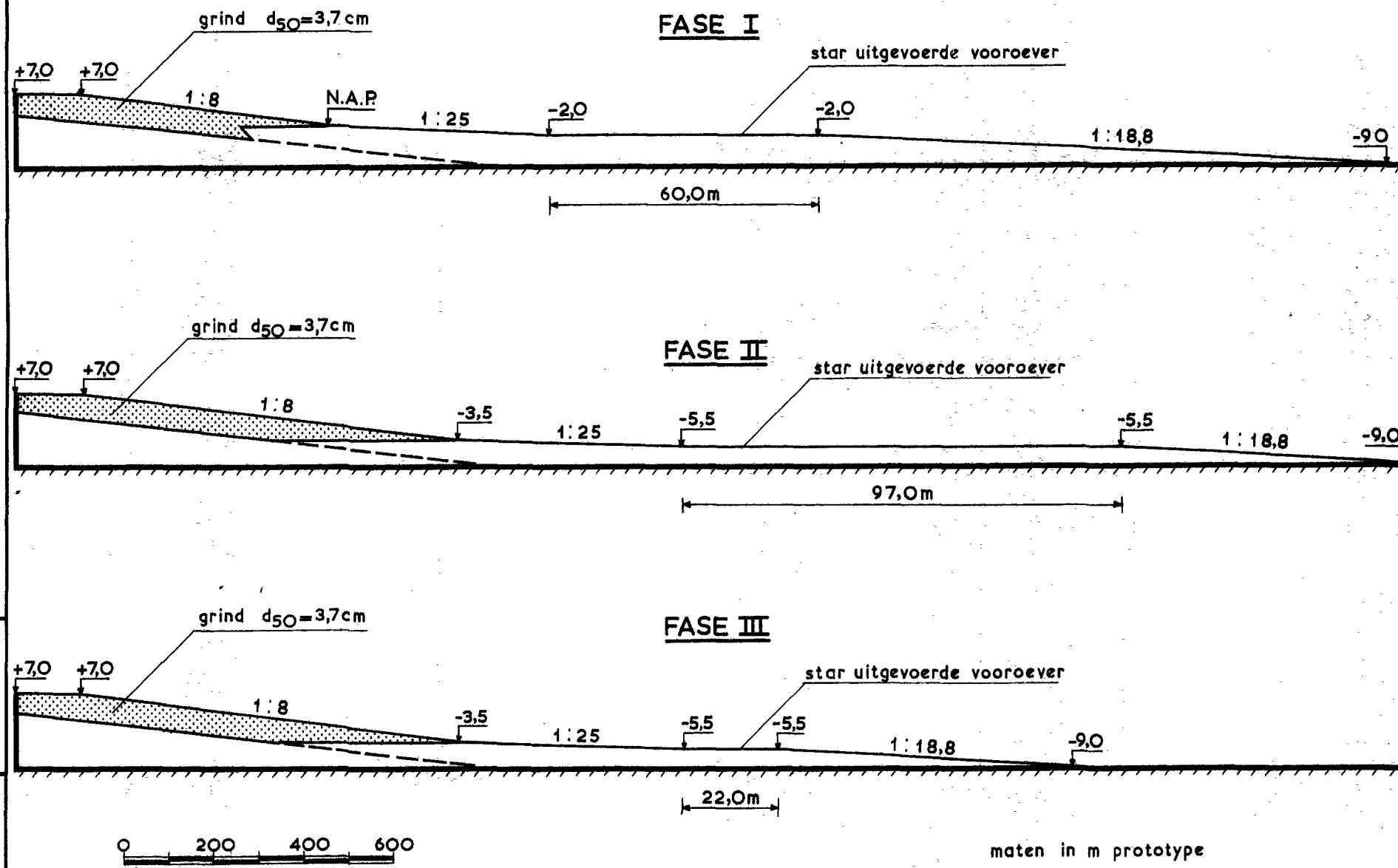
RANDVOORWAARDEN ONDERZOEK
VOORLOPIG ONTWERP ZUIDWAL

T33, T34, T35

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

FIG. 27



FASE I

FASE II

FASE III

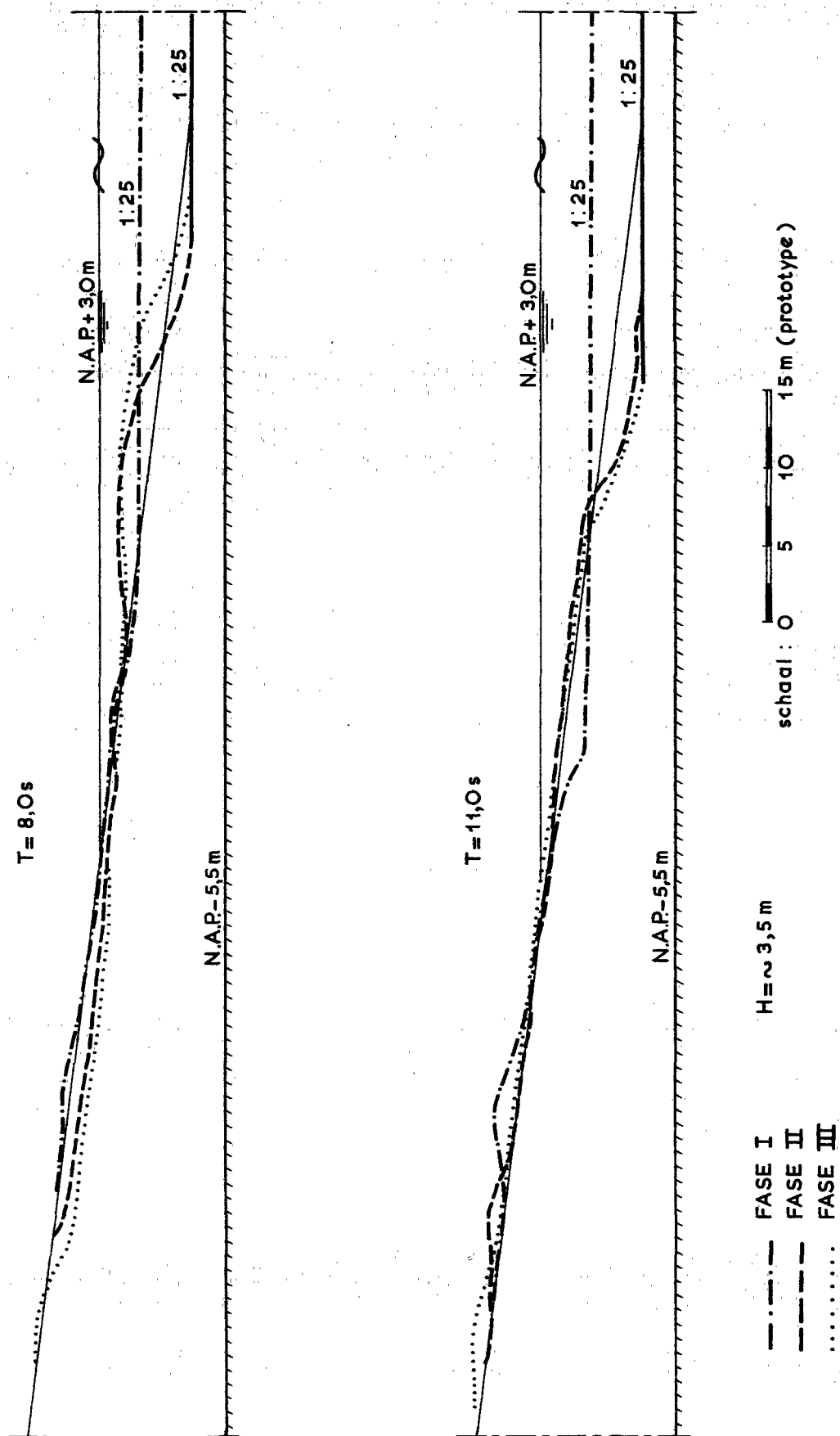
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

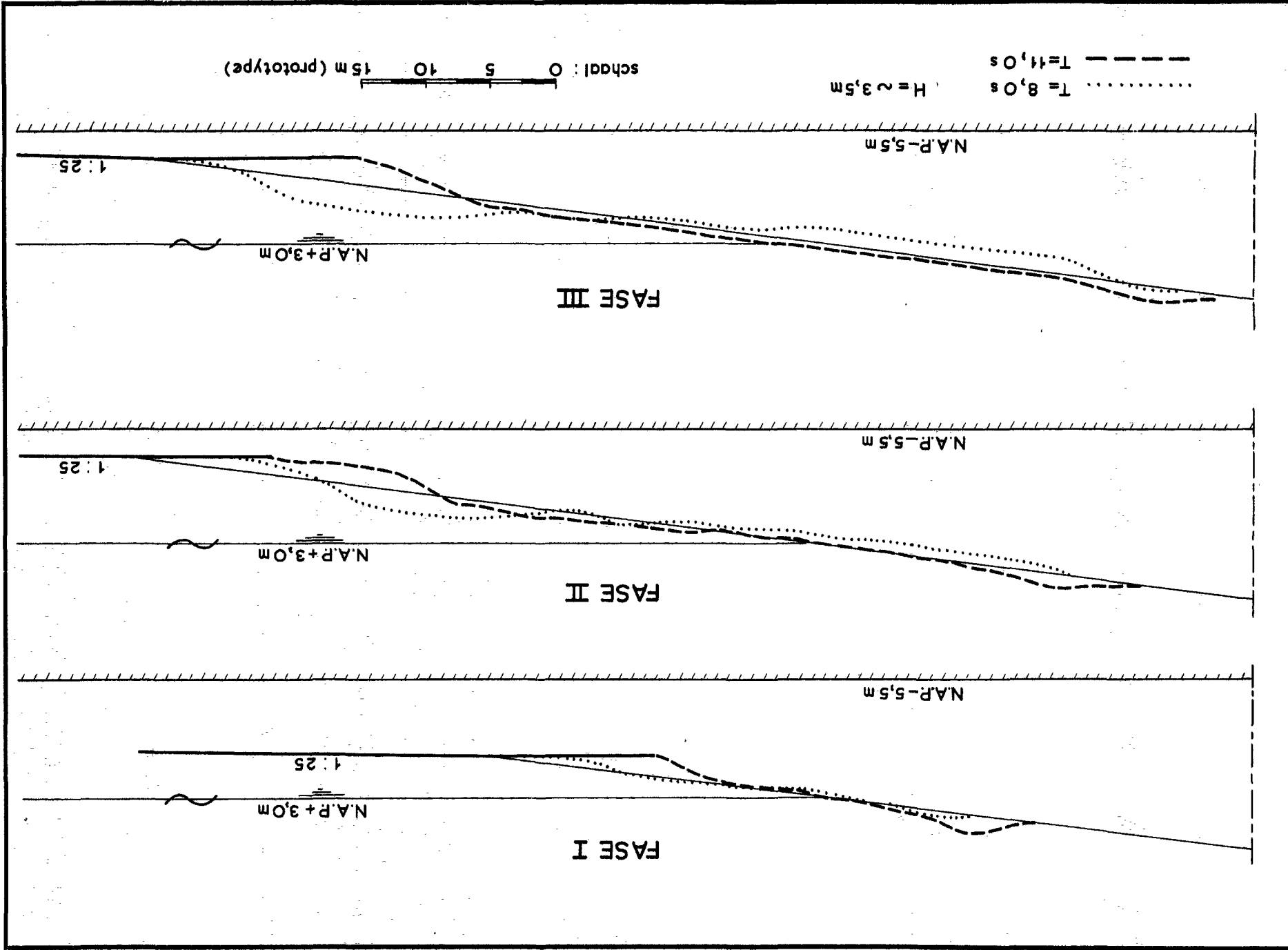
FIG. 28

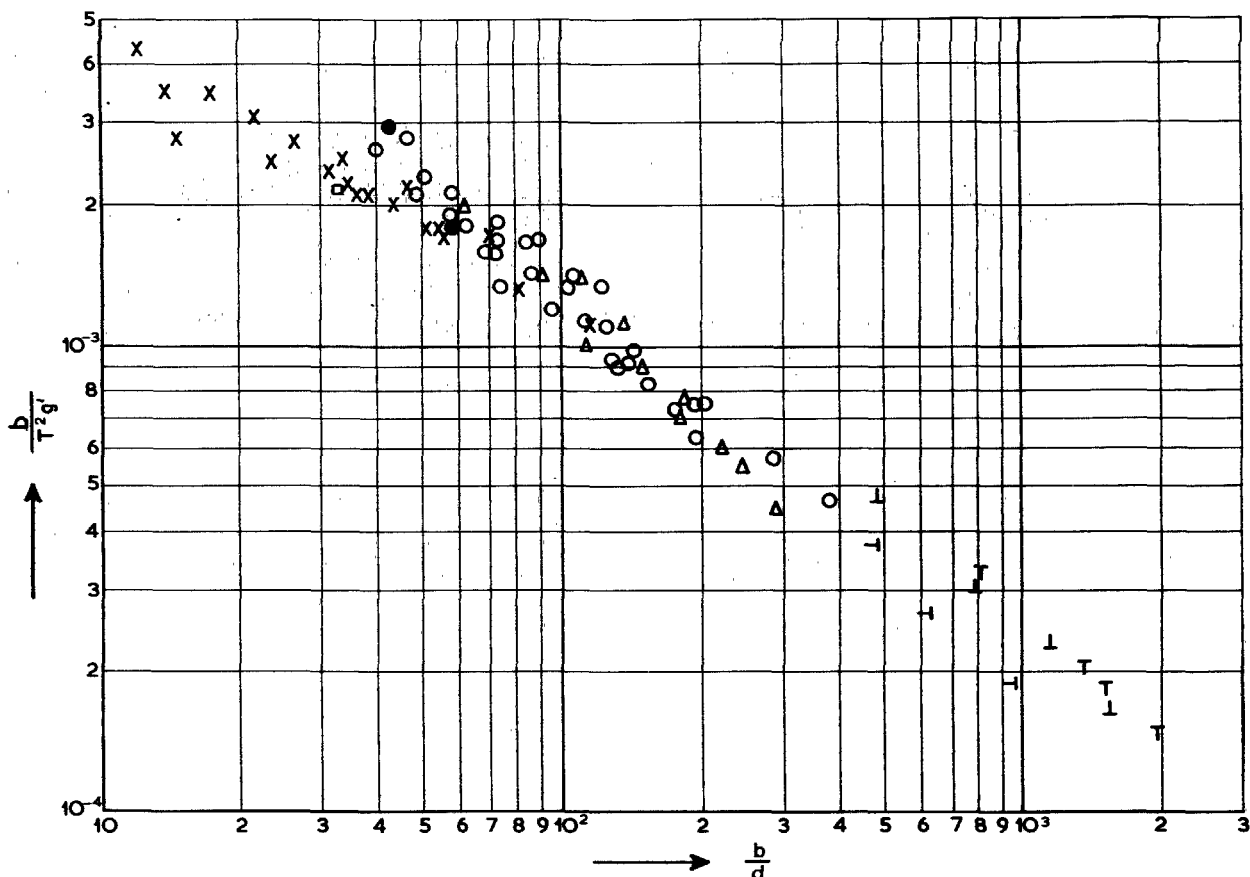
INVLOED VOOROEVER; ONDERZOCCHTE
MODELLEN

maten in m prototype



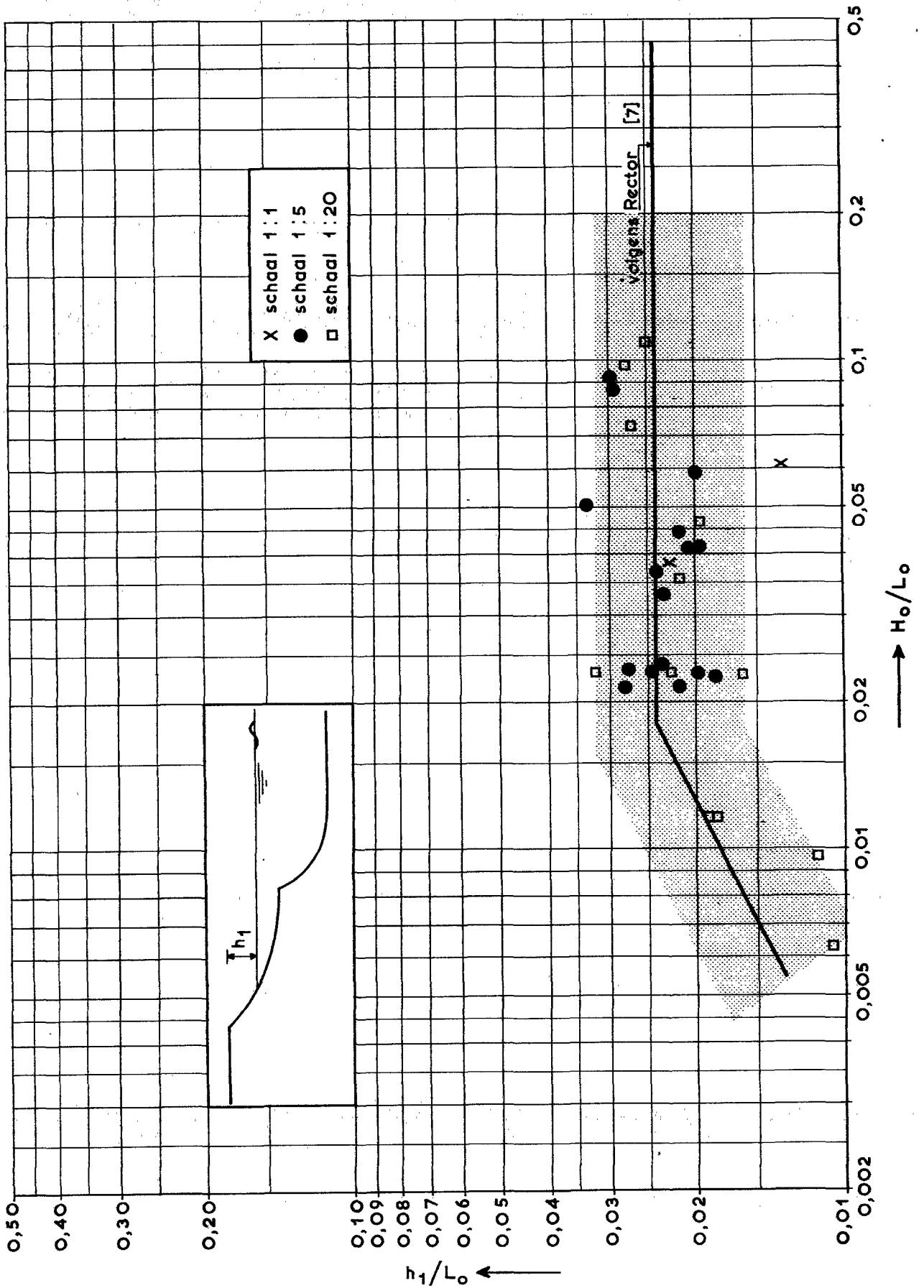
INVLOED VOOROEVER





b = amplitude van de oscillerende beweging op de bodem
 T = golfperiode
 d = d_{50} van het korrelmateriaal
 $g' = g \frac{(\rho_m - \rho_w)}{\rho_w}$
 ρ_m = dichtheid van het korrelmateriaal
 ρ_w = dichtheid van het water

BEGIN VAN BEWEGING VAN GROFKORRELIG
MATERIAAL IN EEN OSCILLERENDE STROOM

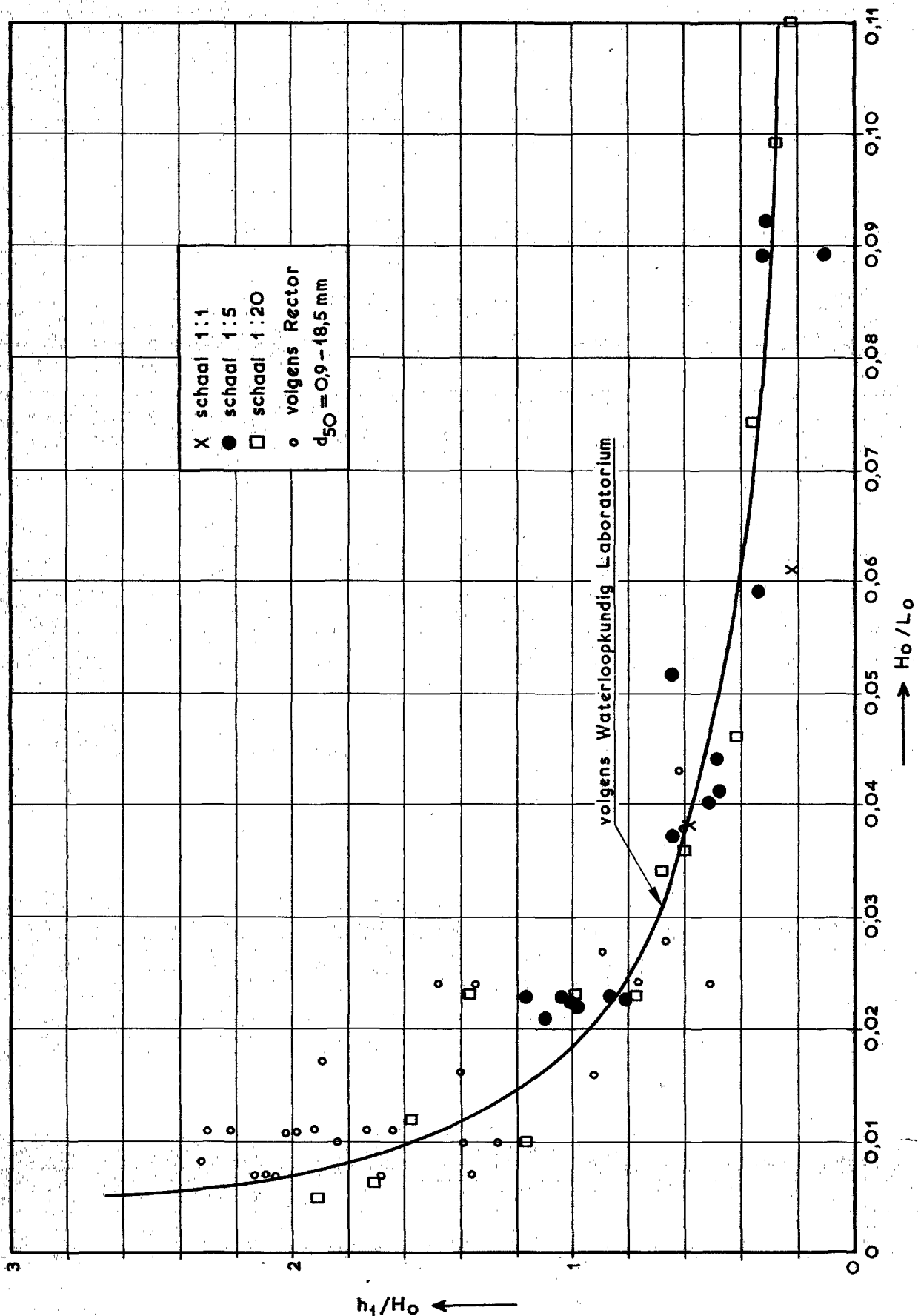


BEPALING GOLFOPLOOPHOOGTE BOVEN
STILWATERNIVEAU

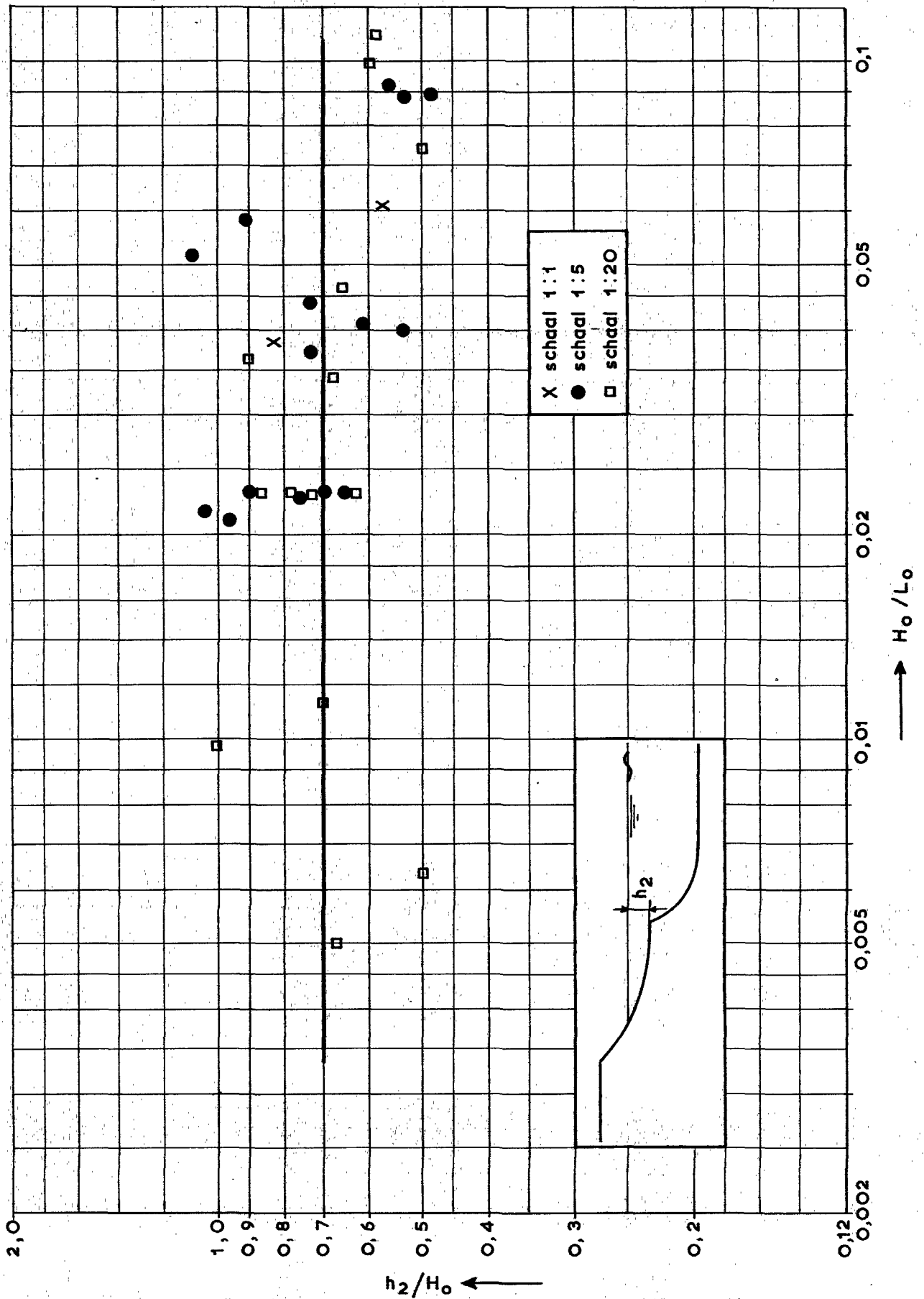
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1063

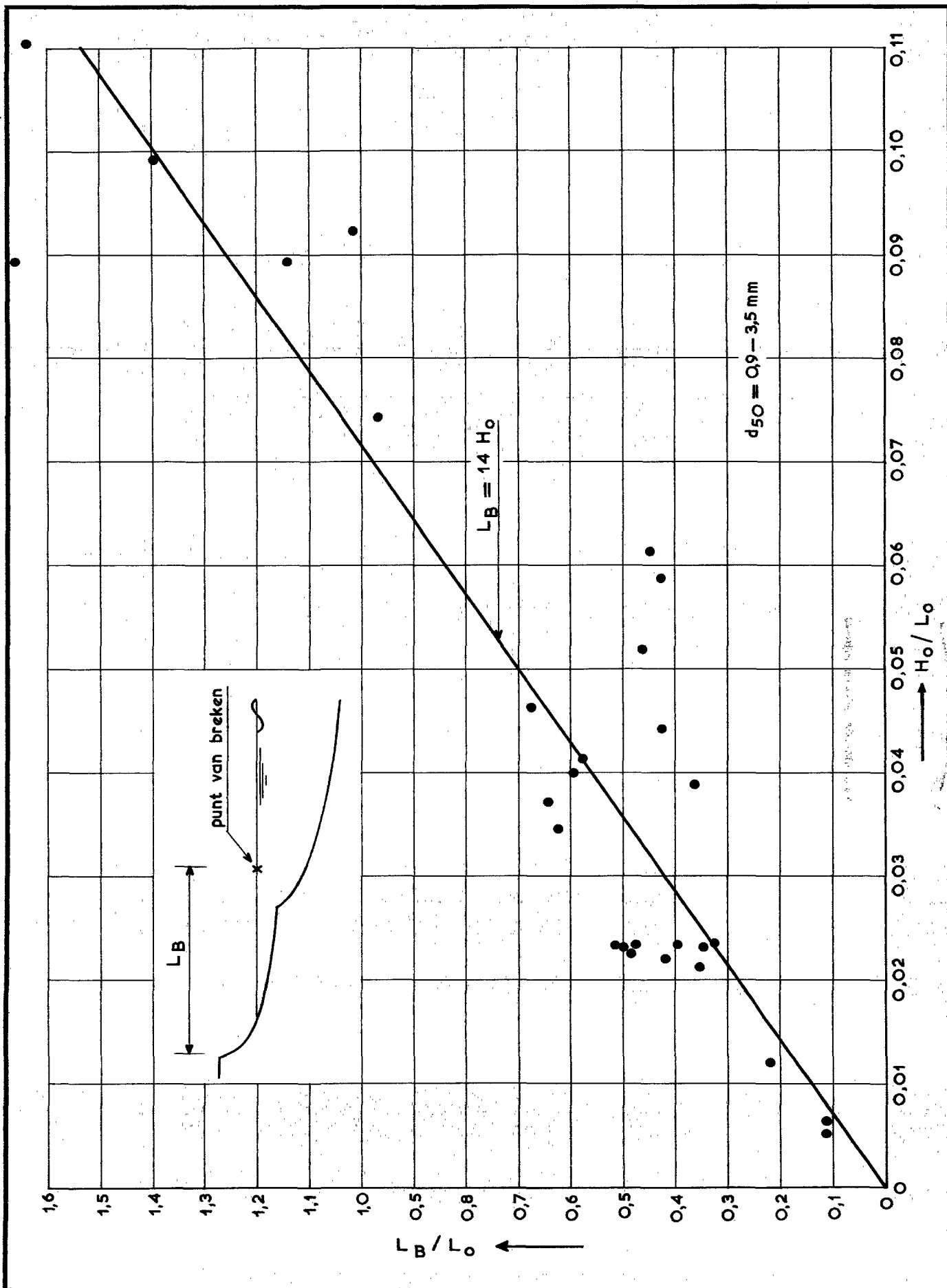
FIG. 32



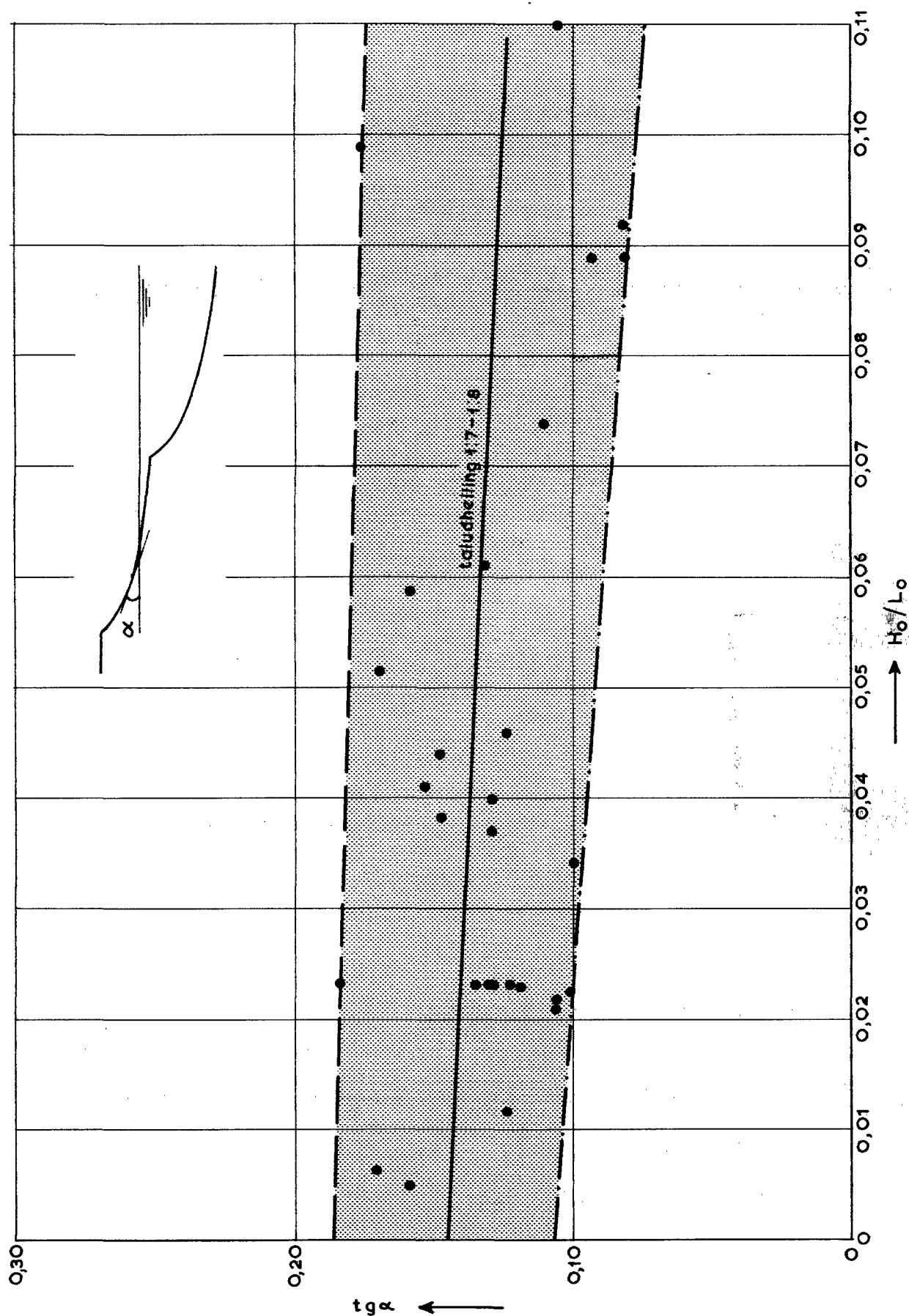
BEPALING GOLFOPLOOPHOOGTE BOVEN
STILWATERNIVEAU



BEPALING BERMLIGGING BENEDEN
STILWATERNIVEAU



BEPALING VAN DE HORIZONTALE AFSTAND L_B



TALUDHELLING α ALS FUNCTIE VAN DE
GOLFSTEILHEID

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft