

I Bd 1144

WINDGOOT

AFSLUITING OOSTERSCHELDE

KWALITATIEF ONDERZOEK NAAR DE GOLFBELASTING OP EEN CAISSON

VERSLAG MODELONDERZOEK

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT

M 1144

16 JUN 1972

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

[]

WINDGOOT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Afsluiting Oosterschelde

Kwalitatief onderzoek naar de golfbelasting
op een caisson

Verslag modelonderzoek

M 1144

mei 1972

INHOUD

	blz.
<u>1. Inleiding</u>	
1.1. Opdracht	1
1.2. Probleemstelling	1
1.3. Conclusies	1
<u>2. Model</u>	
2.1. Modelopstelling	2
2.2. Schalen en meetmethoden	2
2.3. Methode van golfopwekking	3
<u>3. Modelonderzoek</u>	
3.1. Randvoorwaarden	4
3.2. Resultaten modelonderzoek	5

FIGUREN

1. Afsluiting Oosterschelde. Overzicht betonnen caisson
2. Schematisatie Oosterschelde caisson.
3. Modelopstelling
4. Blokschema geprogrammeerde golfmachine Laboratorium De Voorst
5. Energiedichtheidsspectra en golfhoogteverdelingen, Serie I
6. Oosterschelde energiedichtheidsspectrum en golfhoogteverdeling, Serie II
7. Golfhoogteverdelingen (Schuifstand zeezijde; N.A.P. +2,0 m)
8. Golfhoogteverdelingen (Schuifstand zeezijde; N.A.P. +1,0 m)
9. Golfhoogteverdelingen (Schuifstand zeezijde; N.A.P.)
10. Golfhoogteverdelingen (Schuifstand zeezijde; N.A.P. -1,5 m)
11. Golfhoogteverdelingen (Schuifstand zeezijde; N.A.P. -3,6 m)

FOTO

Golfbeweging in caisson

Afsluiting Oosterschelde

Kwalitatief onderzoek naar de golfbelasting op een caisson.

1. Inleiding

1.1. Opdracht

Tijdens een bespreking d.d. 22 juli 1971, is door de Rijkswaterstaat, Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst mondeling opdracht gegeven tot het uitvoeren van een oriënterende proef ter beoordeling van de golfbelasting op een caisson, die eventueel zou worden gebruikt bij de afsluiting van de Oosterschelde.

Dit modelonderzoek is in september 1971 uitgevoerd in de windgoot van het Laboratorium De Voorst. Het onderzoek stond onder leiding van ir. A. Wevers, die ook dit verslag samenstelde.

1.2. Probleemstelling

Als bijdrage tot de keuzebepaling van de afsluitingsmethodiek voor de Oosterschelde, is door de opdrachtgever aan het Waterloopkundig Laboratorium verzocht een "speelproef" uit te voeren ter bepaling van de golfbelasting op een gesloten doorlaatcaisson als functie van de stand van de schuiven. Uitgaande van de aanname dat de schuif aan de binnenzijde in de hoogste stand (bovenkant afsluiting op N.A.P. +2,0 m) gehandhaafd blijft, is onderzocht bij welke stand van de schuif aan de zeezijde de totale belasting op de caisson (dus zowel de quasi-statische als de dynamische belasting) minimaal is. Gezien het feit dat het hier een "speelproef" betrof, waarbij de optimale stand van de schuiven op kwalitatieve wijze is bepaald, kunnen aan de gevonden resultaten geen kwantitatieve betekenis worden toegekend.

1.3. Conclusies

1. Bij handhaving van de bovenkant van de afsluiting aan de binnenzijde van de caisson op het niveau van N.A.P. +2,0 m, is de totale golfbelasting op de caisson minimaal, indien de bovenkant van de afsluiting aan de zeezijde op de hoogte van het stilwaterniveau wordt geplaatst.

2. In deze situatie is de caisson min of meer te vergelijken met een woelbak, waarbij een deel van de golfenergie door middel van de in het bassin overstortende straal wordt vernietigd.

2. Model

2.1. Modelopstelling

Het modelonderzoek is uitgevoerd in de windgoot van het Laboratorium De Voorst. In deze goot met een bodembreedte van 4 m, is in een afgesloten sectie met een breedte van 1,22 m het model van een Oosterschelde caisson geplaatst.

Een overzichtstekening van de betonnen caisson, in prototypematen, is gegeven op figuur 1. Daarnaast is een tekening van de voor het modelonderzoek geschematiseerde caisson, eveneens in prototypematen, gegeven op figuur 2. Met het oog op de visuele waarneming waren de bovenzijde en de tussenschotten, alsmede de twee zijkanten van de caissonsectie in het model vervaardigd van doorzichtig materiaal (perspex). Aan de binnenzijde en aan de zeezijde was de caisson voorzien van beweegbare schuiven. In stappen van 1,0 m kon de bovenkant van de afsluiting gevarieerd worden van N.A.P. +2,0 m, d.i. de hoogste stand, tot N.A.P. -3,6 m. Tijdens het onderzoek is de schuif aan de binnenzijde van de caisson voortdurend op het niveau van N.A.P. +2,0 m gehandhaafd (foto 1). De caisson werd opgesteld op een drempel van stortsteen 80 - 200 kg, waarvan de bovenzijde op N.A.P. -13,5 m was gelegen. De bodem van de windgoot was in deze opstelling gelegen op N.A.P. -17,0 m (figuur 3). In de resterende gootsectie kon de golf ongestoord passeren, waarna deze aan het eind van de ca. 100 m lange windgoot met behulp van een golfdempend talud werd gedempt. In de sectie, waarin de caisson was opgesteld, werden de golven die de caisson eventueel nog passeerden, eveneens door een golfdempend talud gedempt.

2.2. Schalen en meetmethoden

Voor een juiste weergave van de golfbeweging vóór en in de caisson dient bij het onderhavige modelonderzoek aan de schaalwet van Froude te

worden voldaan. Dit houdt in dat,

$$n_t = (n_T) = n_l^{1/2} (= n_L^{1/2} = n_d^{1/2} = n_H^{1/2})$$

waarin n_t = tijdschaal
 n_T = schaal van de golfperiode
 n_l = lengteschaal
 n_L = golflengteschaal
 n_d = diepteschaal
 n_H = golfhoogteschaal.

Voor dit onderzoek is de lengteschaal vastgesteld op 25. Tenzij anders is vermeld, zijn de in dit verslag genoemde waarden steeds gegeven in prototypematen.

Tijdens de proeven zijn steeds op drie plaatsen golfhoogten gemeten met behulp van zogenaamde geleidbaarheids-golfhoogtemeters met temperatuurcompensatie. De ongestoorde doorgaande golfhoogte is gemeten in de open sectie van 2,78 m breedte naast het model. Daarnaast zijn tevens golfhoogtemeters direct vóór de voor- en achterschuif van de caisson geplaatst, om een indruk te krijgen van de golfbeweging vóór deze beide schuiven (zie figuur 3). Van een aantal situaties is tevens een film van de golfbeweging opgenomen. Door deze film beeld voor beeld af te draaien was het mogelijk een meer gedetailleerde analyse van de golfbeweging te maken.

2.3. Methode van golfopwekking

Het hier beschreven modelonderzoek is uitgevoerd met onregelmatige golven. De golven werden opgewekt met behulp van een geprogrammeerde golfmachine, waarmee de golfomstandigheden zoals deze in werkelijkheid voorkomen zo goed mogelijk kunnen worden gereproduceerd.

De golfmachine bestaat uit een golfschot, dat met behulp van een hydraulisch servo-mechanisme aangedreven wordt (zie blokschema op figuur 4). Het servo-systeem kan gestuurd worden door een magneet- of ponsband van een prototype-registratie of door een digitale ruisgenerator gevolgd door een aantal

doorlaatfilters. Deze laatste methode, waarbij het energiedichtheidsspectrum en de golfhoogteverdeling als toetsingsgrootheden voor een identieke golfreproductie worden gebruikt, is toegepast voor de hier beschreven modelproeven. In de windgoot van het Laboratorium De Voorst worden de bewegingen van de hydraulische translatiecilinder via een mechanische overbrenging op het golfschot overgebracht. De vereiste rotatie van het golfschot wordt verkregen door de wiegophanging van het golfschot aan het op te wekken golfspectrum aan te passen.

Tijdens de modelproeven is continu het energiedichtheidsspectrum, de golfhoogteverdeling en de totale energie van de golven gemeten, zodat een directe controle op de opgewekte golfcondities mogelijk was.

3. Modelonderzoek

3.1. Randvoorwaarden

Het onderzoek is te splitsen in twee delen:

In het eerste gedeelte, serie I, is wegens het ontbreken van de juiste randvoorwaarden globaal gekeken naar de invloed van de schuifstand op de golfbeweging. Hierbij was de vorm van het energiedichtheidsspectrum ongeveer gelijk aan het, bij het onderzoek voor de havendammen van Europoort toegepaste, spectrum. De energiedichtheidsspectra en de bijbehorende golfhoogteverdelingen bij respectievelijk een waterstand van N.A.P. +1,0 m en een waterstand van N.A.P. +2,0 m zijn weergegeven op figuur 5.

Na ontvangst van de te verwachten randvoorwaarden, opgesteld door de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, is een meer gedetailleerd onderzoek verricht bij een waterstand van N.A.P. +2,0 m (serie II). Het energiedichtheidsspectrum, dat bij deze randvoorwaarde wordt verwacht, de bijbehorende significante golfhoogte en de gemiddelde en de top-periode van de golven zijn weergegeven op figuur 6. Het tijdens het modelonderzoek opgewekte golfspectrum, de bijbehorende golfhoogteverdeling en de gemiddelde golfperiode zijn eveneens weergegeven op figuur 6. Hieruit blijkt, dat de opgewekte en de gewenste golfkarakteristieken zeer goed overeenkomen.

Een volledig overzicht van de onderzochte situaties met bijbehorende randvoorwaarden is gegeven in onderstaande tabel.

Serie	Proef	Bovenkant afsluiting in m t.o.v. N.A.P.		Waterstand in m t.o.v. N.A.P.	Spectrum vorm	H _s in m	T _m in s	
		zeezijde	binnenzijde					
I	T1	+2,0	+2,0	+1,0	A	2,45	6,5	
	T2	+1,0	+2,0	+1,0	A	2,25	6,4	
	T3	N.A.P.	+2,0	+1,0	A	2,25	6,3	
	T4	-1,5	+2,0	+1,0	A	2,30	6,2	
	T5	-3,6	+2,0	+1,0	A	2,30	6,4	
	T6	+1,0	-1,0	+2,0	+1,0	A	2,35	6,1
	T7	+1,0	+2,0	+2,0	+2,0	B	2,30	6,1
	T8	+1,0	+2,0	+2,0	+2,0	B	2,35	6,3
	T9	N.A.P.	+2,0	+2,0	+2,0	B	2,45	6,4
	T10	-1,5	+2,0	+2,0	+2,0	B	2,10	6,2
	T11	-3,6	+2,0	+2,0	+2,0	B	2,60	6,5
II	T12	+2,0	+2,0	+2,0	Ooster- schelde	2,30	7,3	
	T13	+1,0	+2,0	+2,0	"	2,30	7,3	
	T14	N.A.P.	+2,0	+2,0	"	2,30	7,3	
	T15	-1,5	+2,0	+2,0	"	2,30	7,3	
	T16	-3,6	+2,0	+2,0	"	2,30	7,3	

Tabel 1: overzicht onderzochte situaties.

H_s = significante golfhoogte

T_m = de gemiddelde golfperiode

3.2. Resultaten modelonderzoek

Omdat de golfbelasting op de caisson in de eerste serie proeven niet bij

de juiste randvoorwaarden is onderzocht, zullen deze resultaten niet in detail worden weergegeven, maar zal worden volstaan met een kwalitatieve beschrijving van de resultaten.

Bij de waterstand van N.A.P. +1,0 m en de beide schuiven in de hoogste stand, te weten bovenzijde op N.A.P. +2,0 m, wordt vrijwel alle golfenergie door de caisson gereflecteerd. Omdat zich hierbij vóór de caisson een staande golf met een hoogte van ca. 1,6 maal die van de invallende golf ontwikkelt, treden tamelijk frequent golfklappen tegen de onderzijde van het dek (aan de zeezijde) op. Dynamische golfbelasting op de schuiven is echter niet waargenomen.

Met het zakken van de schuiven aan de zeezijde neemt de reflectiecoëfficiënt en daarmee de staande golfhoogte vóór de caisson af en wordt een deel van de golfenergie overgedragen op het water binnen de caisson. Tot een hoogte van de schuiven aan de zeezijde, die gelijk is aan het stilwaterniveau vindt deze energieoverdracht plaats doordat de golf vóór de caisson zich via een overstortende straal in het afgesloten bassin binnen de caisson stort. Het zal duidelijk zijn dat op deze wijze een deel van de golfenergie door turbulentie wordt vernietigd. Bij schuifstanden, welke lager zijn dan het stilwaterniveau, loopt de golf afhankelijk van de golfsteilheid en de schuifstand, meer of minder ongehinderd de caisson binnen, en wordt vervolgens tegen de binnenzijde gereflecteerd. Hierdoor is het mogelijk dat de staande golf in de caisson zo hoog wordt, dat aan de achterzijde van de caisson golfklappen tegen het dek optreden. Bovengenoemd verschijnsel wordt nog versterkt doordat zich bij de onderzochte combinaties van waterstanden, golfperiode en caissonbreedte opslingering van de golf in de caisson kan voordoen. Immers bij golfperiodes van 6 à 7 s is de eigen slingertijd van het bassin nagenoeg gelijk aan de golfperiode.

De bovenbeschreven waarnemingen werden bevestigd in de proeven-serie T7 t/m T11 met een waterstand van N.A.P. +2,0 m. Het enige verschil was dat de frequentie van het aantal golfklappen tegen de onderzijde van het dek toenam, als gevolg van het hogere stilwaterniveau. Ook in deze serie proeven werd echter in geen enkel geval een dynamische golfbelasting op één van de schuiven waargenomen.

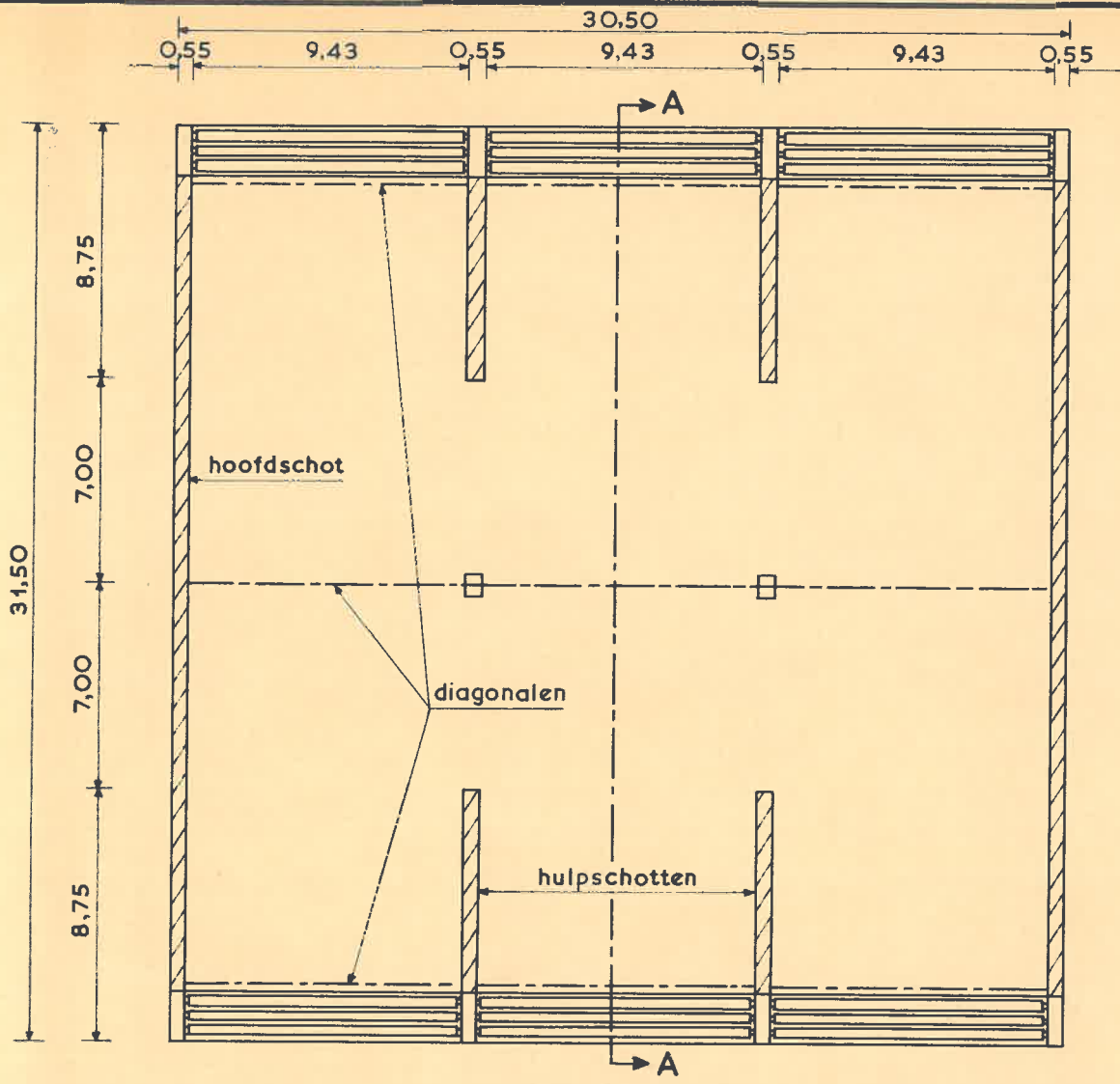
Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd, dat de totale golfbelasting op de caisson minimaal is, wanneer de bovenkant van de afsluiting

aan de zeezijde ongeveer gelijk is aan het stilwaterniveau. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat een deel van de golfenergie in het als woelbak functionerende bassin binnen de caisson wordt vernietigd. Bovendien is bij deze schuifstand de frequentie van voorkomen van de golfklappen tegen het dek het kleinst.

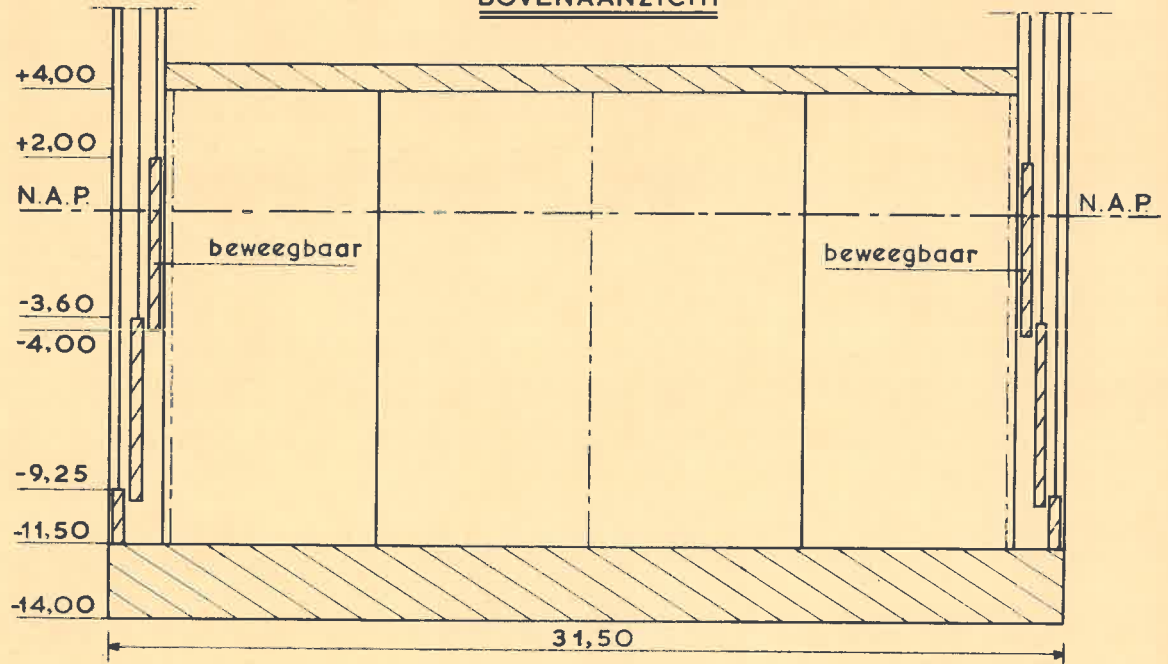
Zoals aangegeven in tabel 1, is bij een waterstand van N.A.P. +2,0 m en de bij deze waterstand verwachte golfomstandigheden in de Oosterschelde hetzelfde programma als in serie I herhaald (proeven T12-T16). Als resultaat zijn op de figuren 7 t/m 11 de golfhoogteverdelingen van de ongestoorde aankomende golf en van de golfhoogten gemeten direct vóór de schuif aan de zeezijde en die vóór de schuif aan de binnenzijde als functie van de schuifstand uitgezet. Tevens is voor iedere schuifstand de plaats en de frequentie van voorkomen van de optredende golfklappen op deze figuren aangegeven.

Uit de resultaten blijkt, dat de golfbinnendringing in de caisson toeneemt naarmate de schuif aan de zeezijde lager wordt gesteld, terwijl tegelijkertijd de staande golfhoogte vóór de caisson afneemt. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de toename van de golfhoogten gemeten direct vóór de schuif aan de binnenzijde beperkt is door de aanwezigheid van het caissondek. De verdere toename van de golfbeweging in de caisson blijkt dan ook uit de sterke toename van de frequentie van voorkomen van de golfklappen tegen het dek aan de binnenzijde.

Na sommatie van de significante golfhoogten gemeten direct vóór de schuif aan de zeezijde (G2) en de golfhoogten gemeten direct vóór de schuif aan de binnenzijde (G3) blijkt, dat de totale golfbelasting minimaal is bij de bovenkant van de afsluiting aan de zeezijde op het stilwaterniveau. In dat geval wordt een deel van de golfenergie vernietigd, doordat de caisson als woelbak dient voor de over de schuif stortende straal van de staande golf vóór de caisson. Op grond van het bovenstaande en vanwege het feit dat hierbij tevens de frequentie van voorkomen van golfklappen tegen het dek minimaal is, wordt de situatie waarbij de schuifstand aan de zeezijde ongeveer gelijk is aan het stilwaterniveau als de gunstigste situatie beoordeeld.



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

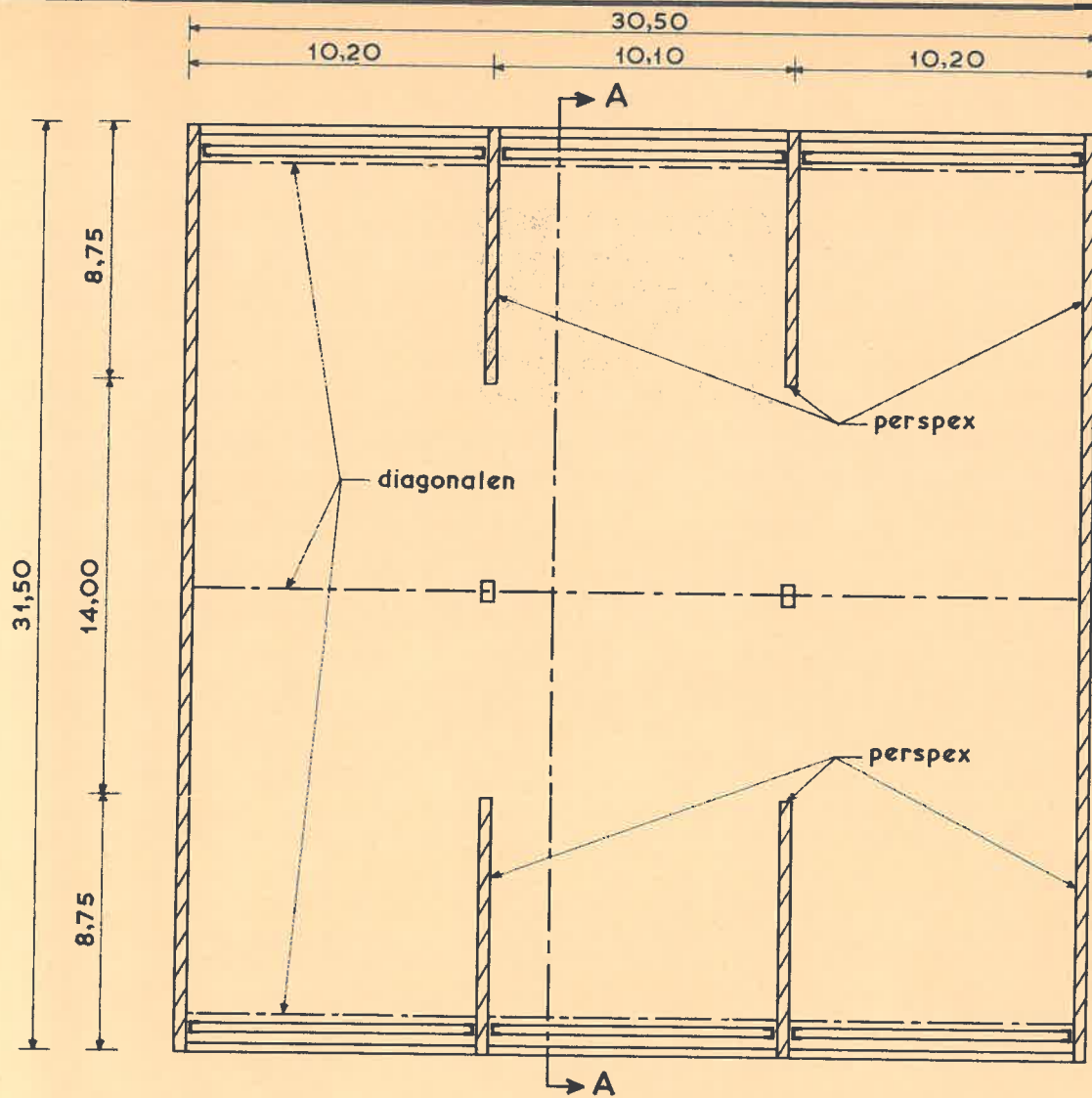
**AFSLUITING OOSTERSCHELDE
OVERZICHT BETONNEN CAISSON**

SCHAAL 1:250

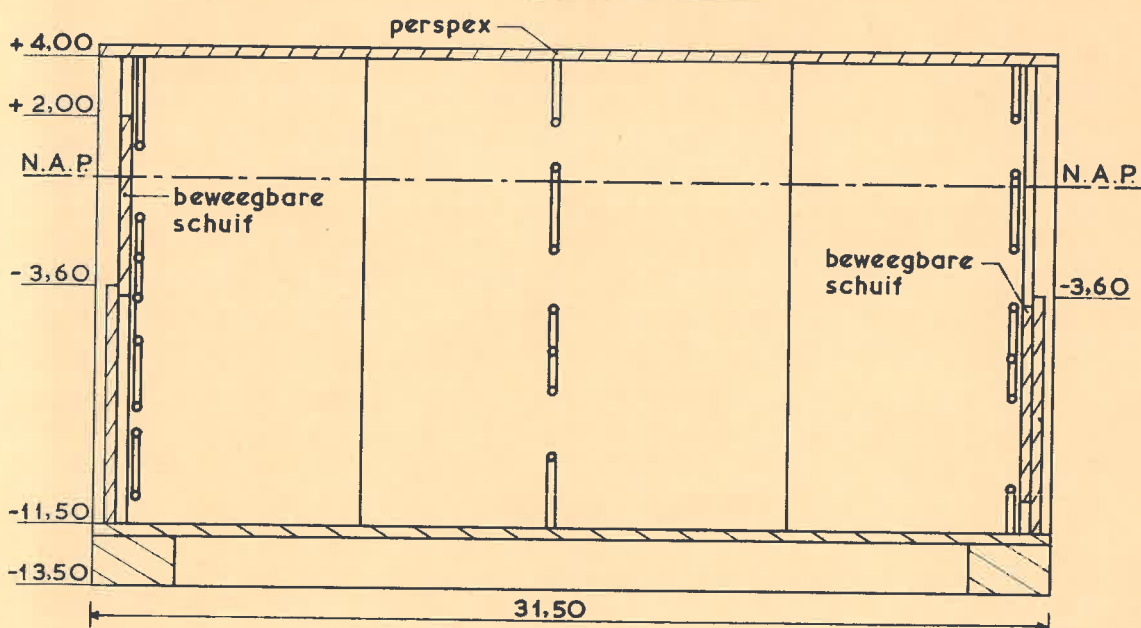
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1144

FIG. 1



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A-A

maten in m
hoogten in m t.o.v. N.A.P.

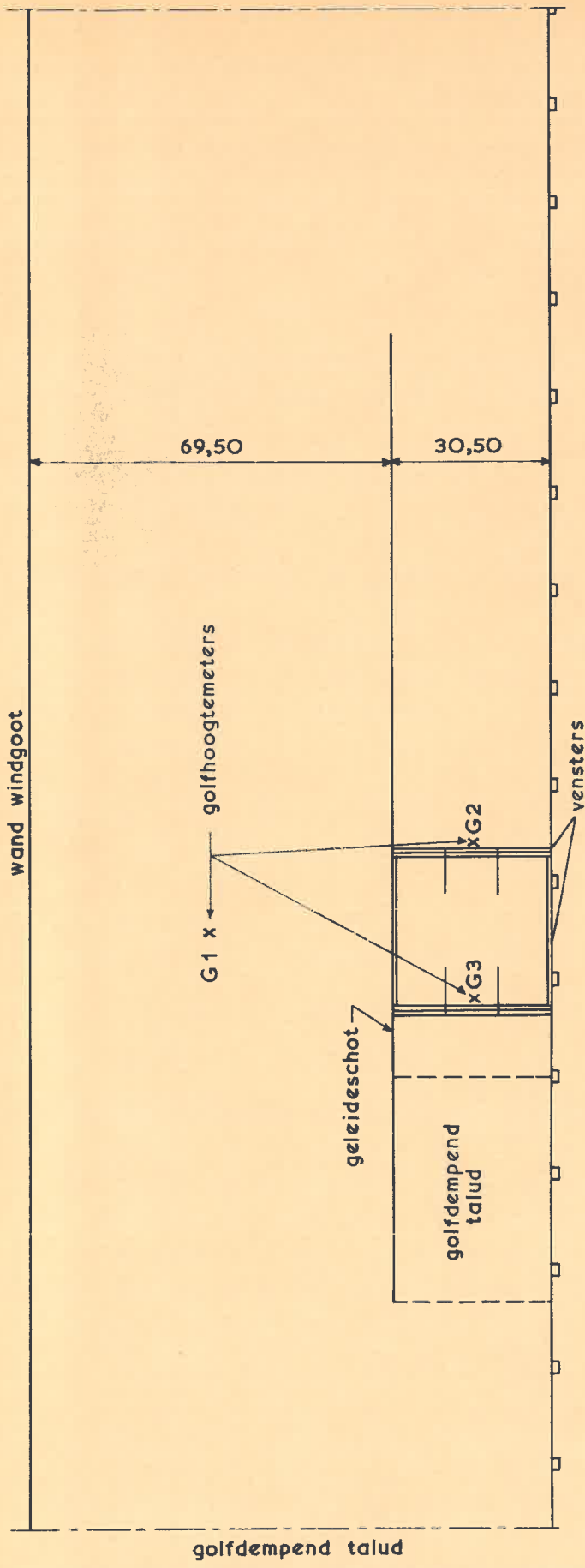
SCHEMATISATIE OOSTERSCHELDE CAISSON

SCHAAL 1:250

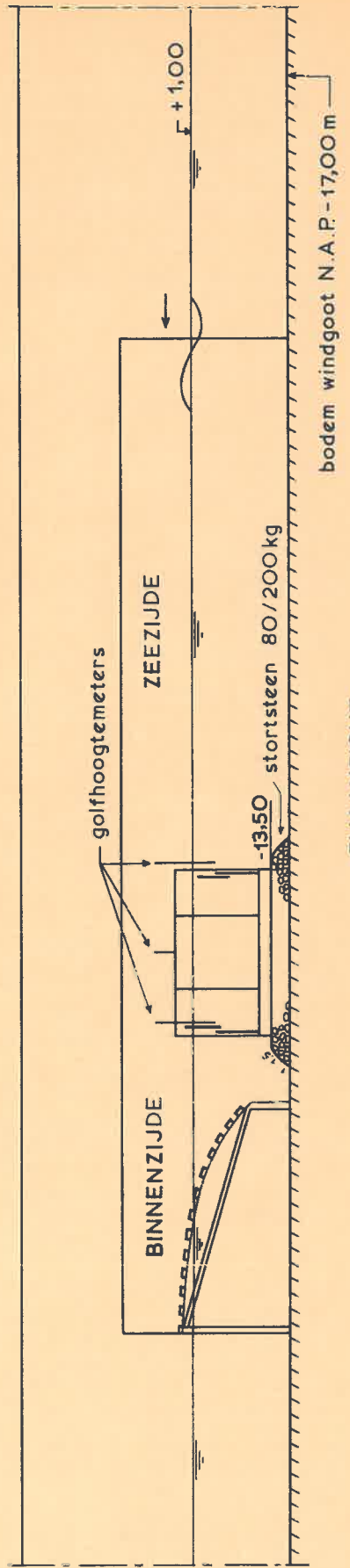
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1144

FIG. 2



BOVENAANZICHT

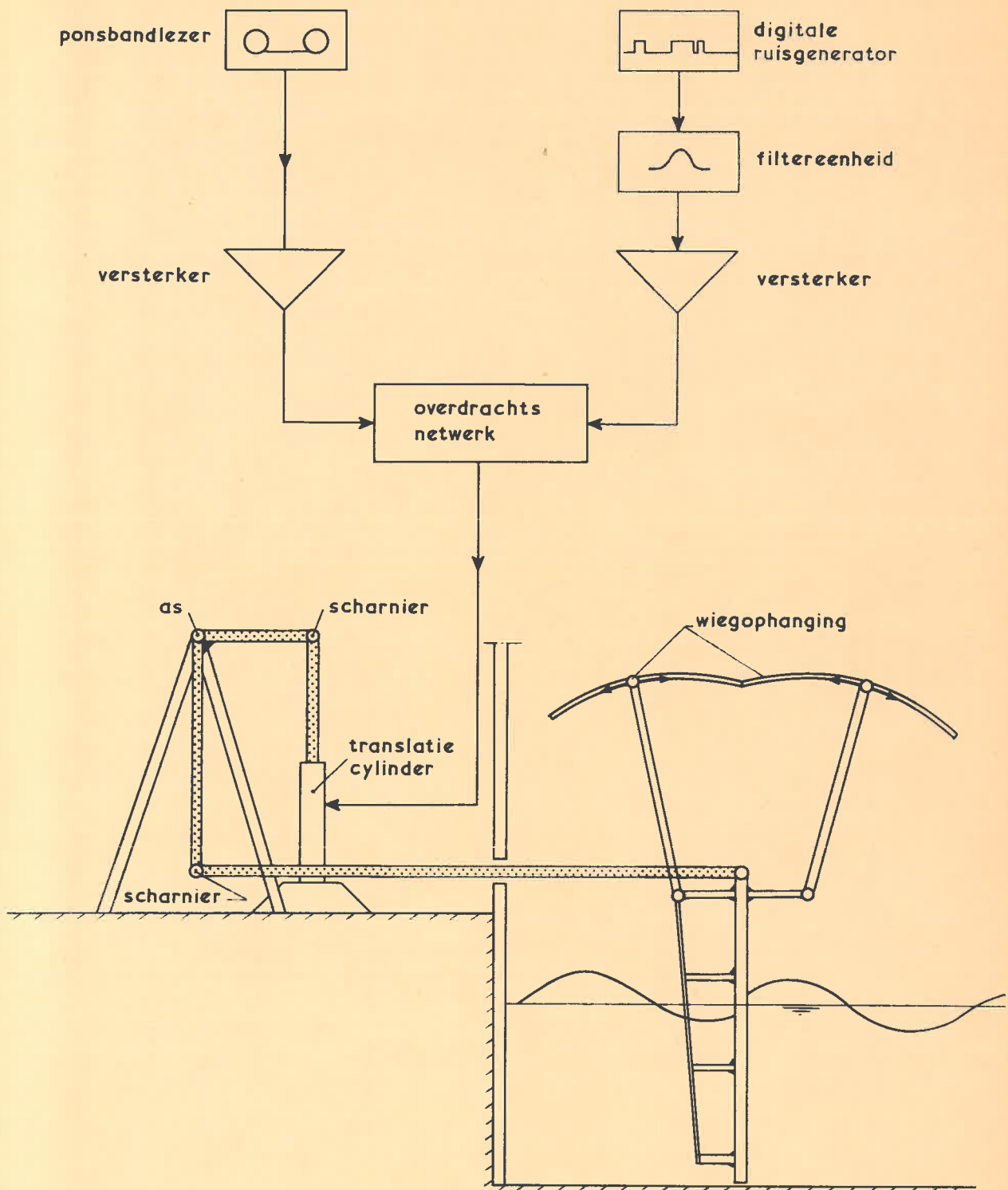


ZIJDEAANZICHT

maten in m (prototype)
 hoogten in m t.o.v. N.A.P.

MODELOPSTELLING

SCHAAL 1 : 1250

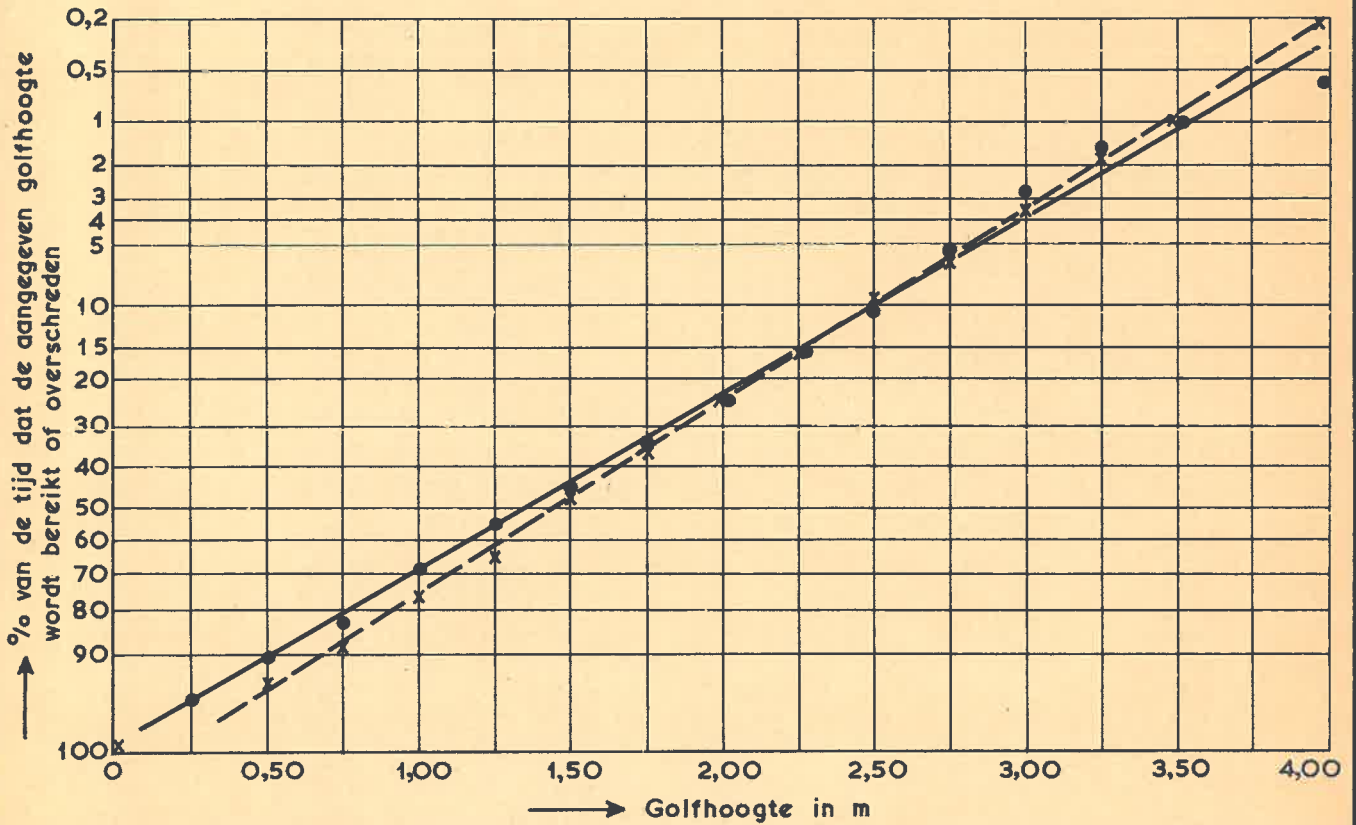
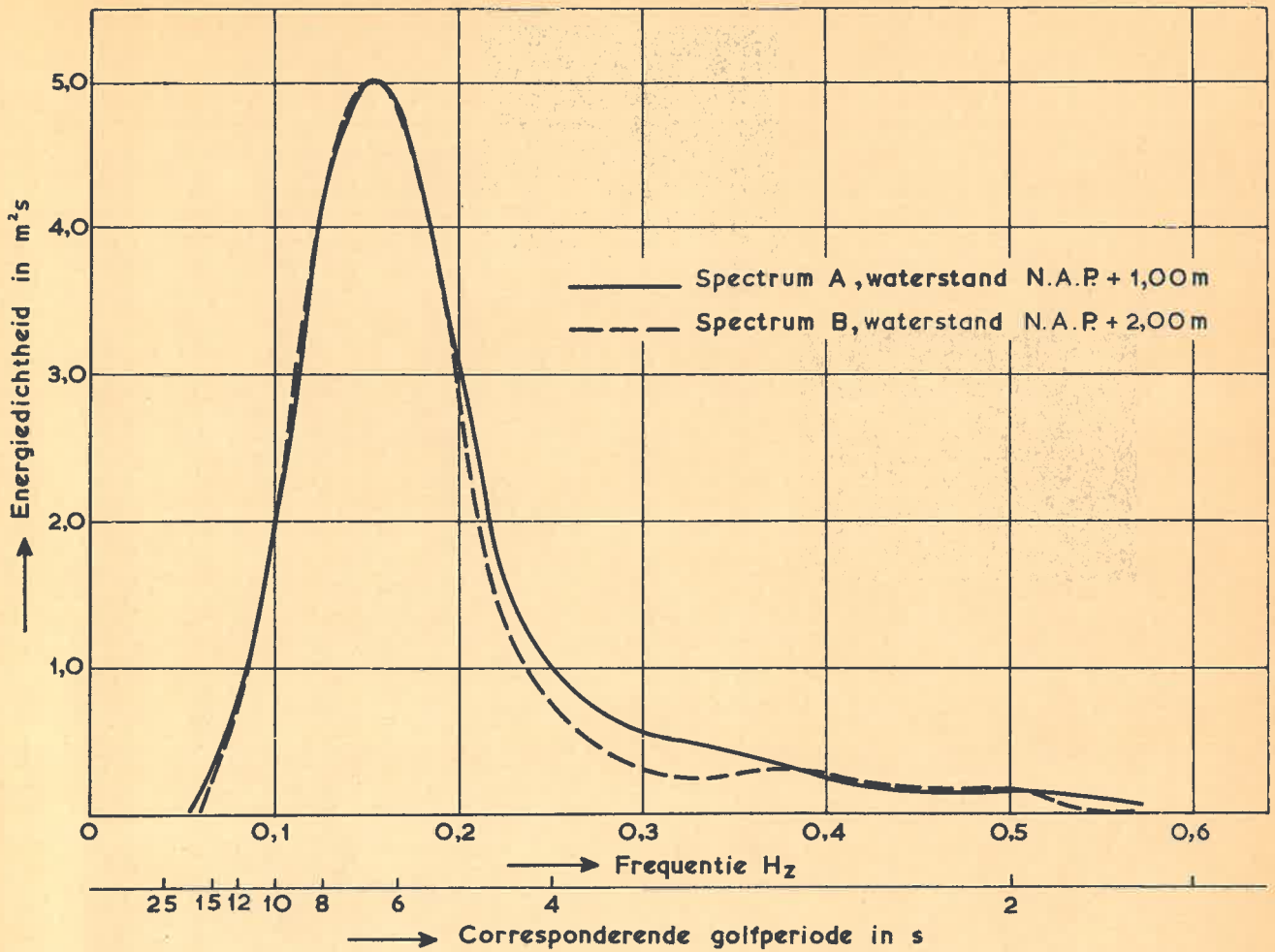


BLOKSCHEMA GEPROGRAMMEERDE GOLFMACHINE
 LABORATORIUM DE VOORST

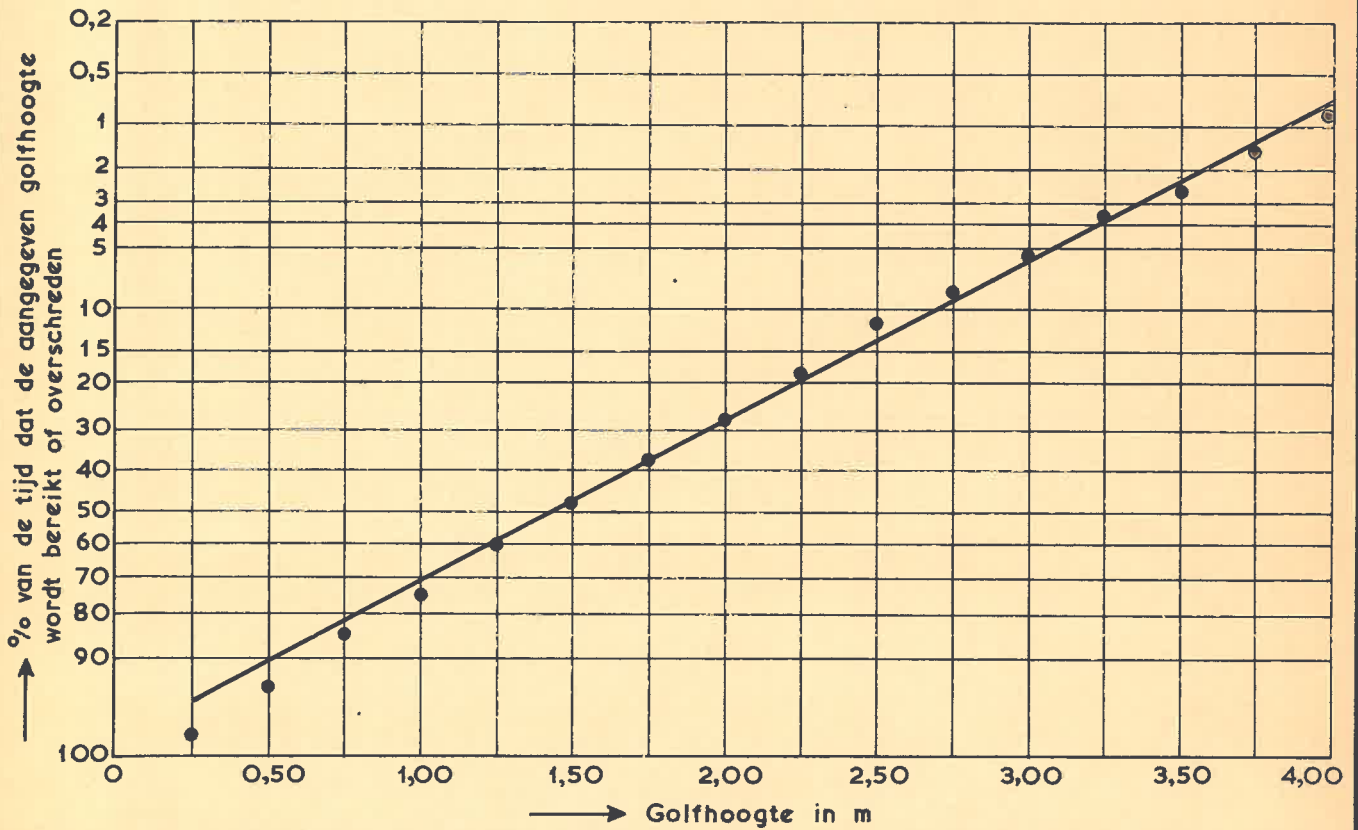
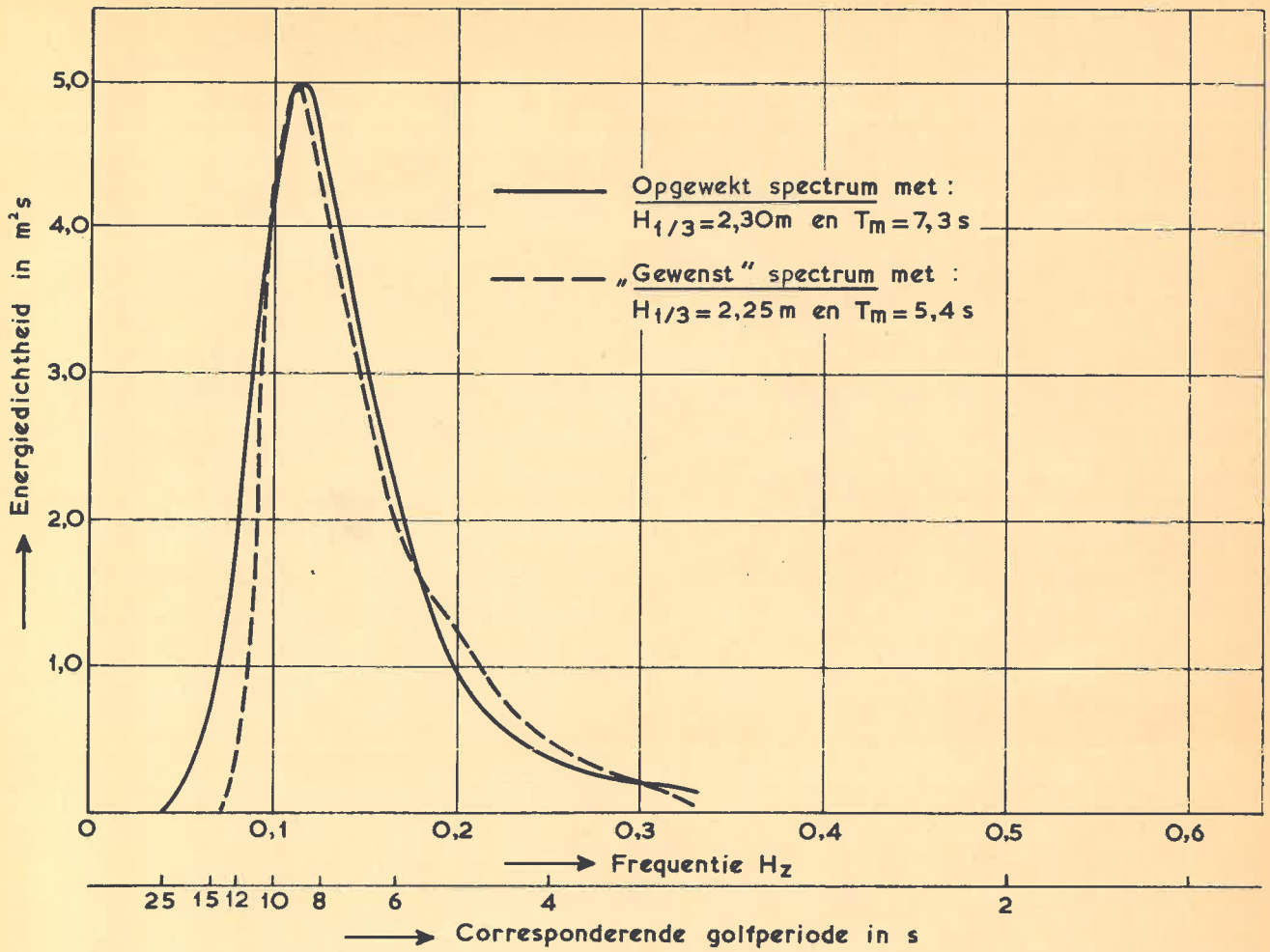
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1144

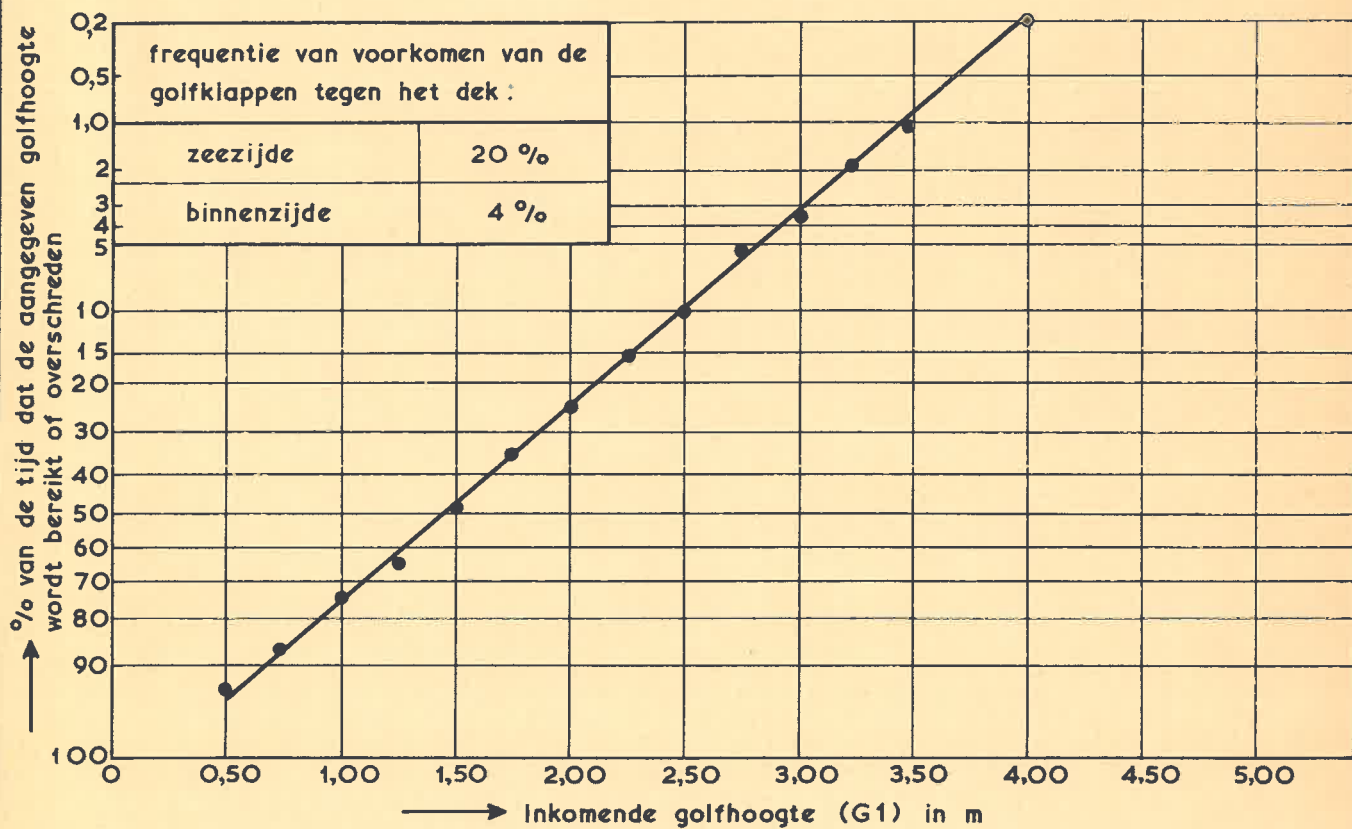
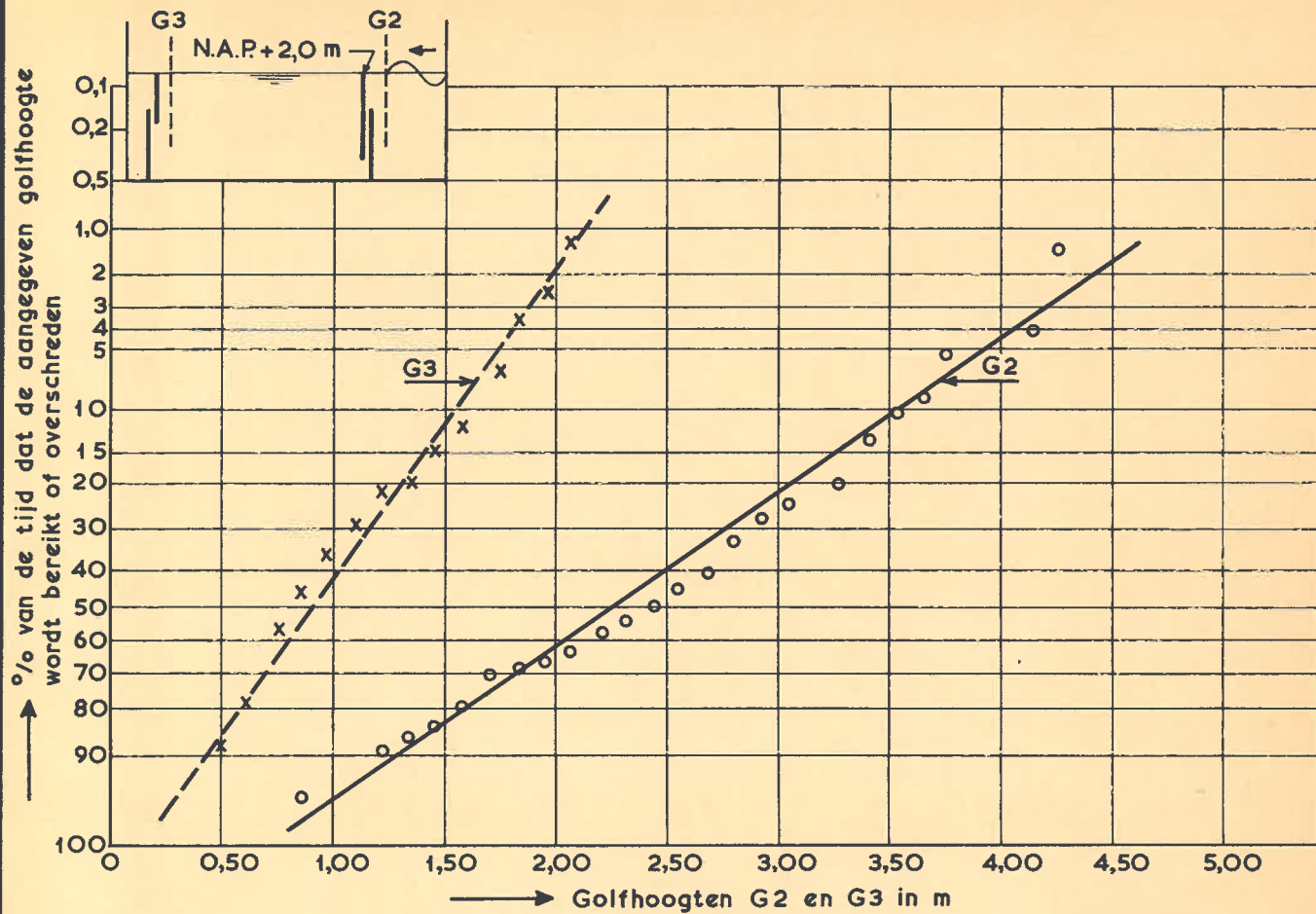
FIG. 4



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRA EN GOLFHOOGTE-
VERDELINGEN, SERIE I



„OOSTERSCHDELDE“ ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM
 EN GOLFHOOGTEVERDELING, SERIE II



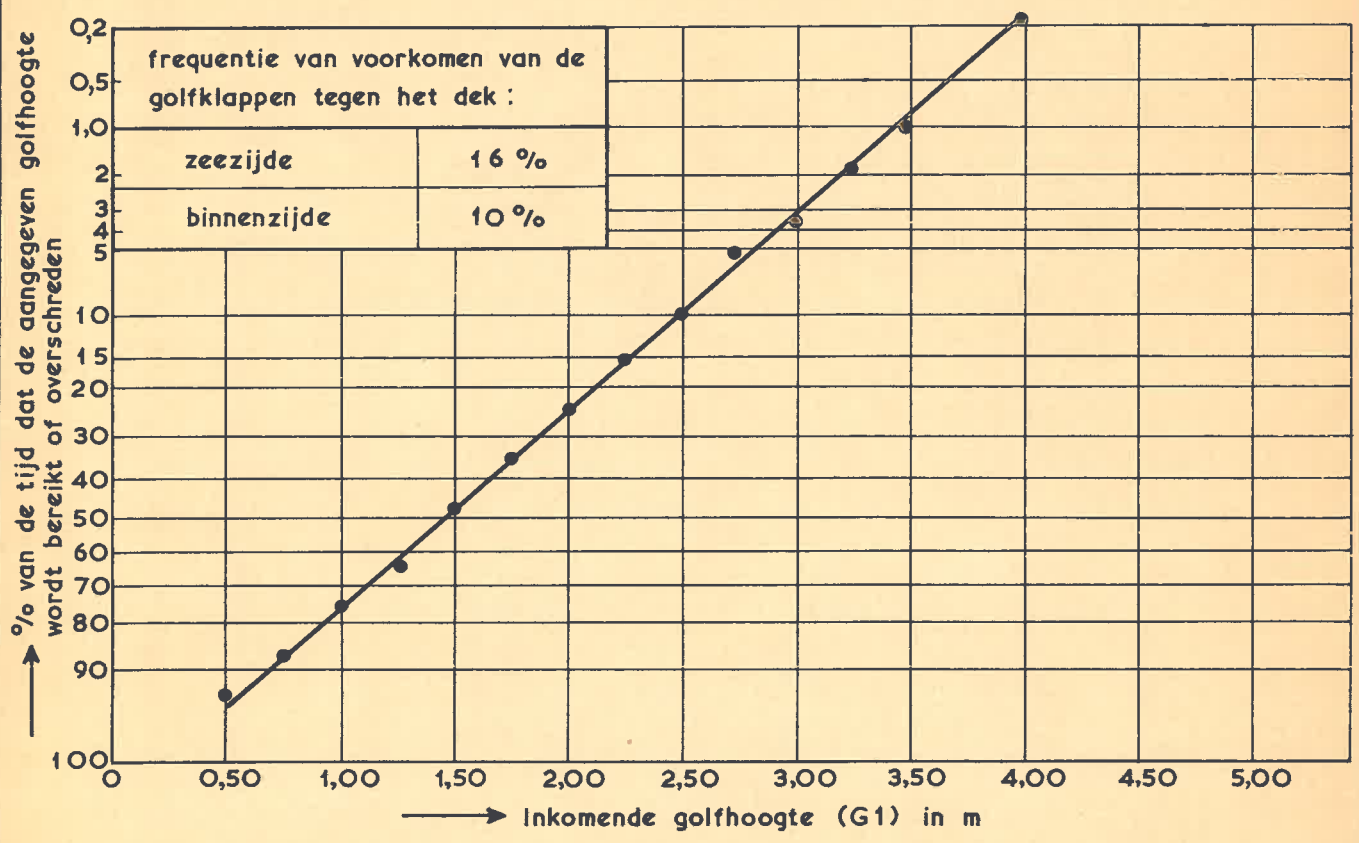
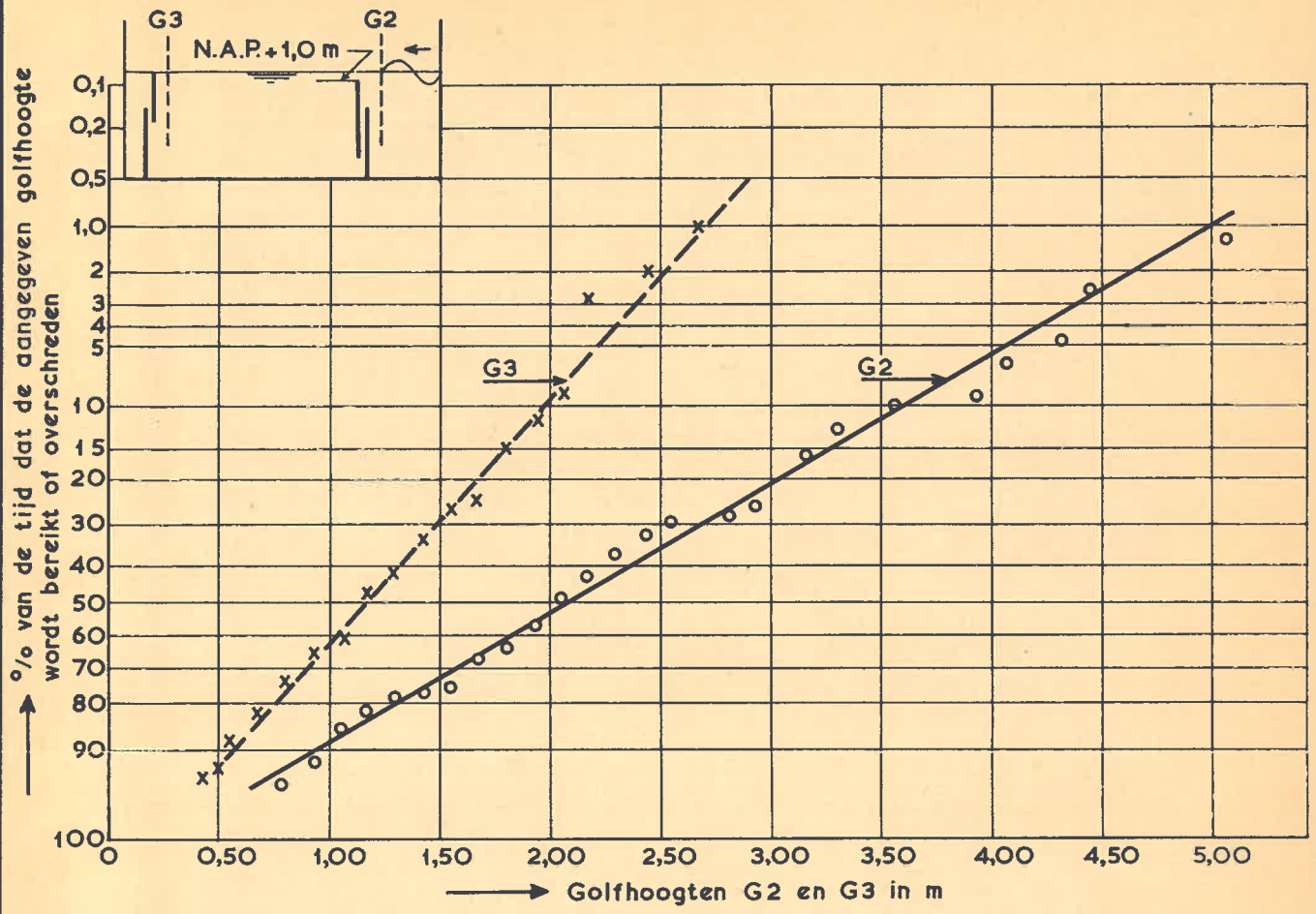
GOLFHOOGTEVERDELINGEN
(SCHUIFSTAND ZEEZIJDE N.A.P. + 2,0 m)

w.s. N.A.P. + 2,0 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

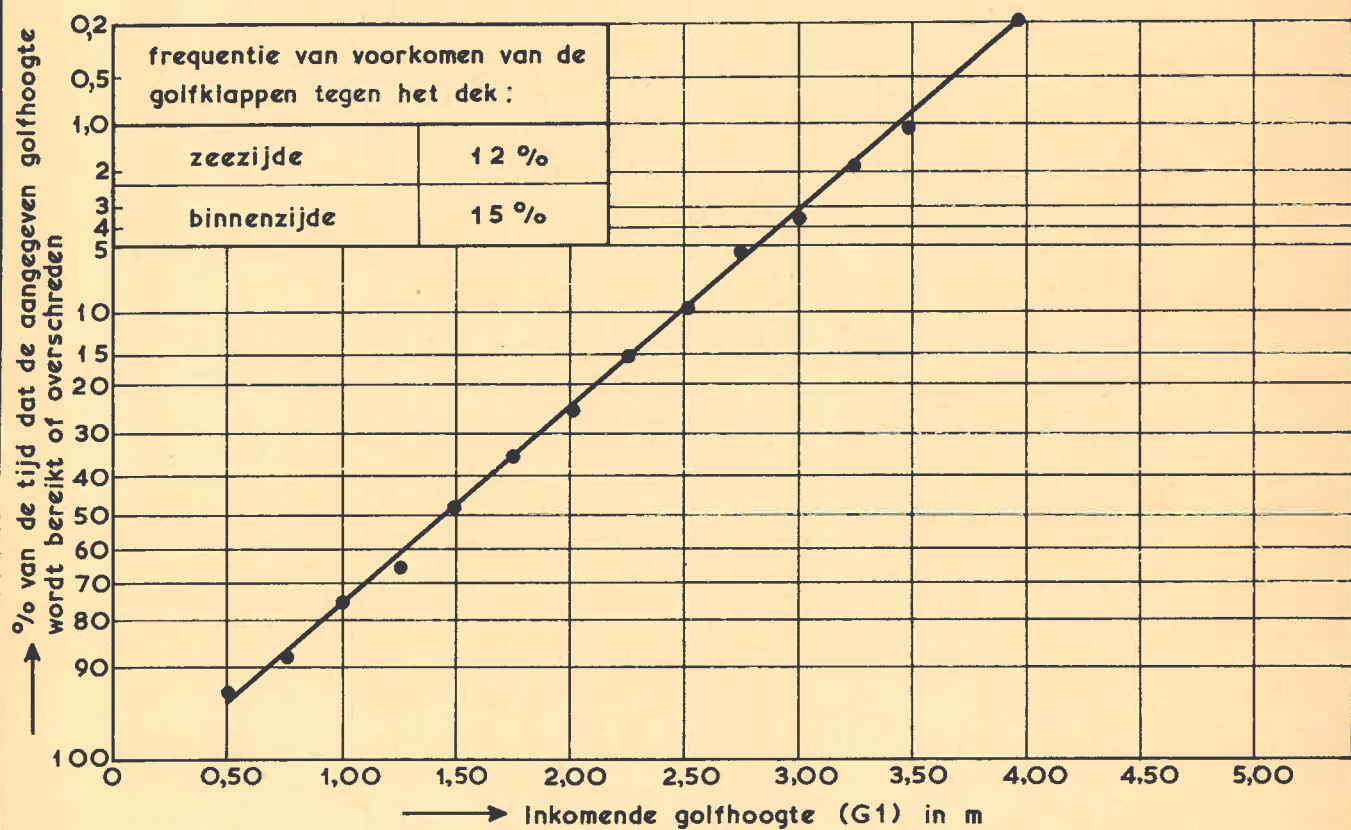
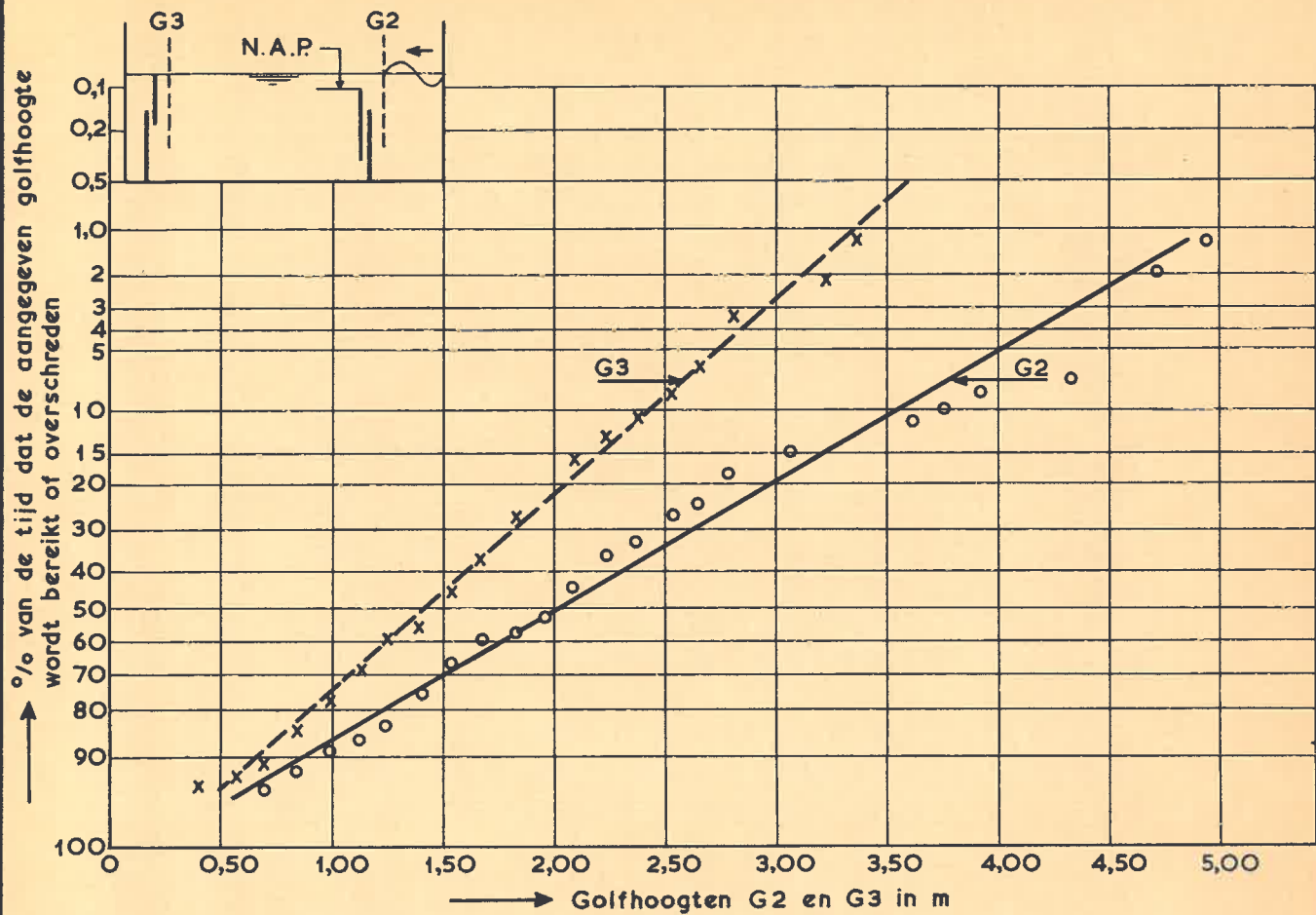
M. 1144

FIG. 7



GOLFHOOGTEVERDELINGEN
(SCHUIFSTAND ZEEZIJDE N.A.P. + 1,0 m)

w.s. N.A.P. + 2,0 m



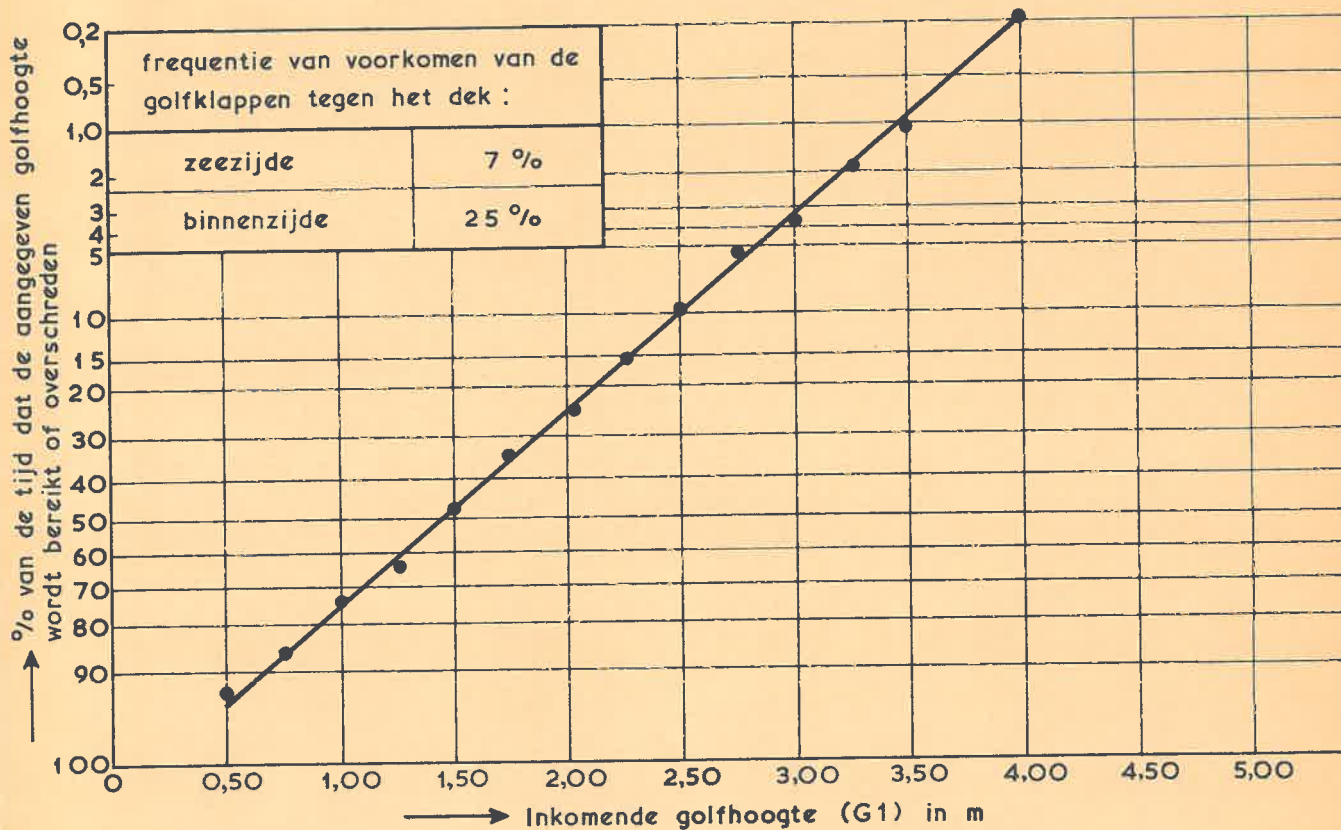
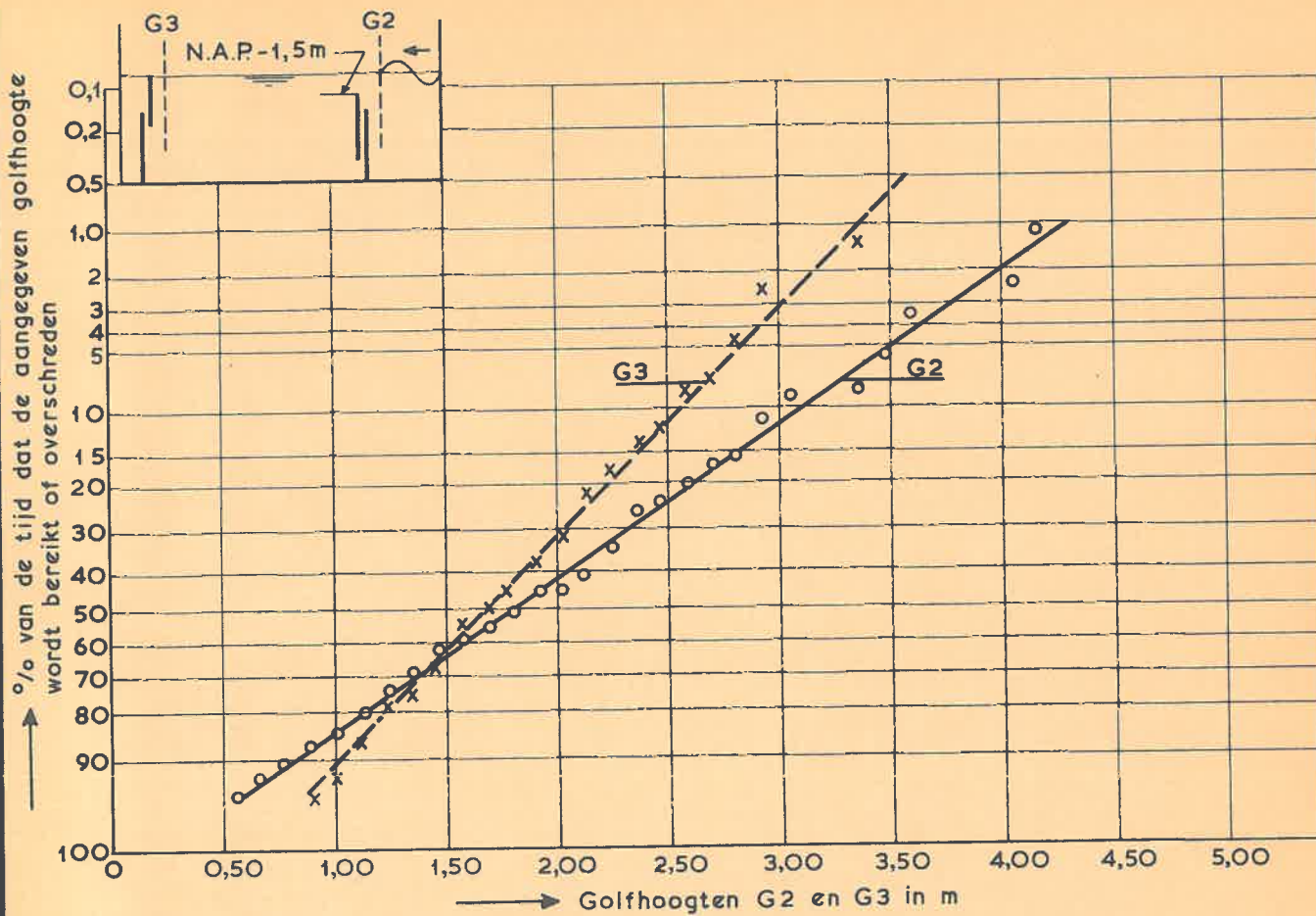
GOLFHOOGTEVERDELINGEN
(SCHUIFSTAND ZEEZIJDE N.A.P.)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

w.s. N.A.P. + 2,0m

M. 1144

FIG. 9



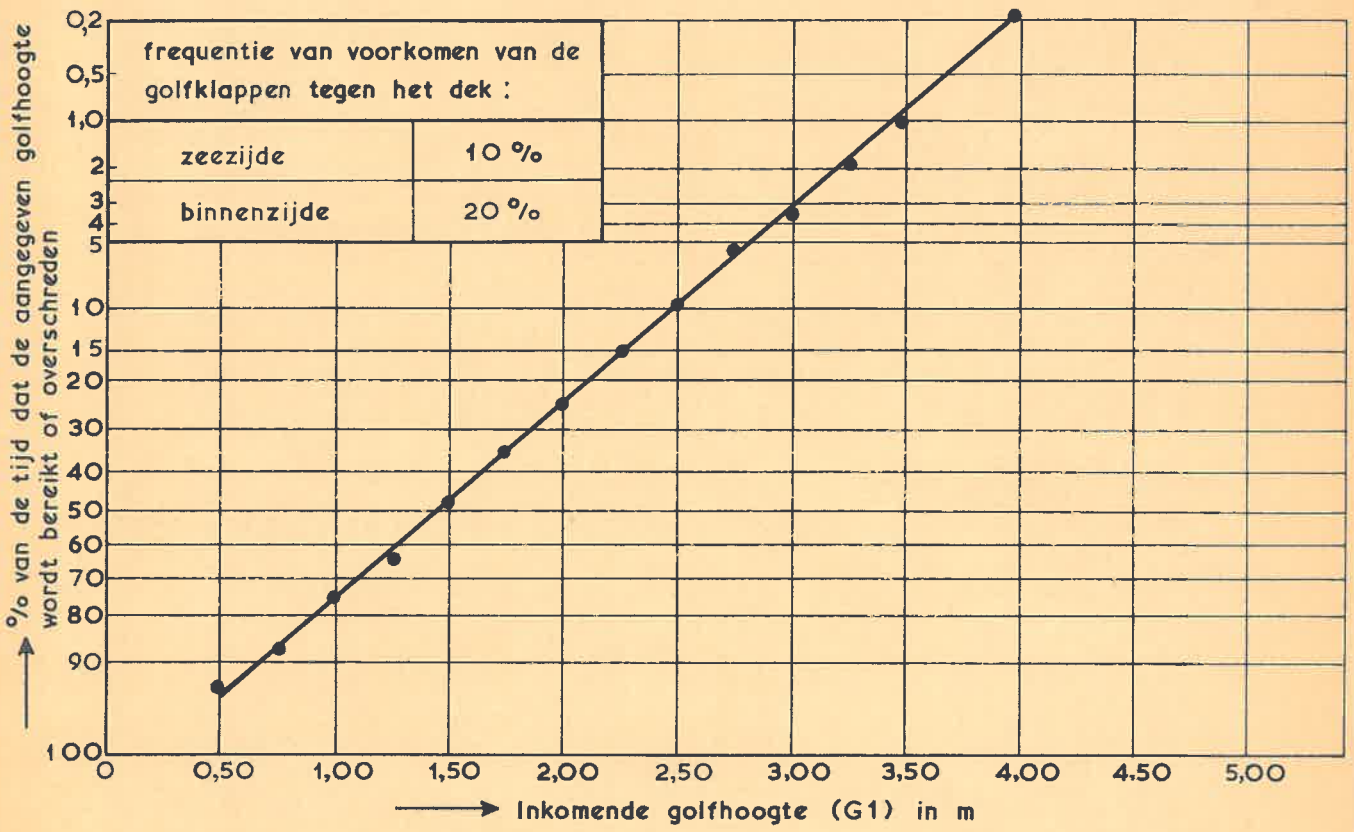
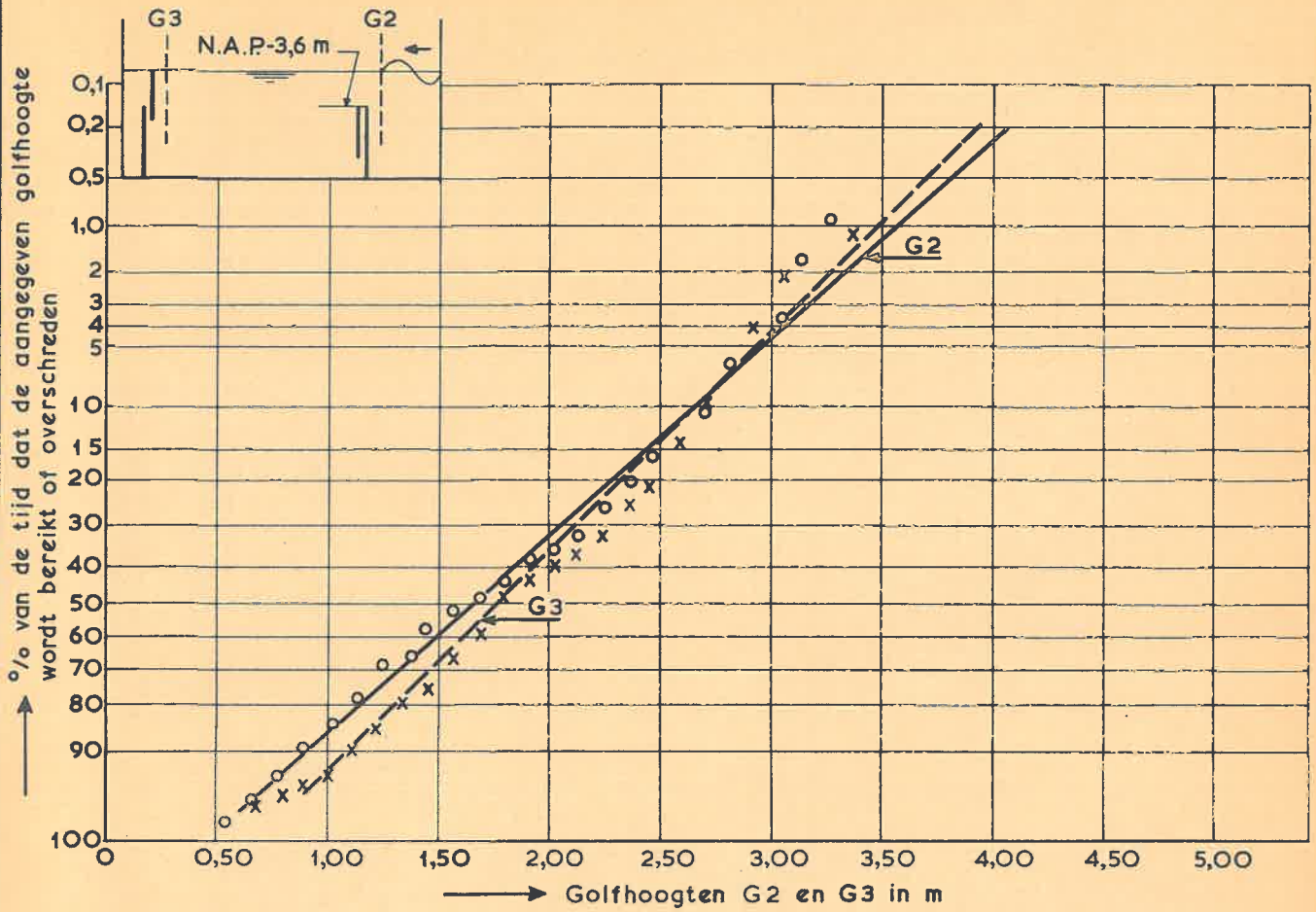
GOLFHOOGTEVERDELINGEN
(SCHUIFSTAND ZEEZIJDE N.A.P. - 1,5 m)

w.s. N.A.P. + 2,0 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1144

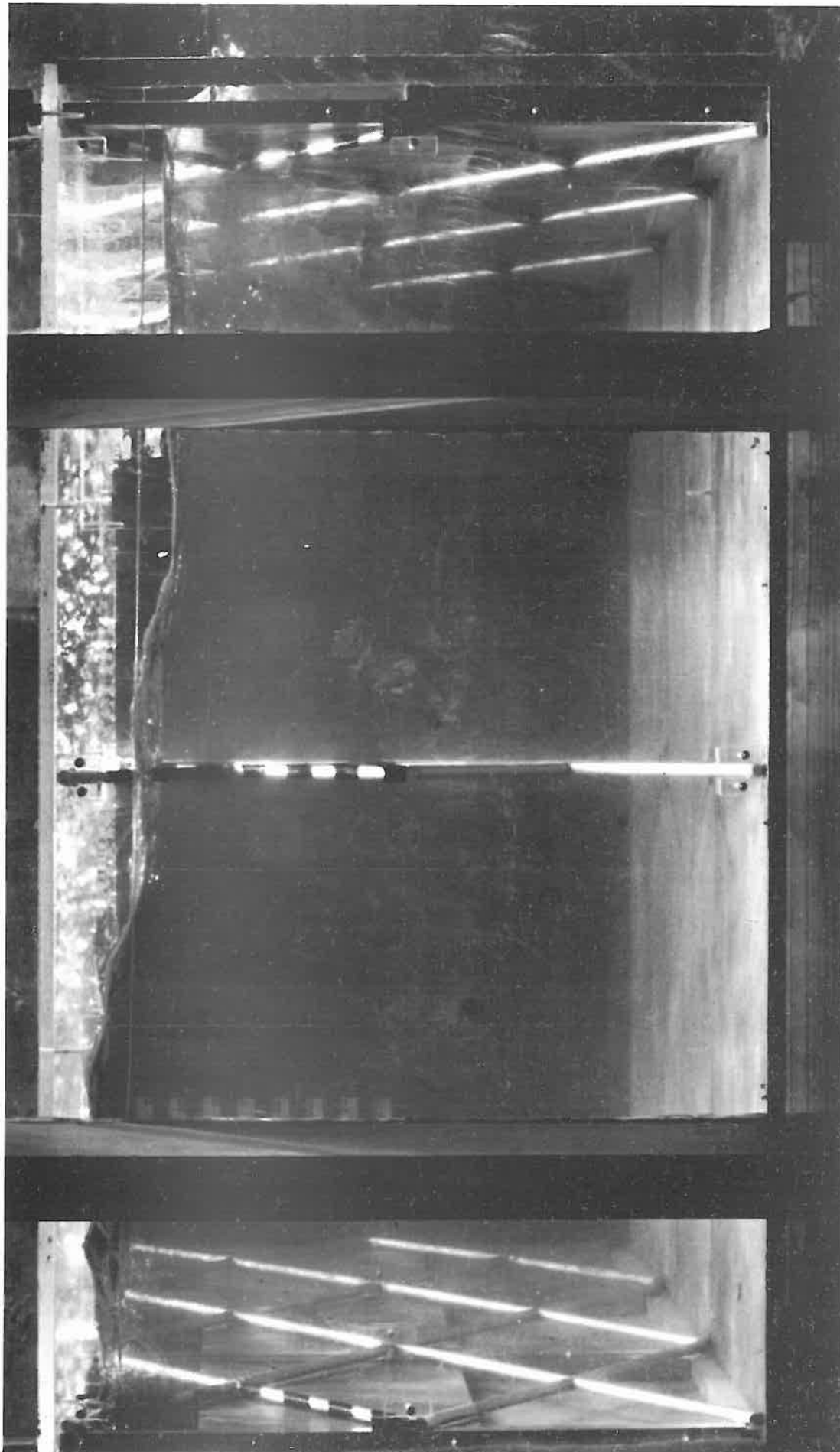
FIG. 10



GOLFHOOGTEVERDELINGEN
(SCHUIFSTAND ZEEZIJDE N.A.P. - 3,6 m)

w.s. N.A.P. + 2,0 m

zeezijde



GOLFBEWEGING IN CAISSON

