

rijkswaterstaat
dienst getijdewatoren
bibliotheek
grenadiersweg 31 -
4338 PG middelburg

boulevard "De Ruyter" Vlissingen

golfbelasting en golfoverslag

verslag modelonderzoek

M1366

februari 1976

2976

20-10-'77

INHOUD

LIJST VAN FIGUREN

blz.

<u>1</u>	<u>Inleiding</u>	1
1.1	Opdracht	1
1.2	Basisgegevens	1
1.3	Probleemstelling	2
1.4	Kriteria voor golfoverslag en golfbelasting	3
1.5	IJking van het model en vergelijking met M 494	5
1.6	Samenvatting van de resultaten en konklusies	6
<u>2</u>	<u>Model en modelopstelling</u>	9
2.1	Golfopwekking	9
2.2	Modelschalen	9
2.3	Modelopstelling	10
2.4	Meetmethode en meetapparatuur	10
<u>3</u>	<u>Resultaten modelonderzoek</u>	12
3.1	Algemeen	12
3.2	Bestaande toestand	13
3.3	Situatie 1 februari 1953	15
3.4	Voorzieningen ter beperking van overslag en belasting bebouwing	15
<u>4</u>	<u>Evaluatie modelresultaten</u>	19
4.1	Algemeen	19
4.2	Belasting boulevardmuur	19
4.3	Belasting bebouwing	20
4.4	Golfoverslag	22

LIJST VAN FIGUREN

- 1 Wind-golfgoten
- 2 Schema geprogrammeerde golfmachine
- 3 Situatie met gekozen profielen
- 4 Modelopstelling in 2 m brede windgoot
- 5 Ligging voorland in prototype en model
- 6 Schets model van de boulevard
- 7 Vorm parapet in prototype en model
- 8 Energie-dichtheidsspektrum superstorm
- 9 Kumulatieve golfhoogteverdeling superstorm
- 10 Energie-dichtheidsspektrum storm februari 1953
- 11 Kumulatieve golfhoogteverdeling storm februari 1953
- 12 Belasting muur en verticale borstwering superstorm
- 13 Belasting muur en verticale borstwering storm november 1966
- 14 Belasting muur en verticale borstwering storm december 1954
- 15 Belasting bebouwing. Huidige situatie, geen afvoer. Superstorm
- 16 Belasting bebouwing. Huidige situatie, afvoer aanwezig. Superstorm
- 17 Belasting muur en verticale borstwering. Storm februari 1953. Berm aanwezig
- 18 Belasting muur en verticale borstwering. Storm februari 1953. Zonder berm
- 19 Belasting bebouwing. Storm februari 1953. Muur met verticale borstwering. Zonder berm
- 20 Belasting muur en parapet. Superstorm
- 21 Belasting bebouwing. Superstorm. Muur voorzien van parapet
- 22 Belasting bebouwing. Superstorm. Muur zonder borstwering
- 23 Belasting muur en parapet. Superstorm. Muur 8 m zeewaarts verplaatst
- 24 Belasting bebouwing op 12,5 m vanaf muur. Superstorm. Muur met parapet 8 m zeewaarts verplaatst
- 25 Belasting bebouwing op 25 m vanaf muur. Superstorm. Muur met parapet 8 m zeewaarts verplaatst
- 26 Tijdregistratie overslag. Superstorm. Muur met verticale borstwering
- 27 Tijdregistratie overslag. Storm februari 1953. Muur met rechte borstwering. Zonder berm
- 28 Tijdregistratie overslag. Superstorm. Muur zonder borstwering
- 29 Tijdregistratie overslag. Superstorm. Muur met parapet 8 m zeewaarts verplaatst
- 30 Voorbeeld tijdregistratie van belasting op de boulevardmuur. Superstorm
- 31 Voorbeeld tijdregistratie van belasting op de bebouwing. Superstorm

LIJST VAN FIGUREN (vervolg)

- 32 1% belasting boulevardmuur. Vergelijking verschillende kondities
- 33 1% belasting op bebouwing. Vergelijking verschillende kondities
- 34 1% belasting op bebouwing. Invloed van plaats van de boulevardmuur

1 Inleiding

1.1 Opdracht

Bij schrijven, kenmerk 4200, dd. 4 augustus 1975 werd door Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Arrondissement Vlissingen, aan het Waterloopkundig Laboratorium te Delft opdracht verleend tot uitvoering van een modelonderzoek naar de golfbelastingen en golfoverslag van de boulevard De Ruijter te Vlissingen.

Het onderzoek werd in de maanden augustus en september van 1975 uitgevoerd in de twee meter brede windgoot van het Laboratorium te Delft.

De noodzakelijke gegevens omtrent het profiel van de boulevard, de plaats van de bebouwing e.d. werden verstrekt door het Arrondissement Vlissingen, terwijl de ligging van het voorland, de te onderzoeken waterstanden, golfhoogten en golfperioden door de Studiedienst Vlissingen van Rijkswaterstaat werden opgegeven.

De modelproeven stonden onder leiding van ir. H. Boonstra, die ook dit verslag samenstelde.

1.2 Basisgegevens

Voor de bepaling van de vorm van de berm, de boulevard en de plaats van de bebouwing werd uitgegaan van tekening nr. C7, 75-44 en C6, 75-45 van het Arrondissement Vlissingen.

De ligging van het voorland werd vastgesteld aan de hand van tekening nr. A4.75.432 en A5.74.723 van de Studiedienst Vlissingen, waarop dieptecijfers en dieptelijnen zijn aangegeven, op basis van lodingen van respectievelijk 1975 en 1974.

Een plattegrond van de situatie is weergegeven in figuur 3. In overleg met de opdrachtgever en de Studiedienst Vlissingen werden profiel A en profiel B als maatgevende sekties gekozen.

Argumenten voor deze keuze waren:

- de profielen vertonen een relatief diepe ligging van het voorland.
- uit een refraktieberekening blijkt dat bij een storm uit noordwestelijke

richting de boulevard in de buurt van profiel A het zwaarst wordt aangeval-
len.

- tijdens de stormvloed van februari 1953 werd de boulevard bij profiel B
beschadigd.

Aangezien profiel A en B een grote gelijkenis vertonen, zowel wat betreft
voorland als plaats van de bebouwing, werd besloten beide profielen tot één
model te schematiseren (zie fig. 5).

Het merendeel van de modelproeven is gericht geweest op het vaststellen van
belasting en golfoverslag tijdens een stormvloed met een frekwentie van voor-
komen van 10^{-4} per jaar. (De zogenaamde superstorm.) Daarnaast werden ook de
omstandigheden tijdens de stormvloed van februari 1953 (met en zonder aanwe-
zigheid van de berm) en tijdens enkele recente stormen gereproduceerd. De
maatgevende kondities werden verstrekt door de Studiedienst Vlissingen en
zijn in onderstaande tabel samengevat.

omschrijving	waterstand	signifikante golfhoogte	topperiode van het spektrum
superstorm	NAP + 5,65 m	4,30 m	11 sek → reflectie van W.W.
1 februari '53	NAP + 4,65 m	3,00 m	9,5 sek
23 december '54	NAP + 3,60 m	2,65 m	8,0 sek
16 november '66	NAP + 3,73 m	2,40 m	6,0 sek

1.3 Probleemstelling

In de eerste helft van 1955 zijn door het Waterloopkundig Laboratorium model-
proeven op een sectie van boulevard De Ruijter uitgevoerd ter vaststelling
van de golfoverslag. (Modelnummer M 494.) Tijdens deze proeven werd het effect
van een aantal voorzieningen aan de zeezijde van de boulevard onderzocht. Een
berm voor de boulevard zoals die op dit moment aanwezig is, bleek het meeste
effect te sorteren. De overslag bij het model met berm (kruin van de berm op
NAP + 6,00 m, borstweringmuur op NAP + 9,60 m) was bijvoorbeeld minder dan in
de situatie waarin vóór de boulevard een dijk met talud van 1:3,5 en kruin-
hoogte NAP + 11,00 m werd gelegd.

De proeven van 1955 resulteerden, voor de boulevard met berm, tijdens de super-

storm, in een overslag van 20,5 l/s per strekkende meter, een hoeveelheid die aanzienlijk hoger is dan de vaak gehanteerde maatstaf van 2 l/s per m'.

Eén aspekt van de huidige proeven is het vaststellen van de hoeveelheid overslag en de daarbij optredende belasting van boulevardmuur en bebouwing. De "herhaling" van de overslagproef is zinvol omdat de statistische eigenschappen van de golven opgewekt met behulp van de huidige faciliteiten beter met de werkelijkheid overeenstemmen dan tijdens de proeven in 1955 toen werd gewerkt met een regelmatig bewegend golfshot, en variatie in golfhoogte en periode door wind werd bewerkstelligd.

Aangezien het niet denkbeeldig is dat de bestaande borstwering zal bezwijken tijdens een zware storm, is ook de overslag en belasting op de bebouwing vastgesteld in afwezigheid van een borstwering.

Daarnaast is de invloed van een parapet op de overslag en de belasting van de bebouwing vastgesteld.

Voor een zinvolle interpretatie van de modelresultaten moet een antwoord worden gevonden op de volgende vragen:

- a. Wat is de hoeveelheid overslag die nog juist toelaatbaar is onder extreme kondities?
- b. Welke golfbelasting kan de boulevardmuur weerstaan?
- c. Wat is de toelaatbare belasting op de bebouwing?

Op deze vragen wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

1.4 Criteria voor golfoverslag en golfbelasting

Overslag

Er zijn twee voorwaarden die aan de hoeveelheid overslag een beperking stellen, nl.:

- het gebied gelegen achter de boulevard mag geen wateroverlast ondervinden
- de achterkant van de boulevard mag door het overslaande water geen zodanige schade ondervinden dat de zeewerende functie van de boulevard in gevaar komt of de fundatie van de bebouwing wordt ondermijnd.

De eerst genoemde voorwaarde kan aan de hand van de ligging van het achterland, de afvoermogelijkheden e.d. worden vertaald in een toelaatbare hoeveelheid overslag per strekkende meter boulevardmuur. Het Waterloopkundig Labora-

torium beschikt niet over dergelijke gegevens en deze voorwaarde wordt in het huidige verslag dan ook niet verder uitgewerkt.

De tweede voorwaarde is moeilijk te kwantificeren. Voor dijken wordt veelal een toelaatbare overslag van 2 l/s per strekkende meter gehanteerd.

Opgemerkt wordt dat de relatie tussen de hoeveelheid overslag en het beschadigen c.q. bezwijken van dijken niet bekend is.

Het genoemde criterium dient dan ook beschouwd te worden als een maatstaf bij het vergelijken van verschillende oplossingen. Wel zijn er duidelijke aanwijzingen dat dijken met een behoorlijke bekleding en niet te steil binnen talud onder deze omstandigheden voldoende stabiel zijn.

Bij een beschouwing van de vraag of een dergelijk criterium ook voor de boulevard zou moeten worden toegepast, dienen de volgende factoren in rekening te worden gebracht:

- Als de bebouwing langs de boulevard een aaneengesloten geheel vormt en de golfbelasting kan weerstaan, stroomt het overslagwater via spuigaten (of over de borstwering) terug naar zee. In dit geval, waarbij de bebouwing deel uitmaakt van de zeewering, wordt alleen de bestrating aan de golfoverslag blootgesteld en zou een hogere toelaatbare overslag dan bij dijken kunnen worden gehanteerd.
- Indien de bebouwing niet aaneengesloten is (trapgaten) of zwakke plekken vertoont (ramen op straatniveau) zal het overslagwater plaatselijk geconcentreerd worden afgevoerd en kan een hoeveelheid van 2 l/s per m' te veel zijn.

Opgemerkt kan worden dat in het verslag M 804 ("Boulevard Vlissingen - Verbetering Westelijk gedeelte") als criterium werd aangehouden 2 l/s per m' (zie blz. 6 van het betreffende verslag).

Belasting bebouwing

Bij het modelonderzoek van de boulevards Evertsen en Bankert kon (op indirecte wijze) een criterium voor de belasting op de bebouwing worden gevonden omdat gegevens over de laagdikte van het overslagwater op de boulevard tijdens de stormvloed van 1 februari '53 bekend waren (zie verslag M 1161). Het belastingscriterium werd gesteld op 8000 N per strekkende meter bebouwing voor de 1% belasting. Hoewel de meetmethode in het huidige onderzoek verschilt van de methode die in M 1161 werd toegepast (in plaats van een kracht per strek-

kende meter is een druk gemeten op drie hoogtes boven straatniveau) zou het criterium uit M 1161 kunnen worden toegepast door de gemeten druk over de vertikaal te integreren (zie ook 4.3). Hoewel achter de bebouwing aan de boulevards Evertsen en Bankert een zeewering is aangebracht is het criterium voor de belasting van de bebouwing zodanig gekozen dat "de bebouwing niet of nauwelijks wordt beschadigd" omdat "de door een beschadigde bebouwing uitgeoefende invloed op de zeewering onbekend is" (M 1161, blz. 2). Een dergelijk criterium zou nu ook kunnen worden toegepast op de bebouwing aan de boulevard De Ruijter waar geen zeewering achter de bebouwing aanwezig is.

Een andere mogelijkheid om een criterium voor de belasting op de bebouwing te vinden zou kunnen zijn het simuleren in het model van de situatie en kondities als tijdens de storm van 1 februari 1953 en het vaststellen van de belasting op de bebouwing. Aangezien er in 1953 geen schade aan de bebouwing optrad, kan deze belasting als criterium dienen voor de toelaatbare belasting tijdens de superstorm.

Aan bovenstaande redenering kleeft het bezwaar dat in 1953 nog geen bebouwing aanwezig was ter plaatse van het zwaarst belaste gedeelte van de boulevard, en aan het eerstgenoemde criterium (8000 N/m') moet dan ook meer waarde worden gehecht.

Belasting boulevardmuur en verticale borstwering (of parapet)

Met elementaire sterkteleer kan worden vastgesteld of de belasting op de verticale borstwering (of de gehoekte parapet) toelaatbaar is.

Een criterium voor de toelaatbare belasting op de huidige muur kan worden verkregen door de belasting tijdens de superstorm te vergelijken met de belasting die in februari 1953 optrad. In 1953 werd de muur op één plaats beschadigd. Als wordt aangenomen dat dit zwakste gedeelte van de muur zodanig is gerepareerd dat het minstens even sterk is als de overige gedeelten van de muur en als de muur door de jaren heen in dezelfde konditie wordt gehouden, kan de belasting zoals bij de omstandigheden van 1953 in het model gemeten, als toelaatbare belasting worden beschouwd. Een probleem hierbij is dat gewerkt moet worden met de geschatte golfkondities, zoals in 1.2 gegeven.

1.5 IJking van het model en vergelijking met M 494

Tijdens de storm van 1 februari 1953 is de golfhoogte voor de boulevard De

Ruijter niet gemeten terwijl ook geen betrouwbare beschrijving bekend is van de golfoverslag of de golfbelasting op de bebouwing langs de boulevard.

Tijdens de stormen van december 1954 en november 1966 is de golfhoogte wel gemeten (met behulp van een golfbaak) en spektra met bijbehorende golfhoogteverdelingen zijn in het model ingesteld. Aangezien er zowel in het model als in het prototype geen overslag optrad is, behalve deze konstatering op zich zelf, een betrouwbare ijking niet mogelijk.

De modelproeven die door het Waterloopkundig Laboratorium in 1955 aan de boulevard zijn verricht (M 494) gaven onder meer de volgende resultaten te zien:

storm februari 1953, model zonder berm: overslag: 48,3 l/s per m'

superstorm, model met berm: overslag: 20,5 l/s per m'.

De huidige modelproeven leveren in dezelfde omstandigheden respectievelijk 47,8 l/s per m' (febr. '53) en 18,6 l/s per m'.

Deze resultaten komen, zeker gezien het verschil in golfopwekking bij de twee modelproeven, zeer goed met elkaar overeen.

1.6 Samenvatting van de resultaten en konklusies

Belasting op bebouwing

1. In de huidige situatie zal tijdens de zogenaamde superstorm (waterstand NAP + 5,65 m, golfhoogte $H_s = 4,30$ m, topperiode spektrum $T_p = 11$ s) de 1% belasting op 0,3 m boven straatniveau $1,7 \times 10^4$ N/m² bedragen (zie fig. 33). De kracht per strekkende meter bebouwing bedraagt in deze situatie $2,0 \times 10^4$ N/m'.
2. Indien de bestaande verticale borstwering het begeeft tijdens de superstorm neemt de 1% belasting op 0,3 m boven straatniveau toe tot $3,0 \times 10^4$ N/m² en bedraagt de 1% kracht per strekkende meter op de bebouwing $3,1 \times 10^4$ N/m'.

In beide gevallen is de belasting per strekkende meter aanzienlijk hoger dan het criterium van $0,8 \times 10^4$ N/m' dat in het verslag M 1181 voor de bebouwing aan de boulevards Evertsen en Bankert is gesteld.

3. Toepassing van een gehoekte parapet op de boulevardmuur (zie voor vorm

en afmeting fig. 7) reduceert de belasting aanzienlijk. Uit figuur 33 blijkt dat de 1% belasting op 0,3 m boven straatniveau in deze situatie $1,1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ bedraagt, terwijl de 1% kracht per strekkende meter bebouwing $0,9 \times 10^4 \text{ N}$ per m' bedraagt, hetgeen vrijwel voldoet aan het criterium van $0,8 \times 10^4 \text{ N}$ per m'.

4. Verplaatsing van de boulevardmuur in zeewaartse richting resulteert in een afname van de belasting op de bebouwing, hoewel de golfoverslag toeneemt.

Belasting op de boulevardmuur

5. De belasting op de boulevardmuur en de verticale borstwering tijdens superstormomstandigheden is als overschrijdingsverdeling uitgezet in figuur 12. De uit deze figuur gevonden 1% belasting is in figuur 32-B vergeleken met de 1% belasting die tijdens de storm van 1 februari 1953 opgetreden is toen de boulevard nog niet was voorzien van een berm. Het blijkt dat de twee belastingsgevallen vrijwel overeenkomen, waaruit gekonkludeerd kan worden dat indien de huidige muur in goede staat wordt onderhouden, deze niet zal bezwijken ten gevolge van golfbelasting tijdens de superstorm.
Dimensionering 0,2% kracht
6. In figuur 32-A is de 1% belasting op de muur, voorzien van een parapet, vergeleken met de 1% belasting op de muur met verticale borstwering. Het blijkt dat de belasting op de parapet ongeveer 50% groter is dan de belasting op de verticale borstwering. Ook het gedeelte van de muur direct onder de parapet wordt door de aanwezigheid van de parapet zwaarder belast.
7. Uit figuur 32-A blijkt duidelijk de toename van de belasting op de muur bij verplaatsing van de muur in zeewaartse richting.

Golfoverslag

8. Een registratie van de golfoverslag is voor verschillende situaties weergegeven in figuur 26-29. De gemiddelde golfoverslag bedraagt onder superstormomstandigheden (waterstand NAP + 5,65 m, significante golfhoogte $H_s = 4,3 \text{ m}$, topperiode spektrum: $T_p = 11 \text{ s}$) voor de huidige situatie 18,6 l/s per m' indien de muur is voorzien van een verticale borstwering en 45,8 l/s per m' indien geen borstwering aanwezig is. Hoewel geen criteria bekend zijn voor de toelaatbare golfoverslag over een boulevardmuur worden bovenstaande resultaten als ontoelaatbaar gekwalificeerd te meer daar de kans

groot is dat de huidige borstwering zal bezwijken onder superstormkonditie.

9. Toepassing van een parapet met vorm en afmetingen als aangegeven in figuur 7 beperkt de overslag tot 4,0 l/s per m'. Bij verplaatsing van de muur in zeewaars^{ts}te richting over 8 m, neemt de overslag toe tot 7,1 l/s per m'.

2 Model en modelopstelling

2.1 Golfopwekking

De modelproeven zijn uitgevoerd in de 2 m brede windgoot in het Laboratorium te Delft (zie fig. 1). Deze goot is uitgerust met een programmeerbare golf-machine, die een willekeurig golfspektrum kan genereren (fig. 2).

De machine bestaat uit twee hydraulische cylindere die aan het golfschot respectievelijk een translatie en rotatiebeweging geven. De cylindere worden door een servo-mechanisme bestuurd. Het sturingssignaal wordt verkregen door zogenaamde "witte ruis" (die, in principe, een konstante spektrale dichtheid zou opleveren voor alle frekwenties) met een aantal elektronische hoog- en laag-doorlaatfilters zodanig te filteren dat het gewenste golfspektrum ontstaat.

De aldus opgewekte golven zijn qua vorm van het energiespektrum en qua statistische kenmerken een goede nabootsing van het zeeoppervlak, met als voornaamste verschil dat het spektrum in de goot één-dimensionaal is (lang-kammige golven) terwijl in de natuur meestal een zekere spreiding in de golfrichting valt waar te nemen, waardoor de golven kort-kammig zijn.

2.2 Modelschalen

Als lengteschaal, dit is de verhouding tussen een lengtemaat in het prototype en de overeenkomstige afmeting in het model, is gekozen $n_l = 30$.

Met deze schaal is het mogelijk in de windgoot een diepste bodemligging van ongeveer NAP - 17 m te bereiken terwijl een significante golfhoogte van ongeveer 4,5 m kan worden opgewekt. De schaalverhouding is zo klein als praktisch mogelijk was gekozen, om de schaaffecten, bijvoorbeeld ten gevolge van het niet op schaal zijn van de oppervlaktespanning van het water, eveneens zo klein mogelijk te houden.

In overeenstemming met de modelwet van Froude kunnen de volgende schalen worden afgeleid:

$$\text{tijd} \quad : n_t = \sqrt{n_l} = \sqrt{30} = 5,48$$

$$\text{kracht} \quad : n_k = n_\rho \cdot n_g \cdot n_l^3 = 1.1.30^3 = 900$$

$$\text{druk} : n_p = \frac{n_k^3}{n_1^2} = \frac{30^3}{30^2} = 30$$

$$\text{overslag} : n_q = \frac{n_1^3}{n_t \cdot n_1} = \frac{30^3}{\sqrt{30} \cdot 30} = 164.$$

Maten en resultaten in dit verslag zijn uitgedrukt in prototypewaarden, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld.

2.3 Modelopstelling

Het model van de boulevard en de bebouwing is uitgevoerd in staal. In de boulevardmuur waren vier drukopnemers aangebracht, waarvan één ter hoogte van de borstwering, terwijl de bebouwing voorzien was van drie drukopnemers (fig. 6). In verband met de afmetingen van de opnemers was het niet mogelijk de meetpunten vertikaal boven elkaar te plaatsen.

De bovenkant (het wegdek) van de boulevard kon worden vervangen door een bakje voor het opvangen van overslagwater. Het bakje was via een slang verbonden met een reservoir buiten de windgoot, waar de hoeveelheid overslagwater werd geregistreerd. Het model had een breedte van 60 cm en was op enkele meters vóór het golfdempend talud in de goot geplaatst (fig. 4).

De berm bestond uit metselwerk, terwijl de ligging van het voorland was nagebootst met betonnen elementen (fig. 5).

Naast de huidige toestand, waarbij de muur van de boulevard voorzien is van een 80 cm hoge verticale borstwering, zijn de volgende varianten onderzocht:

- boulevardmuur zonder borstwering
- boulevardmuur met parapet (fig. 7)
- boulevardmuur (met parapet) 8 m zeewaarts verplaatst
- situatie vóór 1955, muur met verticale borstwering, geen berm aanwezig.

2.4 Meetmethode en meetapparatuur

Alle proeven zijn uitgevoerd met onregelmatige golven.

De golfhoogte werd op drie plaatsen gemeten met geleidbaarheids-golfhoogte-opnemers (fig. 4). Een van de opnemers was op "diep" water geplaatst (bodempligging NAP - 16,90 m) terwijl de overige twee opnemers bij de teen van de berm stonden (bodempligging NAP - 1,00 m) respectievelijk voor het model (GHM 3 in fig. 4) en naast het model, waar dus de doorgaande golf werd gemeten (GHM 4). Het onderlinge verschil tussen opnemers 3 en 4 was verwaarloosbaar, behalve tijdens proeven zonder berm, en in mindere mate bij de verplaatste

boulevardmuur. In deze gevallen was de invloed van reflectie duidelijk merkbaar.

In het huidige verslag zijn de golfhoogten geregistreerd door opnemers 1 en 3 vermeld. De golfhoogteverdeling van opnemer 3 komt, tijdens proeven met berm en met de boulevardmuur op de huidige plaats, goed overeen met de golfhoogteverdeling van opnemer 1 (fig. 9 en 11). De significante golfhoogte is bij opnemer 3 iets groter, terwijl de maximale golfhoogte gelijk is aan de maximale golfhoogte gemeten door opnemer 1.

In die gevallen waar duidelijke reflectie van de boulevardmuur optrad, geeft opnemer 3 een afwijkende golfhoogteverdeling te zien (fig. 9 en 11).

De golfhoogte die werd opgegeven door de Studiedienst Vlissingen van Rijkswaterstaat is bij iedere proef ingesteld met behulp van opnemer 1.

De overslag is bepaald door een bakje te plaatsen tussen boulevardmuur en bebouwing. Het water dat in dit bakje werd opgevangen werd via een slang naar een reservoir buiten de windgoot geleid, waarin de hoeveelheid werd gemeten.

De belasting op de boulevardmuur, parapet en bebouwing werd gemeten met drukdozen (type Statham PM 131 TC).

De diameter van het gevoelige oppervlak bedraagt 1 cm (modelwaarde), dus 30 cm in prototype.

Voor de plaats van de drukdozen zie figuur 6. De eigenfrequentie van de drukdozen werd vastgesteld door het model met een schok te belasten, en bleek (boven water) 1200 à 1600 Hz (modelwaarde) te bedragen.

De signalen werden ongefilterd op een 7-spoors bandrecorder opgenomen.

3 Resultaten modelonderzoek

3.1 Algemeen

Van de twee belangrijkste golfkondities, te weten de superstorm en de storm van 1 februari 1953 is het energiedichtheidsspektrum weergegeven in respectievelijk figuur 8 en 10. De bijbehorende golfhoogteverdeling is in figuur 9 en 11 uitgezet en blijkt goed overeen te komen met de Rayleigh-verdeling. De resultaten van opnemer 1 (op 410 meter voor de boulevard, bodemligging: NAP - 16,90 m) zijn steeds als maatgevend beschouwd, uit figuur 9 en 11 blijkt echter dat de golfhoogte bij de teen van de berm (opnemer 3) hiervan nauwelijks afwijkt, in die gevallen waarin de berm aanwezig is en de boulevardmuur op de huidige plaats staat.

Tabel 1 (blz. 23) geeft een gedetailleerd overzicht van de golfkondities en waterstanden tijdens de verschillende proeven. De modelresultaten zijn niet gecorrigeerd voor de (kleine) verschillen tussen de gewenste en gemeten significante golfhoogte, omdat geen verband bekend is tussen golfhoogte en belasting op de bebouwing of golfoverslag.

In figuur 12 t/m 25 zijn de belastingen op de boulevardmuur en op de bebouwing uitgezet als kumulatieve frekwentieverdelingen. De overschrijdingsfrequentie van een zeker belastingsniveau is bepaald op basis van het totale aantal golven binnen dezelfde meetperiode. De lengte van een meetperiode bedroeg steeds 1000 golven (20 à 30 minuten in het model).

Het signaal van de belasting is vóór de statistische bewerking gefilterd met een 50 Hz (modelwaarde) laag doorlaatfilter. Het filteren van het signaal was nodig om ruis en het effect van resonantie in de buurt van de eigenfrequentie van de drukdoos of (een gedeelte van) het model te elimineren. Tevens werden hierbij de "belastingen" die optraden wanneer een drukdoos door een waterdruppel werd getroffen weggewerkt. De frequentie van 50 Hz werd gekozen na een aantal proeven met verschillende filterfrequenties waaruit bleek dat bij 50 Hz de stijgtijd en het maximum van de belasting nauwelijks werden beïnvloed, terwijl de ongewenste effecten uit het signaal waren verdwenen.

Voorbeelden van de gefilterde belastingsregistratie op de boulevardmuur en de bebouwing zijn gegeven in figuur 30 en 31.

Tijdens de overslagmetingen is een registratie van de overslag in de tijd gemaakt, zie figuur 26 tot 29. Naast de gemiddelde overslag is ook de "maximale"

overslag bepaald; de maximale overslag is hier gedefinieerd als de gemiddelde overslag in de 5 minuten periode (prototype) waarin de grootste overslag optrad. In verband met de beperkte afvoerkapaciteit bleek een kortere periode niet mogelijk.

3.2 Bestaande toestand

Belasting boulevardmuur

De belasting op de boulevardmuur en de verticale borstwering tijdens de superstorm is als kumulative frekwentieverdeling uitgezet in figuur 12. De te verwachten maximale belasting is een tijdsbestek van $1\frac{1}{2}$ uur (ongeveer 500 golven) is $8,5 \times 10^4$ Newton per m^2 ($\approx 8,5$ m waterkolom).

Deze belasting treedt op vlak boven de aansluiting van de berm op de muur (NAP + 6,00 m). De maximaal te verwachten belasting in hetzelfde tijdsbestek op de (vertikale) borstwering is $3,2 \times 10^4$ N/ m^2 .

Ter vergelijking werd ook de belasting gemeten gedurende de zwaarste stormen van de afgelopen 20 jaar waarbij voor de boulevard Bankert de golfhoogte werd vastgesteld (met behulp van een golfbaak). De resultaten zijn te vinden in figuur 13 (konditie 16 november 1966) en figuur 14 (konditie 23 december 1954).

Door het verschil in waterstand van 2 meter ten opzichte van de superstorm bereikt slechts een klein gedeelte van de golven de muur (5 à 10%) en de maximaal te verwachten belasting is respectievelijk $1,1 \times 10^4$ N/ m^2 en $1,4 \times 10^4$ N/ m^2 . De borstwering wordt in deze kondities nauwelijks belast ($0,15 \times 10^4$ N/ m^2), terwijl de overslag zich beperkt tot wat spatwater. Opgemerkt dient te worden dat de modelproeven, ook tijdens de konditie van december 1954, werden uitgevoerd met een berm voor de boulevardmuur, hetgeen dus niet in overeenstemming met de toenmalige toestand was.

Belasting bebouwing

De belasting op de bebouwing tijdens de superstorm werd vastgesteld zowel met als zonder voorzieningen voor afvoer van overslaand water. In de situatie zonder afvoer was het wegdek steeds bedekt met een laag water van ongeveer 70 cm. De kumulatieve belastingsverdeling is weergegeven in figuur 15. Opgemerkt moet worden dat de onderste drukdoos in dit geval permanent werd belast met een druk van ongeveer $0,4 \times 10^4$ N/ m^2 , deze waarde moet worden opgeteld bij de dynamische belasting zoals die in figuur 15 is weergegeven.

In het tweede geval werd de boulevard op straatniveau voorzien van afvoergaten met een diameter van 27 cm en een onderlinge afstand van 3 meter (hart op hart).

Het bleek dat een waterlaag van 70 cm door deze afvoer na 3 à 4 minuten (prototype tijd) verwerkt was. De belasting die in dit geval werd gemeten is weergegeven in figuur 16. Het blijkt dat de onderste drukdoos (op 33 cm boven straatniveau) in het geval met afvoer iets zwaarder wordt belast dan in de situatie zonder afvoer. Mogelijk vult de impuls van een golftop, die over de borstwering heen staat, af bij het "lopen" over een laag water. De belasting op de bovenste drukdoos (op 1,53 m boven straatniveau) is in de situatie met afvoer lager dan in de situatie zonder afvoer.

De 1% belasting per strekkende meter is echter in beide situaties aanzienlijk hoger dan het mogelijke criterium van $0,8 \times 10^4 \text{ N/m'}$ (zie 1.4).

Gezien de hoge belasting op de huidige verticale borstwering tijdens de superstorm ($3,2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$) is het zinvol te veronderstellen dat deze borstwering het zal begeven in extreme kondities. Daarom is ook de belasting op de bebouwing vastgesteld in de situatie zonder de 80 cm hoge borstwering. In figuur 22 is het resultaat weergegeven. De te verwachten maximale belasting in $1\frac{1}{2}$ uur is nu vrijwel verdubbeld tot $4,2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ voor de drukdoos op 33 cm boven het straatniveau, terwijl de belasting op de drukdoos 1,53 m boven straatniveau is verdrievoudigd tot $1,8 \times 10^4 \text{ N/m}^2$.

Overslag

De gemiddelde overslag werd in de situatie waarin de borstwering aanwezig is, vastgesteld op 18,6 liter/sek per strekkende meter zeewering, tijdens superstorm-omstandigheden. Door de onregelmatige natuur van de golfaanval kan de overslag tijdelijk aanzienlijk meer zijn, het hoogste gemiddelde in een tijdsbestek van 5 minuten bedroeg 66 l/s per m'. Een registratie van de overslag is weergegeven in figuur 26.

In de situaties zonder borstwering bedroeg de gemiddelde overslag 45,8 l/s per m' onder dezelfde conditie. Voor de maximale overslag werd nu 83,3 l/s per m' gevonden. Het is echter waarschijnlijk dat deze laatste waarde beperkt werd door de traagheid in de overslagmeetinrichting en in werkelijkheid nog groter is.

3.3 Situatie 1 februari 1953

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de belasting op de bebouwing en boulevardmuur tijdens de stormvloed van 1953 en de te verwachten belasting tijdens een superstorm is de situatie van de boulevard in 1953 in het model nagebootst. De berm is hiertoe afgebroken en in plaats daarvan werd een glooiing tot NAP + 1,23 m bij de muur aangebracht. De ingestelde waterstand en golfhoogte komen overeen met die uit het verslag M 1161 (Boulevard Vlissingen Westelijk gedeelte) namelijk: NAP + 4,65 m, $H_s = 3,00$ m, $T_p = 9,5$ s. De belasting op boulevardmuur en borstwering kan worden gevonden in figuur 18, terwijl de belasting op de bebouwing in figuur 19 is weergegeven. In dit geval was de boulevard voorzien van afvoermiddelen en was de verticale borstwering aanwezig.

De gemiddelde overslag is bepaald op 47,8 l/s per m', deze waarde komt goed overeen met de overslag die tijdens het modelonderzoek M 494 werd gevonden voor dezelfde konditie: 48,3 l/s per m'. Voor een registratie van de overslag zie figuur 27.

Enigszins buiten het direkte kader van het onderzoek werd ook de belasting op de boulevardmuur gemeten onder de kondities van februari 1953 waarbij de berm wel aanwezig was.

De kumulatieve overschrijdingskromme van de belastingen is getoond in figuur 17. Vergelijking met de resultaten zonder berm levert het volgende op: de te verwachten maximale belasting op NAP + 6,36 m (36 cm boven de berm) in 1½ uur is met berm: $3,5 \times 10^4$ N/m², zonder berm: $11,2 \times 10^4$ N/m². De te verwachten maximale belasting van de borstwering is met berm: $0,85 \times 10^4$ N/m², zonder berm: $2,9 \times 10^4$ N/m².

Van overslag in de situatie met berm was nauwelijks sprake (en is dan ook niet gemeten) terwijl de overslag in de situatie zonder berm 47,8 l/s per m' bedroeg. Een en ander toont duidelijk het positieve effect van de berm aan.

3.4 Voorzieningen ter beperking van overslag en belasting op bebouwing

Hoewel het niet eenvoudig is harde criteria op te stellen voor de toelaatbare golfoverslag en de toelaatbare belasting op de bebouwing aan de landzijde van de boulevard werden zowel door de opdrachtgever, als de ^{die} Studienst Vlissingen en het Waterloopkundig Laboratorium de verkregen resultaten met het model van de huidige situatie als onaanvaardbaar beschouwd, zeker indien de borstwering

zou bezwijken.

Daarom werd gezocht naar middelen om de resultaten te verbeteren zonder het karakter van de boulevard aan te tasten.

Aan uitbreiding (zeewaarts) van de berm valt in verband met de diepe ligging van het voorland niet te denken. Obstakels op de berm (ruwheidselementen, palenrijen, een dijkje) sorteren óf weinig effect óf vertonen esthetische bezwaren.

Daarom werd besloten de invloed te onderzoeken van een parapet op de boulevardmuur. Aan de hand van de modelresultaten van het onderzoek aan het westelijk gedeelte van de boulevard (M 1161) werd door het Arrondissement Vlissingen een gehoekte parapet gekozen (zie fig. 7). De bovenkant van deze parapet valt samen met de bovenkant van de huidige verticale borstwering (80 cm boven straatniveau). Om in het model een drukdoos in deze parapet te kunnen aanbrengen moest het schuine voorvlak iets worden uitgebreid (fig. 7). Met de parapet op de muur is de belasting op de muur, op de parapet en op de bebouwing vastgesteld onder superstormkonditie terwijl ook de overslag is gemeten.

Aangezien het de vraag is of de huidige muur voldoende sterk is om de parapet op te funderen is bovendien de situatie onderzocht waarin een geheel nieuwe muur 8 meter zeewaarts van de bestaande muur is geplaatst.

De resultaten voor bovengenoemde varianten worden achtereenvolgens behandeld.

Muur op huidige plaats voorzien van parapet

De belasting op de muur en de parapet onder superstormomstandigheden is weergegeven in figuur 20. Het blijkt dat de belasting op de parapet ongeveer 50% groter is dan de belasting op een verticale borstwering. Ook de muur onder de parapet wordt zwaarder belast, de invloed neemt naar beneden toe af en de drukdoos op NAP + 6,36 m registreerde geen verschil tussen de situatie met parapet en met verticale borstwering.

Het verschil in belasting tussen de parapet en de verticale borstwering kan kwalitatief duidelijk gemaakt worden als men bedenkt dat de voorwaartse snelheid van het water in de golf door een effectieve parapet wordt omgezet in een zeewaarts gerichte snelheid, terwijl in het geval van een rechte muur de voorwaartse snelheid van de waterdeeltjes tot nul wordt gereduceerd.

Het verband tussen de hoeveelheid van beweging (m.v) en de druk (p) kan worden

geschreven als:

$$\int_T p \, dt = m(v_1 - v_2)$$

waarin v_1 de horizontale snelheid voor de botsing en v_2 de horizontale snelheid na de botsing is. Bij de rechte muur is $v_2 = 0$, terwijl in het geval van de parapet v_2 een zekere (negatieve) waarde heeft, zodat in het laatste geval de druk p groter zal zijn dan in het geval van de rechte muur, als wordt aangenomen dat de druk over hetzelfde tijdsbestek werkt.

De belasting op de bebouwing is weergegeven in figuur 21. De boulevard was in dit geval voorzien van afvoermiddelen, de belasting kan dus worden vergeleken met figuur 16.

Het blijkt dat de parapet een gunstige werking heeft: het aantal belastingsgevallen neemt af en de 1% belasting is vooral voor de drukdozen op 93 cm en 153 cm boven straatniveau aanzienlijk verminderd.

De 0,1% belasting van de laagst geplaatste drukdoos is daarentegen nauwelijks beïnvloed. Dit stemt overeen met de visuele waarneming van het effect van de parapet, waarbij werd opgemerkt dat de toppen van grote golven in het algemeen goed werden opgevangen maar dat bij enkele van de golven een tijdelijke waterstandsverhoging optrad als gevolg van het achtereenvolgens breken van enkele hoge golven op de berm en een volgende golftop vrijwel ongehinderd over de muur liep.

De golfoverslag bedroeg in het geval van de muur met parapet 4,0 l/s per m', een aanzienlijke reductie ten opzichte van 18,6 l/s per m' voor de muur met verticale borstwering. Van deze overslag werd in verband met de geringe hoeveelheid geen tijdregistratie gemaakt. Opgemerkt kan worden dat de overslag vrijwel geheel werd veroorzaakt door drie of vier groepen opeenvolgende hoge golven en gedurende de proefduur van 20 minuten (modelschaal) lange perioden voorkwamen waarin geen overslag optrad.

Muur 8 meter zeewaarts verplaatst en voorzien van parapet

De belasting op de boulevardmuur en de parapet is in deze situatie weergegeven in figuur 23. Uit vergelijking met figuur 20 blijkt dat de belasting aanzienlijk is toegenomen door het verplaatsen van de muur in zeewaartse richting. Aangezien de verplaatste muur ook beter gefundeerd en geschoord kan worden dan een muur op de huidige plaats zal een konstruktieve analyse moeten uit-

wijzen of verplaatsing van de muur gewenst is.

De overslag bedroeg in deze situatie 7,1 l/s per m', en is dus ongeveer 75% meer dan in het geval waarin de muur op de huidige plaats is voorzien van een parapet. Een registratie van de overslag is weergegeven in figuur 29.

Verplaatsing van de boulevardmuur heeft twee, elkaar tegenwerkende, effecten op de belasting van de bebouwing tot gevolg. Enerzijds neemt de overslaghoeveelheid toe, maar anderzijds wordt de afstand van het punt van overslag tot de bebouwing groter.

Om beide effecten afzonderlijk te kunnen bekijken is de belasting gemeten met de bebouwing op 12,50 m vanaf de nieuwe muur en op 25,00 m vanaf de nieuwe muur (of 17,00 m vanaf de oude muur).

Voor de eerstgenoemde situatie is de belasting weergegeven in figuur 24, voor het tweede geval in figuur 25.

Deze belastingen kunnen worden vergeleken met de belasting op de bebouwing in het geval dat de muur op de huidige plaats is voorzien van een parapet (fig. 21). Op deze vergelijking zal in 4.3 verder worden ingegaan.

4 Evaluatie modelresultaten

4.1 Algemeen

Om een aantal verschillende kondities en situaties met elkaar te kunnen vergelijken is de meest waarschijnlijke maximale belasting gedurende 100 golfperiodes (hierna aangeduid als de "1% belasting") van de drie of vier drukdozen in één figuur uitgezet.

De 1% belasting is, in het geval van de superstorm, de belasting die gemiddeld circa eenmaal per 18 minuten wordt overschreden. Dit percentage is gekozen voor de onderlinge vergelijking om de invloed van het toeval, zoals bij een 0,1% waarde te reduceren (er werden steeds 1000 golven gemeten). Voor een maatgevende of ontwerpbelasting is de waarde die optreedt in een tijdsbestek van $1\frac{1}{2}$ à 2 uur, overeenkomend met de duur van een maximale waterstand, meer relevant (overschrijdingspercentage: 0,2%).

4.2 Belasting boulevardmuur

In figuur 32-A is de 1% belasting op de drukdozen uitgezet onder superstormomstandigheden. De drukdoos in de parapet wordt ongeveer 50% zwaarder belast dan de drukdoos in de verticale borstwering. De aanwezigheid van de parapet heeft ook invloed op de belasting van de muur beneden de parapet, een effect dat afneemt met de verticale afstand tot de parapet.

Ook blijkt dat een verplaatsing van 8 m zeewaarts een aanzienlijke verhoging van de belasting met zich meebrengt.

In figuur 32-B is de belasting van de muur tijdens de storm van 1 februari 1953 (zonder berm) vergeleken met de te verwachten belasting tijdens de superstorm. Het blijkt dat de belastingen vrijwel overeenkomen. Opgemerkt dient te worden dat hier de piekbelastingen zijn vergeleken; de kwasi-statische belastingen waren gedurende de storm van februari 1953 ten gevolge van de lagere waterstand en lagere golven aanzienlijk minder dan gedurende de superstormkonditie.

Ter vergelijking is ook de belasting tijdens de storm van 1 februari 1953 gemeten terwijl de huidige berm aanwezig was.

De reductie van de belasting op de boulevardmuur door de aanwezigheid van de berm blijkt duidelijk.

In paragraaf 1.4 werd als een mogelijk criterium voor de toelaatbare belasting op de boulevardmuur gesteld dat de belasting onder superstormomstandigheden de belasting die in februari 1953 optrad niet mocht overschrijden.

Uit figuur 32-B blijkt dat aan dit criterium bij de huidige muur met verticale borstwering juist wordt voldaan.

Indien de muur wordt voorzien van een parapet, is de belasting op het bovenste gedeelte van de muur aanzienlijk groter, waar nog bij komt dat de belasting op de parapet een vertikaal (omhoog) gerichte komponent heeft.

Aangezien de parapet een essentiële functie heeft in de beperking van de overslag en de belasting op de bebouwing, dient aan de fundering van een eventueel aan te brengen parapet de uiterste zorg te worden besteed.

4.3 Belasting bebouwing

In figuur 33-A is de 1% belasting op de drie drukdozen weergegeven onder superstormomstandigheden. Aangezien mag worden aangenomen dat de huidige verticale bortsvering een belasting van $2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ (1% belasting, zie fig. 32-A) niet kan weerstaan, geeft de lijn bij "muur zonder borstwering" de meest reële belasting weer tijdens superstormomstandigheden.

Het effect van de parapet blijkt duidelijk uit de figuur. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat het verschil tussen verticale borstwering en parapet aanzienlijk minder is voor de 0,1 procent belasting (zie ook 3.4).

In figuur 33-B is de 1% belasting op de bebouwing uitgezet voor de situatie februari 1953 (zonder berm) en de superstormomstandigheden (met berm). Gegeven het feit dat in 1953 geen schade aan de bebouwing optrad zou kunnen worden gekonkludeerd uit figuur 33-B dat de huidige situatie (met berm) acceptabel is wat de belasting van de bebouwing betreft. Zoals al eerder opgemerkt was er echter in 1953 geen bebouwing aanwezig langs het zwaarst belaste gedeelte van de boulevard waar overigens ook de half-steens borstwering aan de stadszijde van de boulevard het op veel plaatsen heeft begeven. Daarom is bovenstaande vergelijking niet zonder meer te maken (zie ook 1.4).

Een andere mogelijkheid is het criterium dat in het verslag "boulevard Vlissingen - voorzieningen aan de zeezijde van de bebouwing" (M 1161) werd aangehouden, over te nemen. Bij de betreffende modelproeven werd de belasting met een totaalcracht-opnemer bepaald en als criterium voor de toelaatbare 1% belasting werd vastgesteld: $0,8 \times 10^4 \text{ N per m'}$. Een moeilijkheid was in dit geval dat de belasting die in bijvoorbeeld figuur 33 is uitgezet, geldt voor de individuele opnemers en het stond niet bij voorbaat vast dat de 1% belas-

ting van de drie opnemers op hetzelfde tijdstip werd bereikt.

Om te onderzoeken in hoeverre de belasting zoals deze in figuur 32-34 is uitgezet simultaan optreedt (en dus over de vertikaal geïntegreerd mag worden), werden de signalen van de drie drukdozen (langs elektronische weg) opgeteld en van het gesommeerde signaal werd een overschrijdingsverdeling gemaakt. Deze verdeling werd vergeleken met de som van de individuele overschrijdingsverdelingen en het bleek inderdaad dat beide verdelingen goed overeen kwamen, zodat de belastingen, zoals weergegeven in figuur 32-34, kunnen worden geïntegreerd tot een kracht per strekkende meter bebouwing, zonder grote fouten te maken.

Het resultaat is voor de 1% kracht per m' weergegeven in onderstaande tabel.

konditie	situatie	1% kracht per m' 10^4 N/m
1 februari 1953	vertikale borstwering (geen berm)	2,16
superstorm	geen borstwering	3,10
superstorm	vertikale borstwering	1,97
superstorm	parapet	0,91

Het blijkt dat de situatie waarin de boulevardmuur op de huidige plaats voorzien is van een parapet vrijwel voldoet aan het gestelde criterium van 8000 N per m' voor wat betreft de 1% kracht. De 0,2% kracht (het meest waarschijnlijke maximum gedurende 1,5 à 2 uur) zal circa 80% groter zijn.

Naast de situatie waarin een muur op de huidige plaats voorzien was van een parapet is ook de belasting op de bebouwing vastgesteld voor het geval dat de boulevard voorzien is van een muur die 8 m zeewaarts van de oude muur is geplaatst. De 1% belastingen zijn weergegeven in figuur 34.

Het blijkt dat wanneer de bebouwing met de muur "meeschuift" de belasting enigszins toeneemt. De belasting van de bebouwing op 25 m afstand van de nieuwe muur (17 m vanaf de huidige muur) is vrijwel verwaarloosbaar. De bebouwing kon, in het model, om praktische redenen niet worden bevestigd op een afstand van 20,5 m vanaf de nieuwe muur (12,5 m vanaf de huidige muur). De belasting zal in dit geval liggen tussen de belasting bij de situaties 2 en 3, en uit figuur 34 is duidelijk dat deze belasting lager zal zijn dan die in situatie 1 (muur op de huidige plaats). Het blijkt dus dat, hoewel de overslag toeneemt bij verplaatsing van de muur in zeewaartse richting, de belasting op de bebouwing afneemt

ten gevolge van de grotere afstand tot de muur.

4.4 Golfoverslag

In figuur 26-29 is een registratie van de golfoverslag weergegeven voor verschillende situaties en kondities. De gemiddelde overslag is voor alle gevallen vermeld in tabel 2 (blz. 24).

In 1.4 zijn twee voorwaarden genoemd die een beperking aan de toelaatbare hoeveelheid overslag stellen, n.l.:

- het gebied gelegen achter de boulevard mag geen wateroverlast ondervinden.
- de achterkant van de boulevard mag door het overslaande water geen zodanige schade ondervinden dat de zeewering in gevaar komt of de fundatie van de bebouwing wordt ondermijnd.

Het is niet eenvoudig bovengenoemde voorwaarden te kwantificeren.

Voor het onderzoeken van de eerste voorwaarde is alleen de gemiddelde overslag gedurende een tijdsverloop van één tot enkele uren van belang. Het is in dit verband zinvol op te merken dat de in het model gemeten overslag betrekking heeft op het zwaarst belaste gedeelte van de boulevard onder loodrechte golf-aanval. In werkelijkheid is het voorland over een groot gedeelte van de boulevard hoger gelegen dan in het model, terwijl door de geometrie een loodrechte aanval op de gehele lengte van de boulevard niet mogelijk is. Bij de vaststelling van de eventuele wateroverlast dient met deze factoren rekening te worden gehouden.

Bij de tweede voorwaarde is naast de gemiddelde golfoverslag ook de maximale golfoverslag (een gemiddelde over een kort tijdsbestek) van belang. De maximale golfoverslag kan door het onregelmatige karakter van de golfbeweging aanzienlijk meer zijn dan de gemiddelde overslag, zie bijvoorbeeld figuur 29.

→ Een criterium dat voor dijken vaak wordt gehanteerd is een toelaatbare gemiddelde overslag van 2 l/s per m'. Uit tabel 2 blijkt dat geen van de varianten aan dit criterium voldoet, waarbij de situatie met de muur op de huidige plaats, voorzien van een parapet, dit criterium het dichtst benadert (overslag: 4,0 l/s per m').

De overwegingen die ten grondslag liggen aan het criterium voor toelaatbare overslag bij dijken gaan echter niet of zeer ten dele op voor de boulevard, en genoemd criterium lijkt in dit geval een te zware eis.

Tabel 1: Overzicht modelproevenprogramma

proef nr.	konditie	soort meting	opmerking	modelwaarden				prototypewaarden			
				H _{s1} cm	H _{s3} cm	T _{P1} sek	V _{wind} m/sek	H _{s1} m	H _{s3} m	T _{P1} sek	WS NAP + m
1	superstorm	A	huidige toestand	14,1	14,5	2,0	5,5	4,23	4,35	10,9	5,65
2	nov. '66	A	huidige toestand	7,9	8,1	1,1	2,5	2,37	2,43	6,0	3,75
3	dec. '54	A	huidige toestand	8,4	8,8	1,5	2,5	2,52	2,64	8,2	3,60
4	superstorm	B	geen afvoer	13,9	14,0	2,0	5,5	4,17	4,20	10,9	5,65
5	superstorm	B	met afvoer	15,0	15,2	2,0	5,5	4,50	4,56	10,9	5,65
6	febr. '53	A	met berm	9,9	10,8	1,75	3,5	2,97	3,24	9,5	4,65
7	superstorm	C	huidige toestand	14,1	15,0	2,0	5,5	4,23	4,50	10,9	5,65
8	febr. '53	A	<u>geen</u> berm	10,4	12,2	1,7	3,5	3,12	3,66	9,3	4,65
9	febr. '53	C	<u>geen</u> berm	10,4	12,2	1,7	3,5	3,12	3,66	9,3	4,65
10	febr. '53	B	<u>geen</u> berm	10,0	11,7	1,7	3,5	3,00	3,51	9,3	4,65
11B	superstorm	A	met parapet	14,0	14,2	2,0	5,5	4,20	4,26	10,9	5,65
12	superstorm	C	met parapet	14,0	14,2	2,0	5,5	4,20	4,26	10,9	5,65
13	superstorm	B	met parapet	14,4	15,2	2,0	5,5	4,32	4,56	10,9	5,65
14	superstorm	C	geen borstwering	15,0	15,4	2,0	5,5	4,50	4,62	10,9	5,65
15	superstorm	B	geen borstwering	15,0	15,4	2,0	5,5	4,50	4,62	10,9	5,65
16	superstorm	A	muur 8 m zeewaarts	15,4	17,4	2,0	5,5	4,62	5,22	10,9	5,65
17	superstorm	C	muur 8 m zeewaarts	15,1	16,6	2,0	5,5	4,53	4,98	10,9	5,65
18	superstorm	B	muur 8 m zeewaarts	14,3	16,1	2,0	5,5	4,29	4,83	10,9	5,65
19	superstorm	B	muur 8 m zeewaarts	13,8	15,4	2,0	5,5	4,14	4,62	10,9	5,65

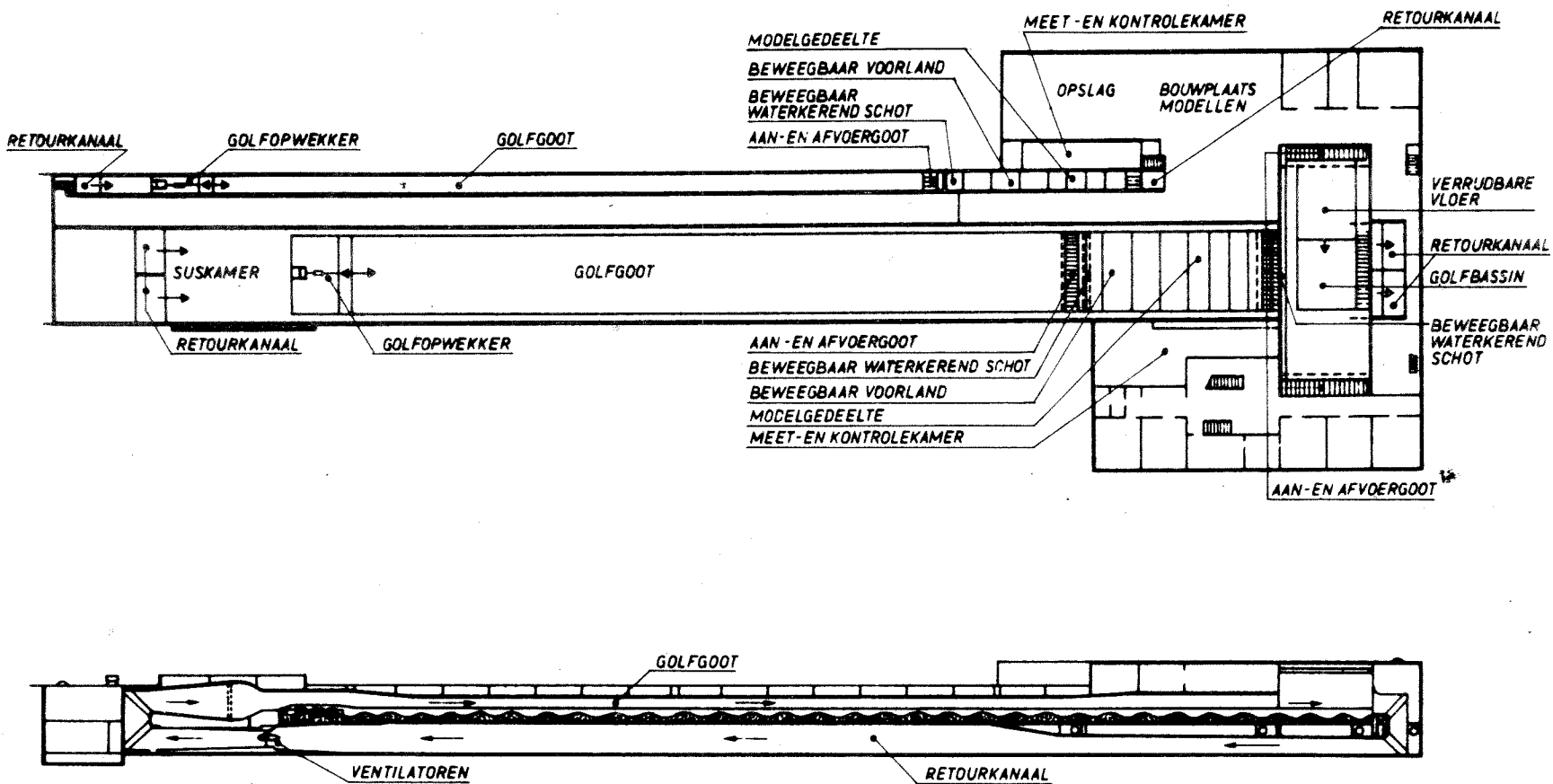
A : meting belasting muur

B : meting belasting bebouwing

C : overslagmeting

Tabel 2: Samenvatting overslagmetingen

proef	konditie	vorm/plaats van de muur	overslag in het model	overslag proto l/sek per m'	
7A	superstorm	rechte borstwering (bestaande toestand)	70 l per 25 min	75% 18,6	1,97
7B	superstorm	rechte borstwering (bestaande toestand)	66 l per 25 min	20% 9,0	
9	febr. '53	rechte borstwering geen berm	70 l per 10 min	25% 47,8 1913	2,76
12	superstorm	parapet	14,5 l per 25 min	5% 4,0	0,91
14A	superstorm	geen borstwering	69 l per 10 min	75% 45,8	3,10
14B	superstorm	geen borstwering	65 l per 10 min	22%	
17	superstorm	parapet muur 8 m zeewaarts	26 l per 25 min	5% 7,1 140	3,05 Puch 1,3 1,2



PLATEGROND EN DOORSNEDE WINDGOLFGOTEN

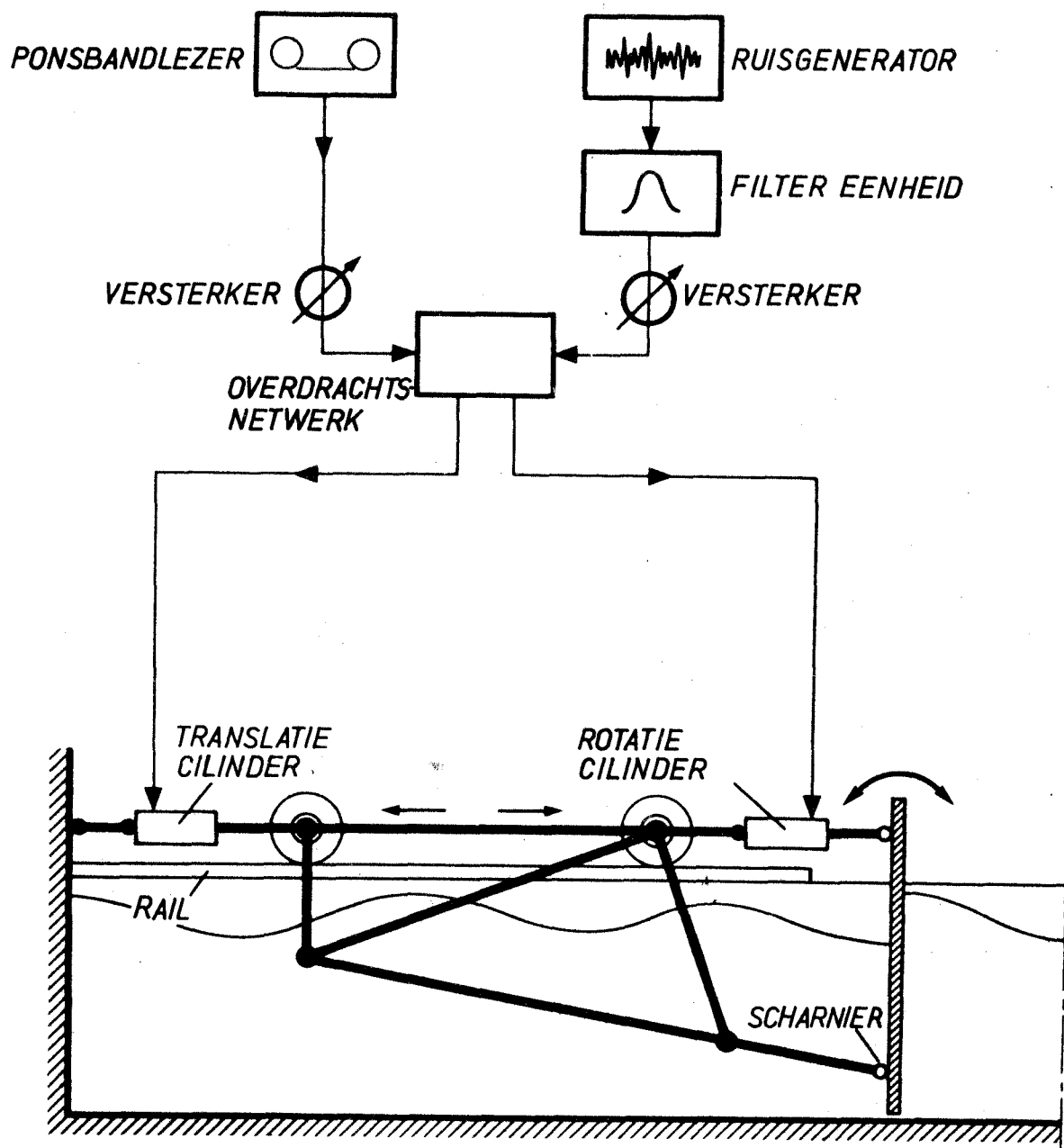
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1002

FIG. 1

A4

JM



SCHEMA GEPROGRAMMEERDE GOLFMACHINE

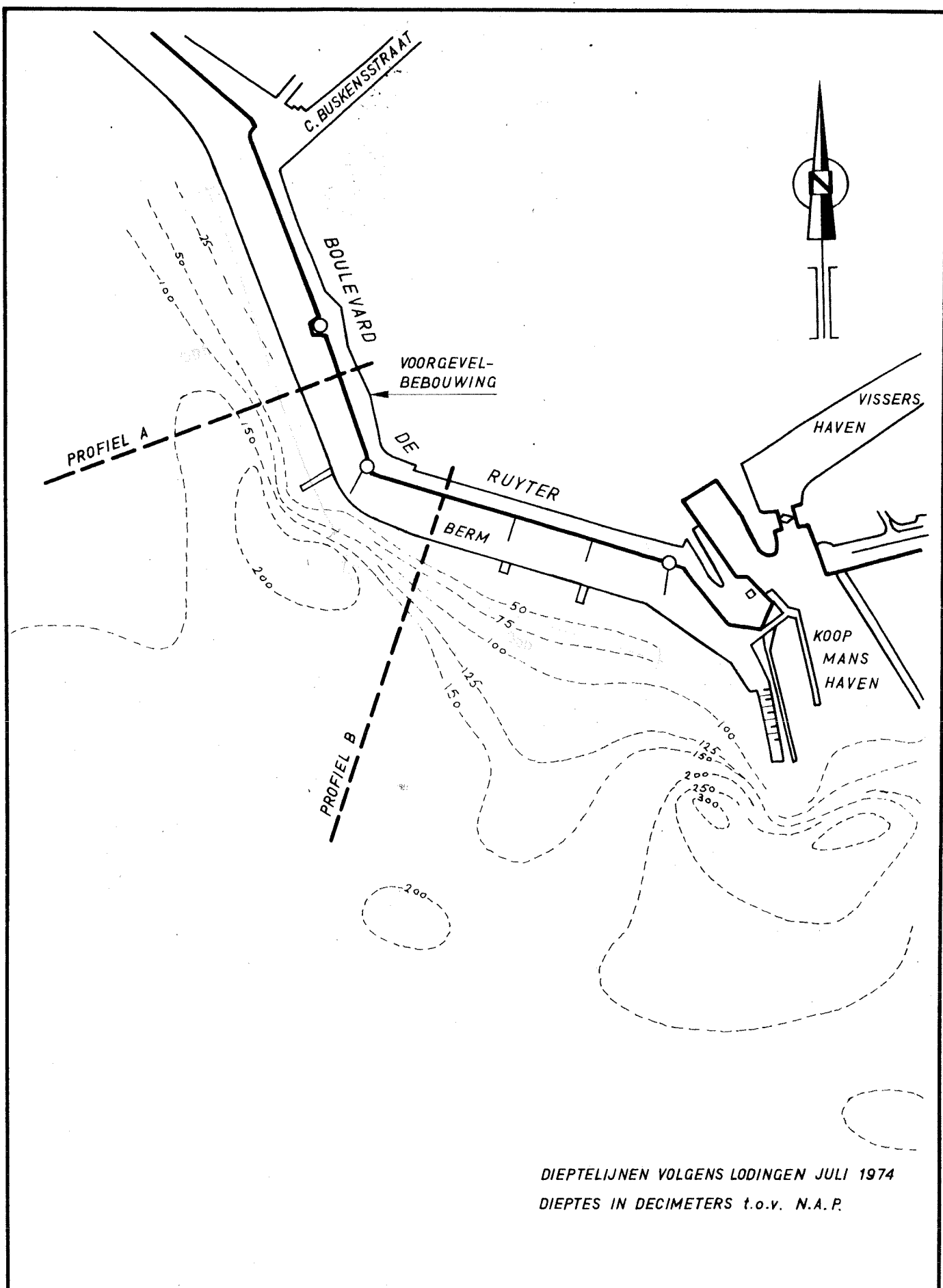
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1003

FIG. 2



SITUATIE MET GEKOZEN PROFIELEN

SCHAAL 1:5000

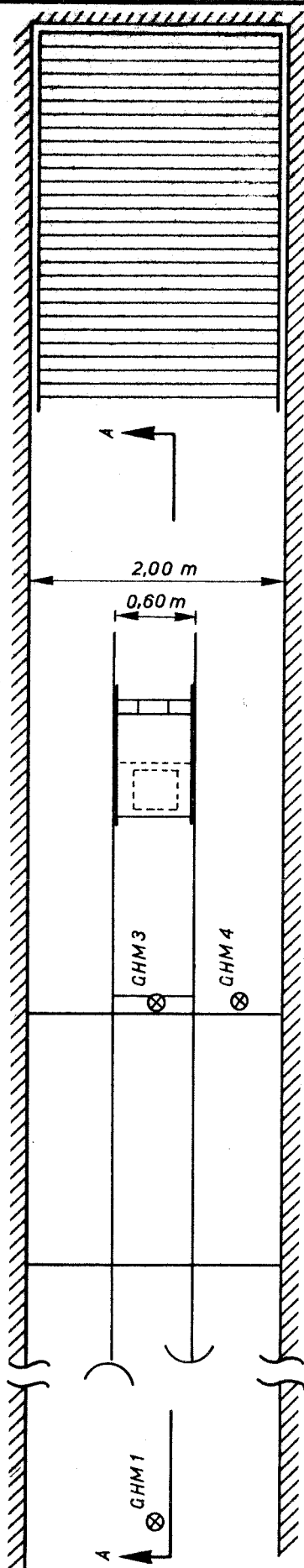
JM

A4

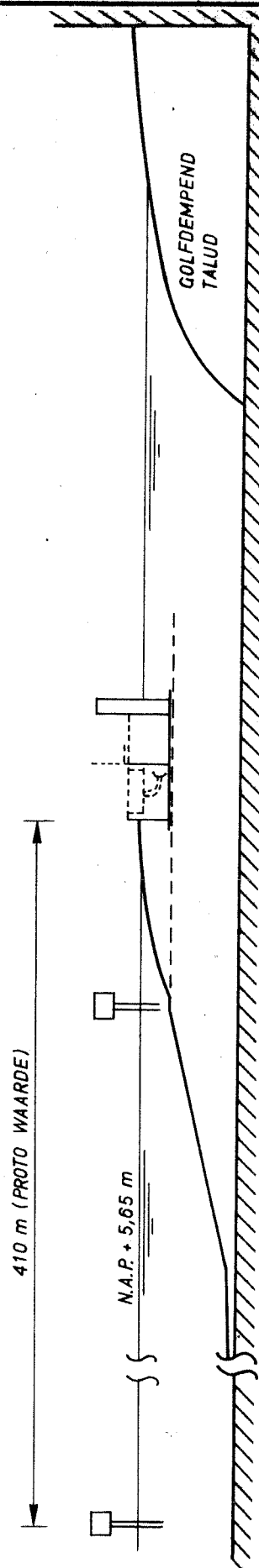
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1366 - 1001

FIG. 3



BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A - A

MODELOPSTELLING IN 2 m BREDE WINDGOOT

SCHAAL 1:50

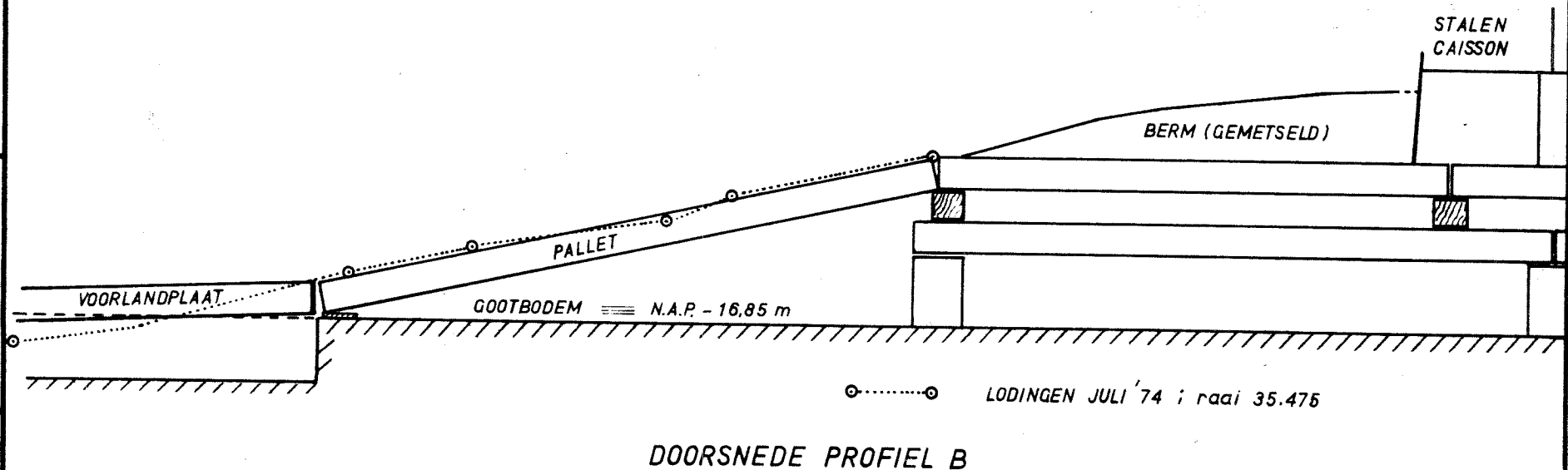
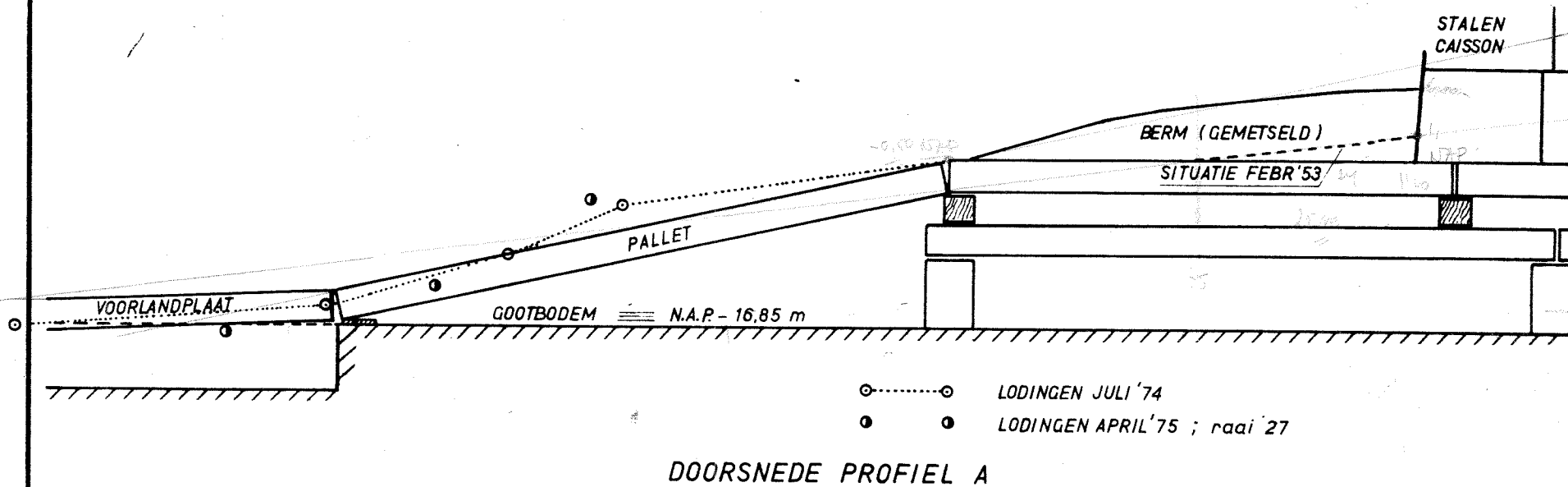
JM

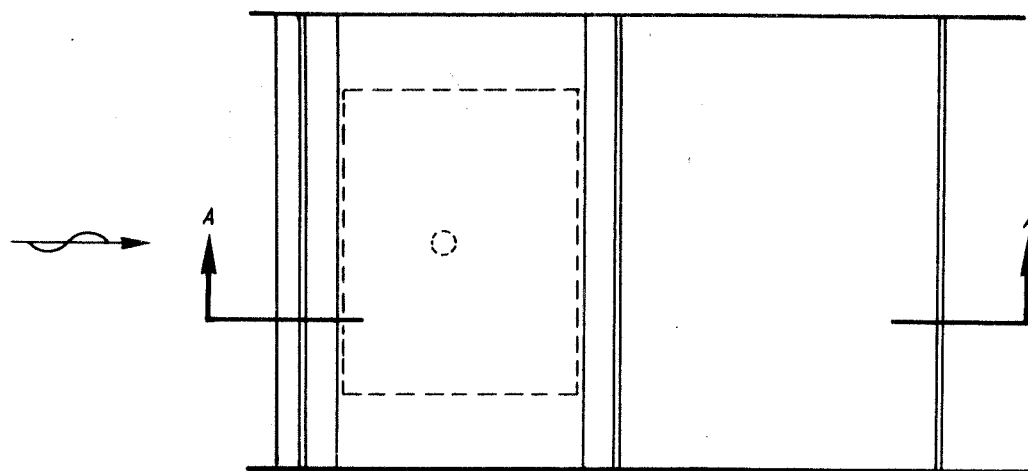
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

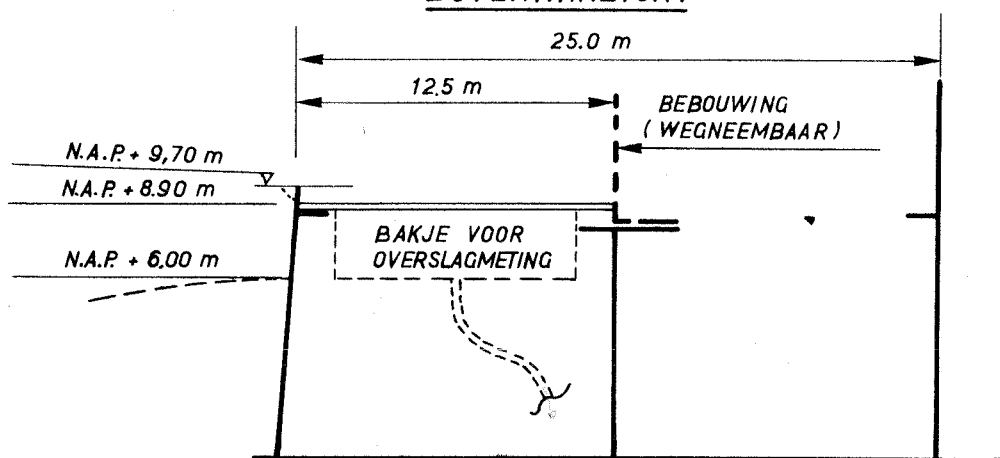
M 1366 - 1004

FIG. 4





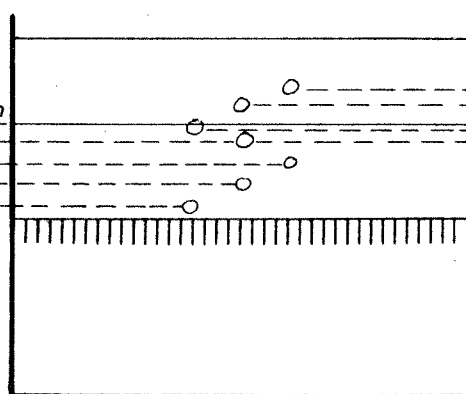
BOVENAANZICHT



DOORSNEDE A - A

DRUKDOZEN IN MUUR :

N.A.P. + 9.70 m
9.06 m
7.86 m
7.11 m
6.36 m



VOORAANZICHT

DRUKDOZEN IN BEBOUWING :

N.A.P. +
10.43 m
9.83 m
9.23 m

N.A.P. + 6.00 m

SCHETS MODEL VAN DE BOULEVARD

SCHAAL 1:10 (MODEL)

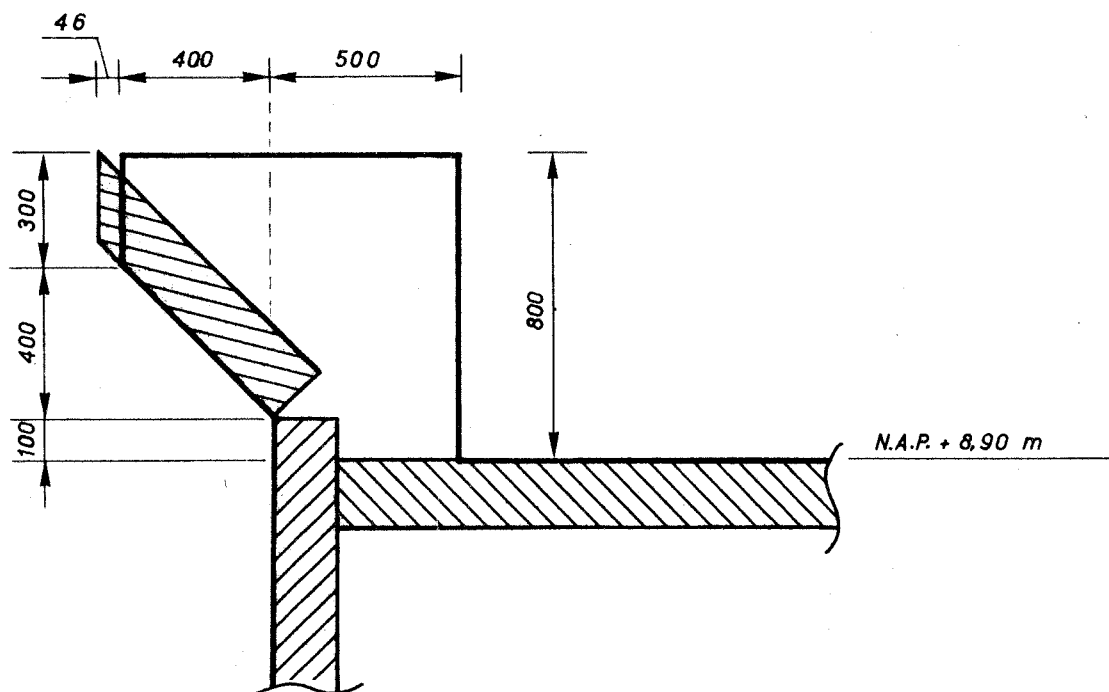
JM

A4

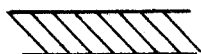
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1006

FIG. 6



ONTWERP PARAPET



BENADERING IN MODEL

MATEN IN cm

VORM PARAPET, PROTOTYPE EN MODEL

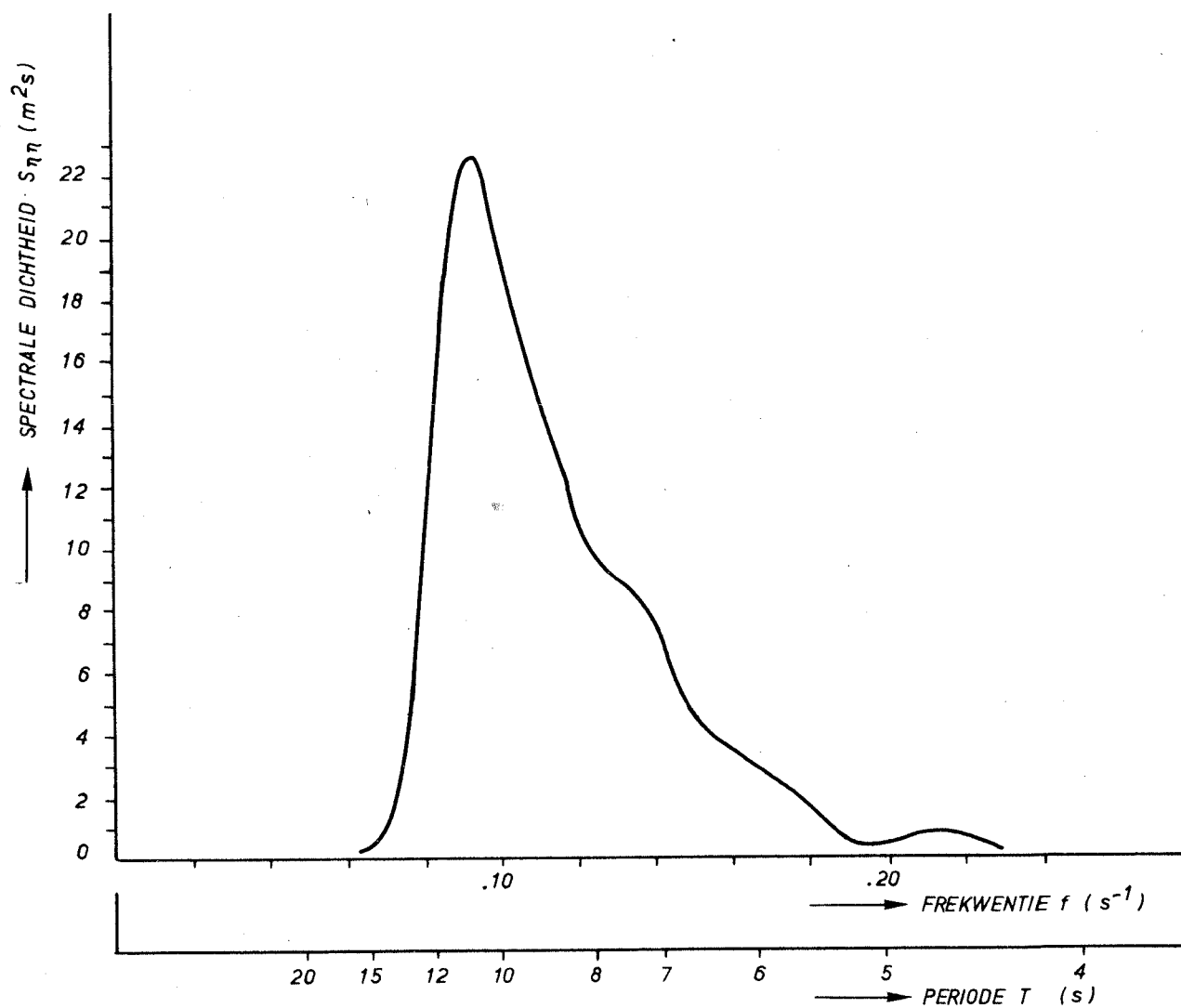
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1007

FIG. 7



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM GHM 1
 SUPERSTORM
 WS: N.A.P. + 5.65 m
 H_S : 4.30 m
 T_p : 11 sec

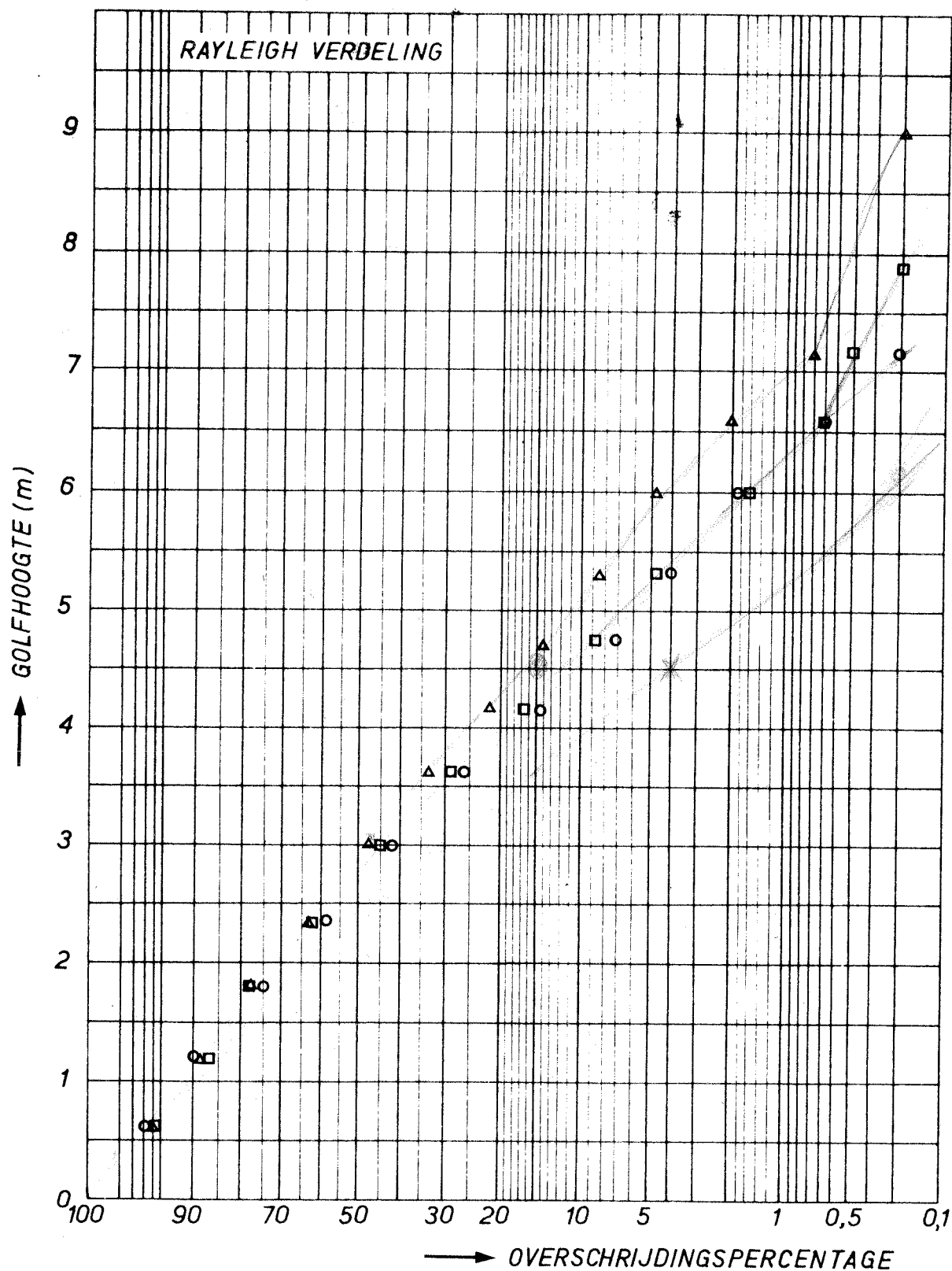
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1008

FIG. 8



- GOLFHOOGTEMETER 1
- GOLFHOOGTEMETER 3 MUUR OP HUIDIGE PLAATS
- △ GOLFHOOGTEMETER 3 MUUR 8 m ZEEWAARTS

KUMULATIEVE GOLFHOOGTEVERDELING
 SUPERSTORM W.S. N.A.P. 5.65 m
 H_s : 4.30 m
 T_p 11 s

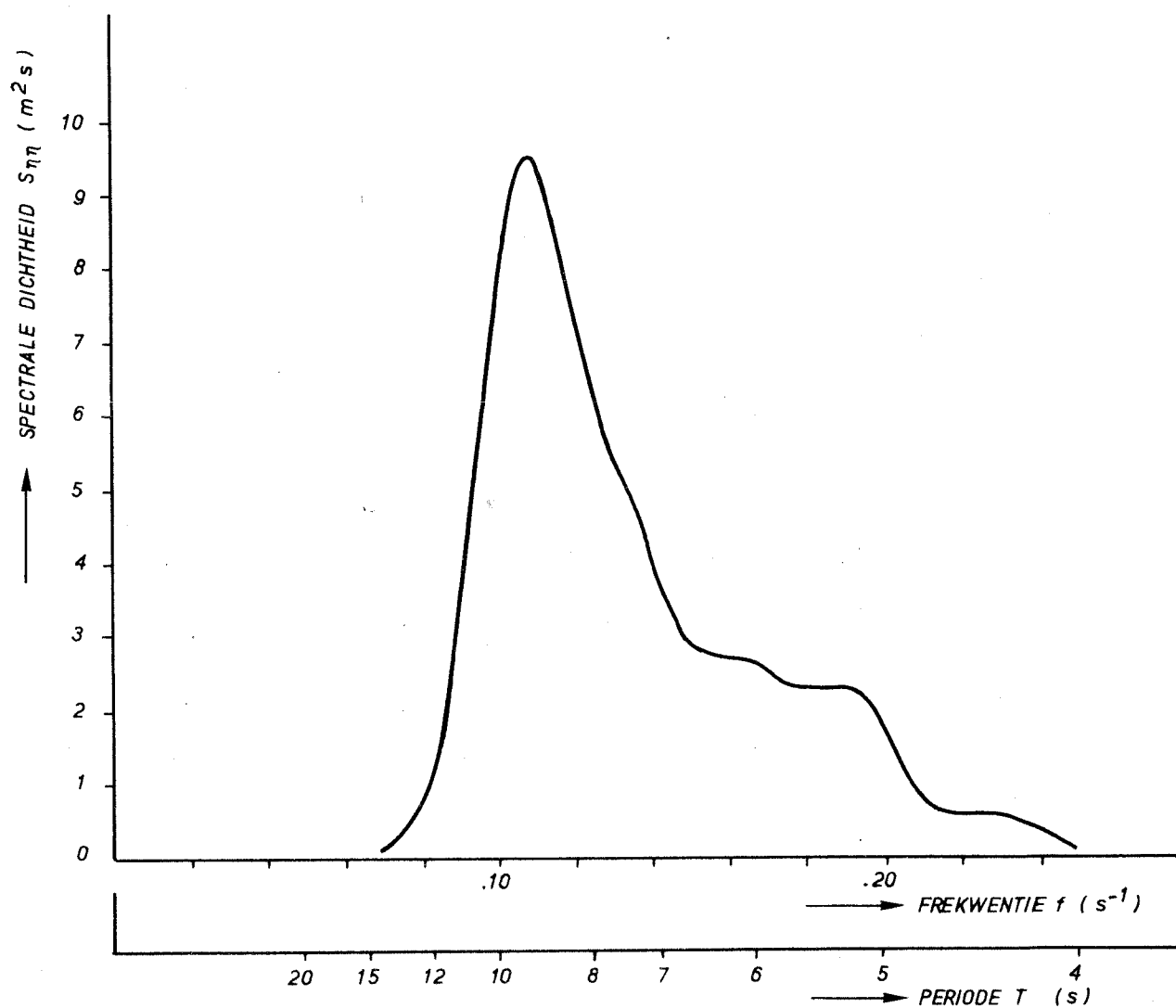
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1366 - 1009

FIG. 9



ENERGIEDICHTHEIDSSPECTRUM GHM 1
 FEBRUARI '53 WS: N.A.P. + 4,65 m
 H_s : 3.00 m
 T_p : 9.5 sec

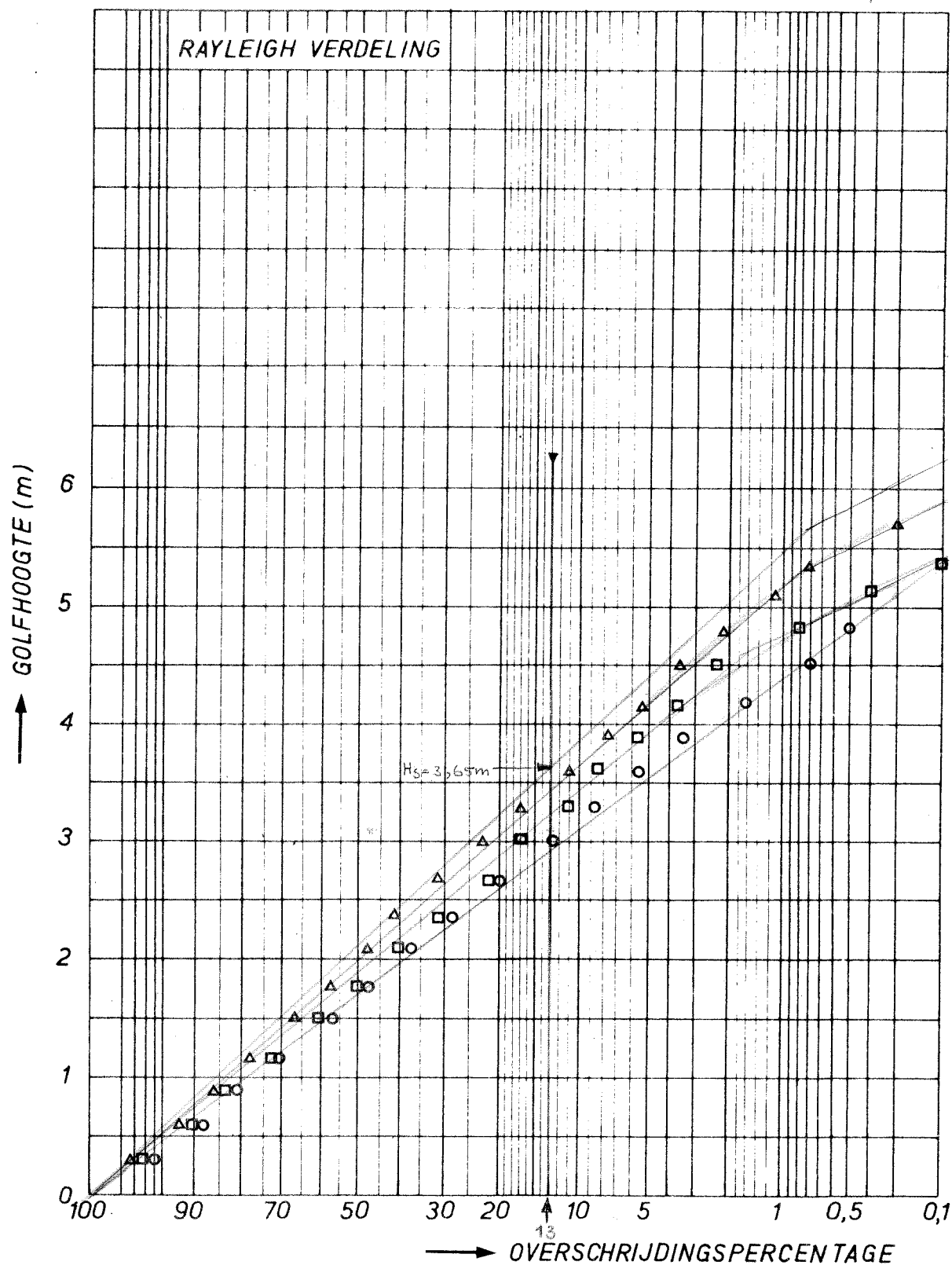
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1010

FIG. 10



- GOLFHOOOGTEMETER 1
- GOLFHOOOGTEMETER 3 BERM AANWEZIG
- Δ GOLFHOOOGTEMETER 3 GEEN BERM

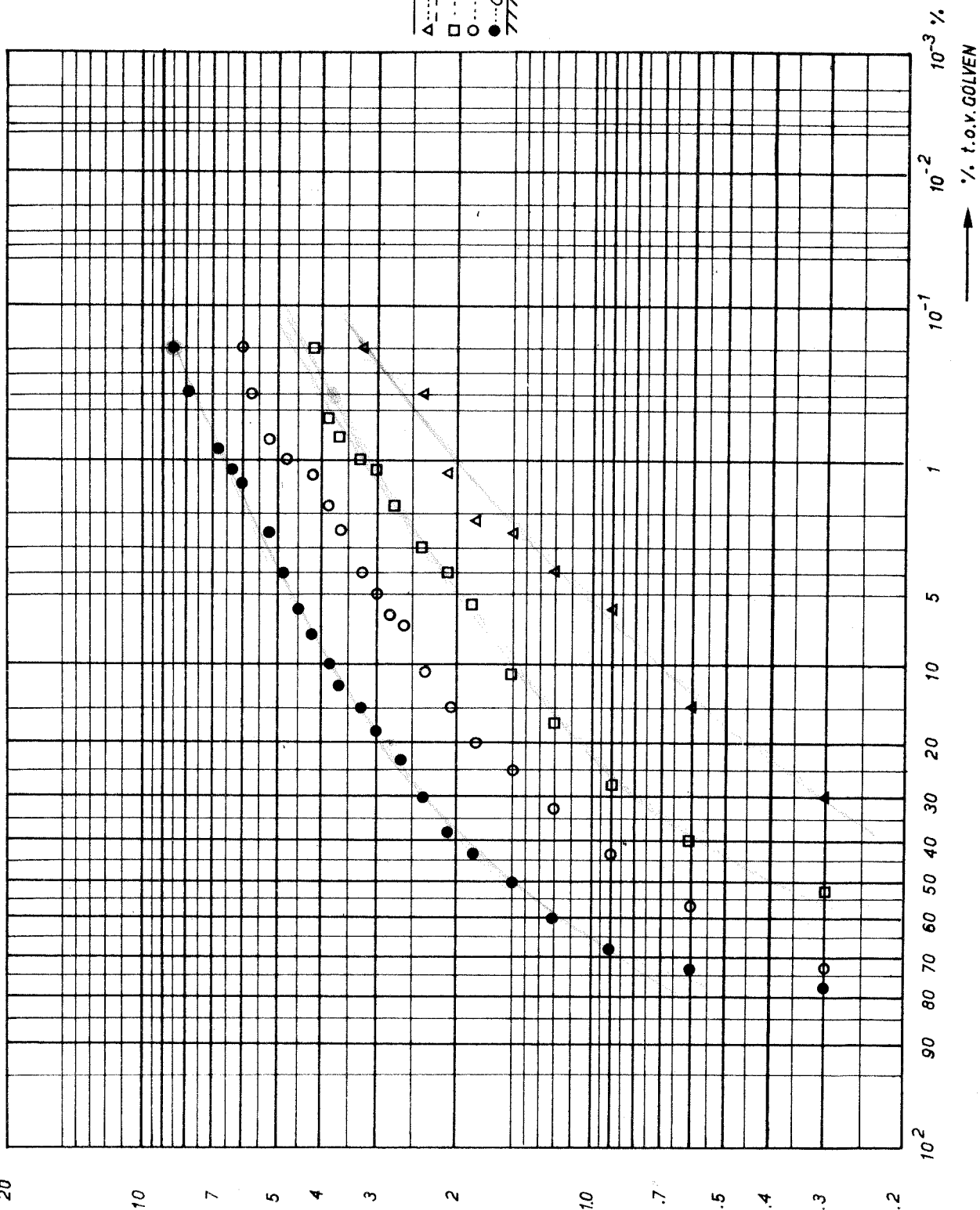
KUMULATIEVE GOLFHOOOGTEVERDELING
 FEBRUARIE '53 W.S. N.A.P. 4.65 m
 H_s : 3.00 m
 T_p : 9.5 s

JM

A4

LOG - RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING MUUR EN VERTIKALE BORSTWERING
KONDITIONE : SUPERSTORM

PROEF 1

JM

A4

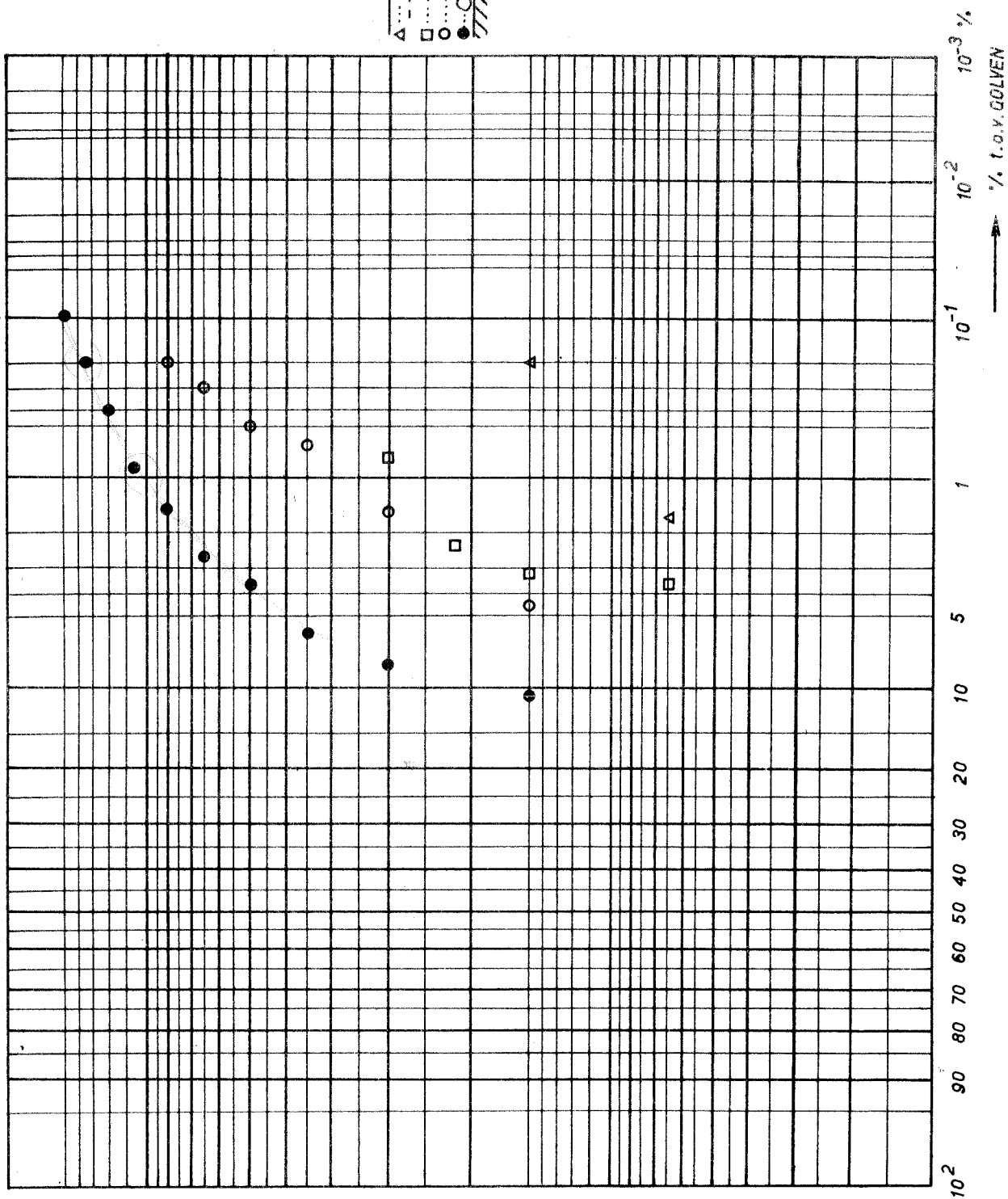
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1012

FIG. 12

LOG-RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING MUUR EN VERTIKALE BORSTWERING
KONDTIE : STORM DEC '54

PROEF 3

JM

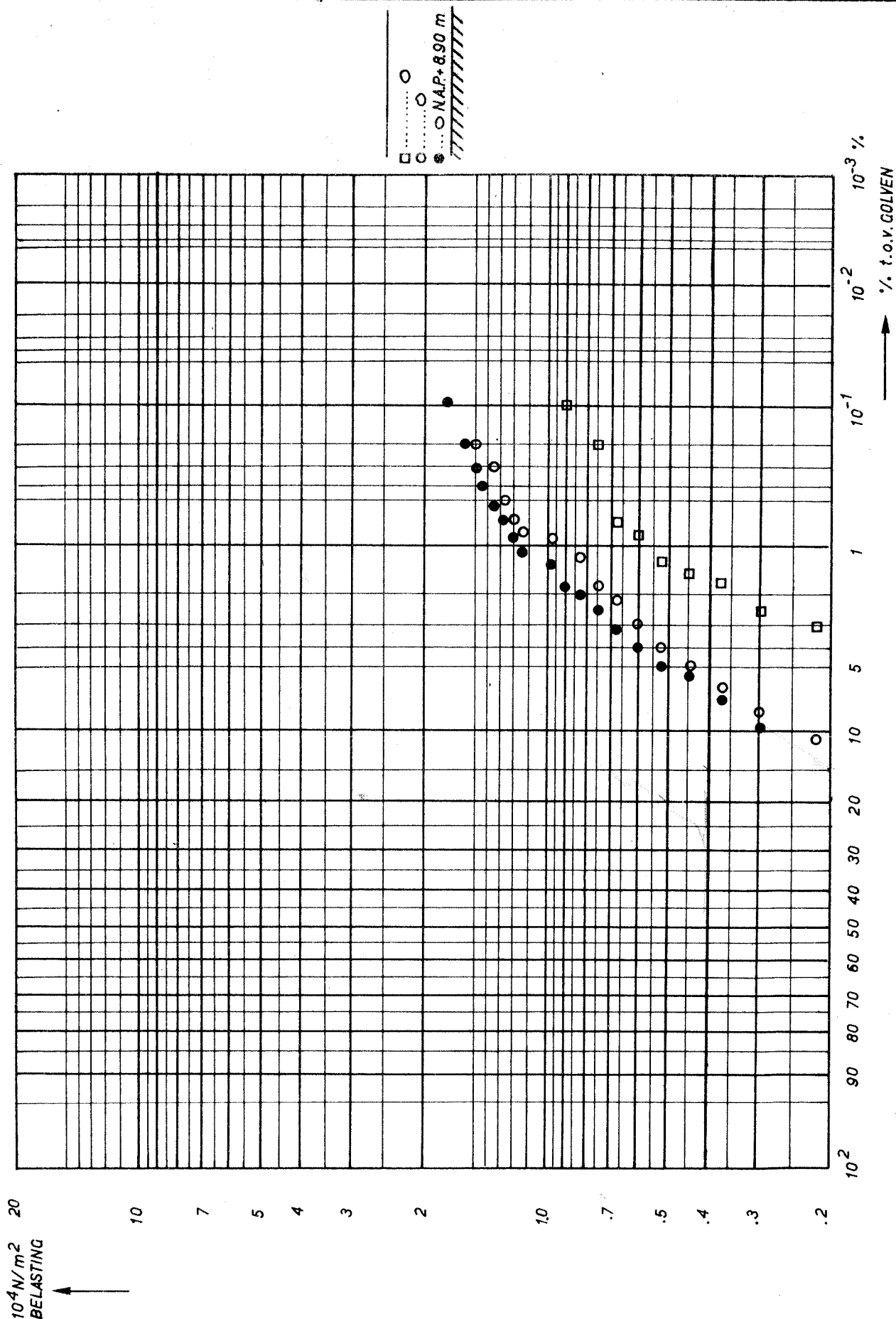
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1014

FIG. 14

LOG - RAYLEIGH VERDELING



BELASTING BEBOUWING
MUUR MET VERT. BORSTWERING
GEEN AFVOER OVERSLAG WATER
KONDTIE: SUPERSTORM

PROEF 4

JM

A4

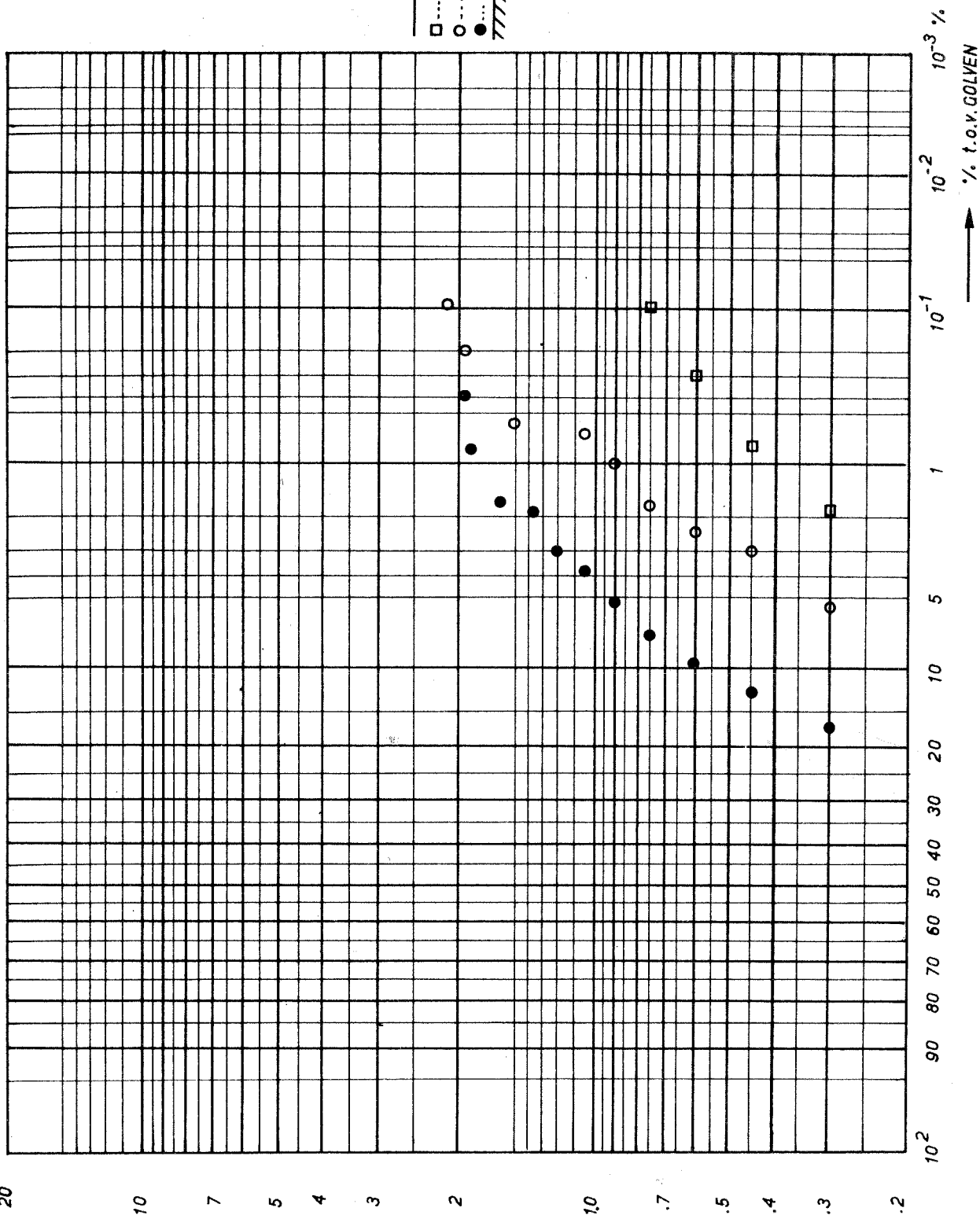
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1015

FIG. 15

LOG-RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING BEBOUWING
MUUR MET VERT. BORSTWERING
WEL AFVOER OVERSLAG WATER
KONDTIE: SUPERSTORM

PROEF 5

JM

A4

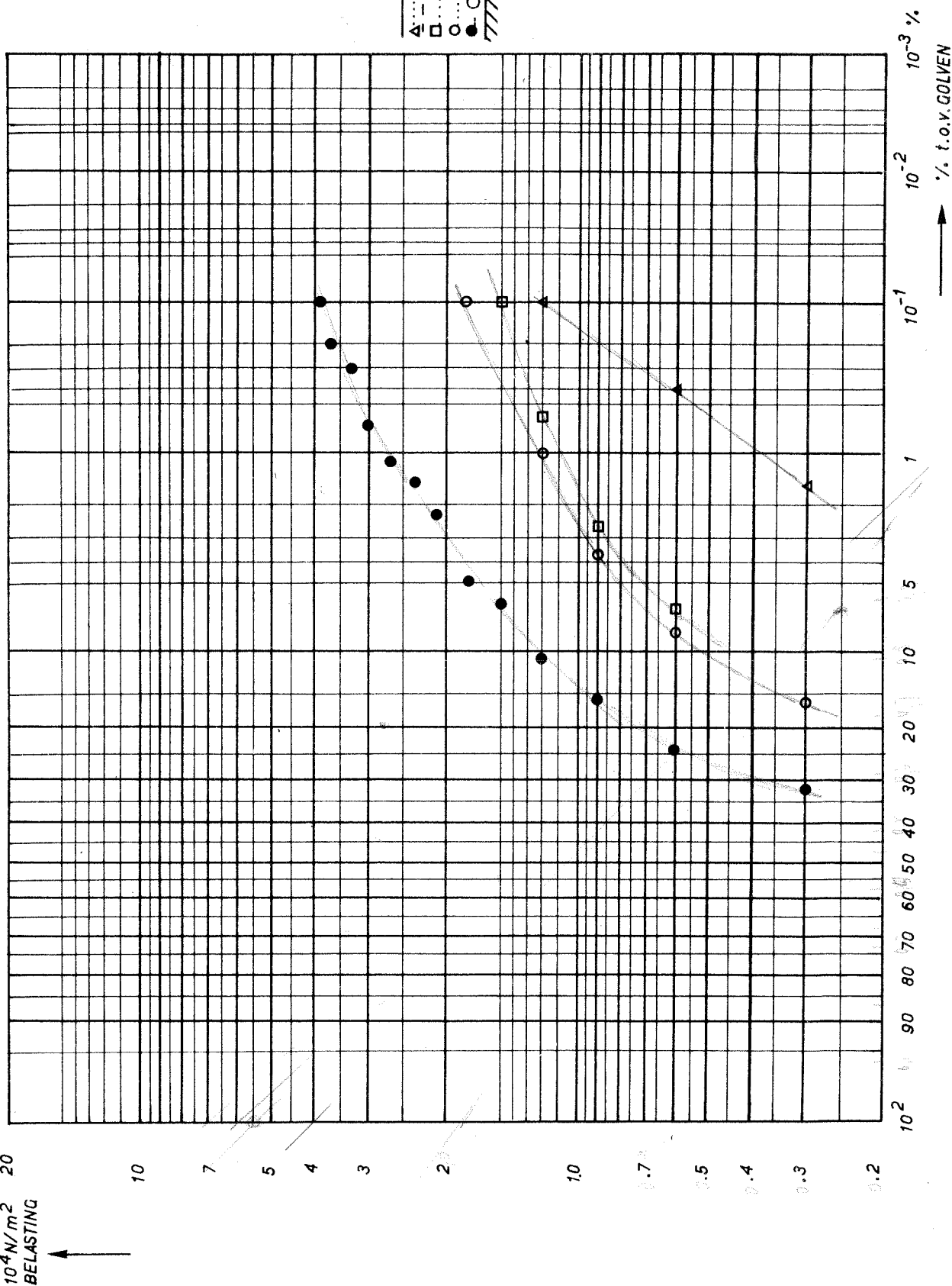
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1016

FIG. 16

LOG - RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING MUUR EN VERTIKALE BORSTWERING
KONDTIE : FEBR 53 BERM AANWEZIG

PROEF 6

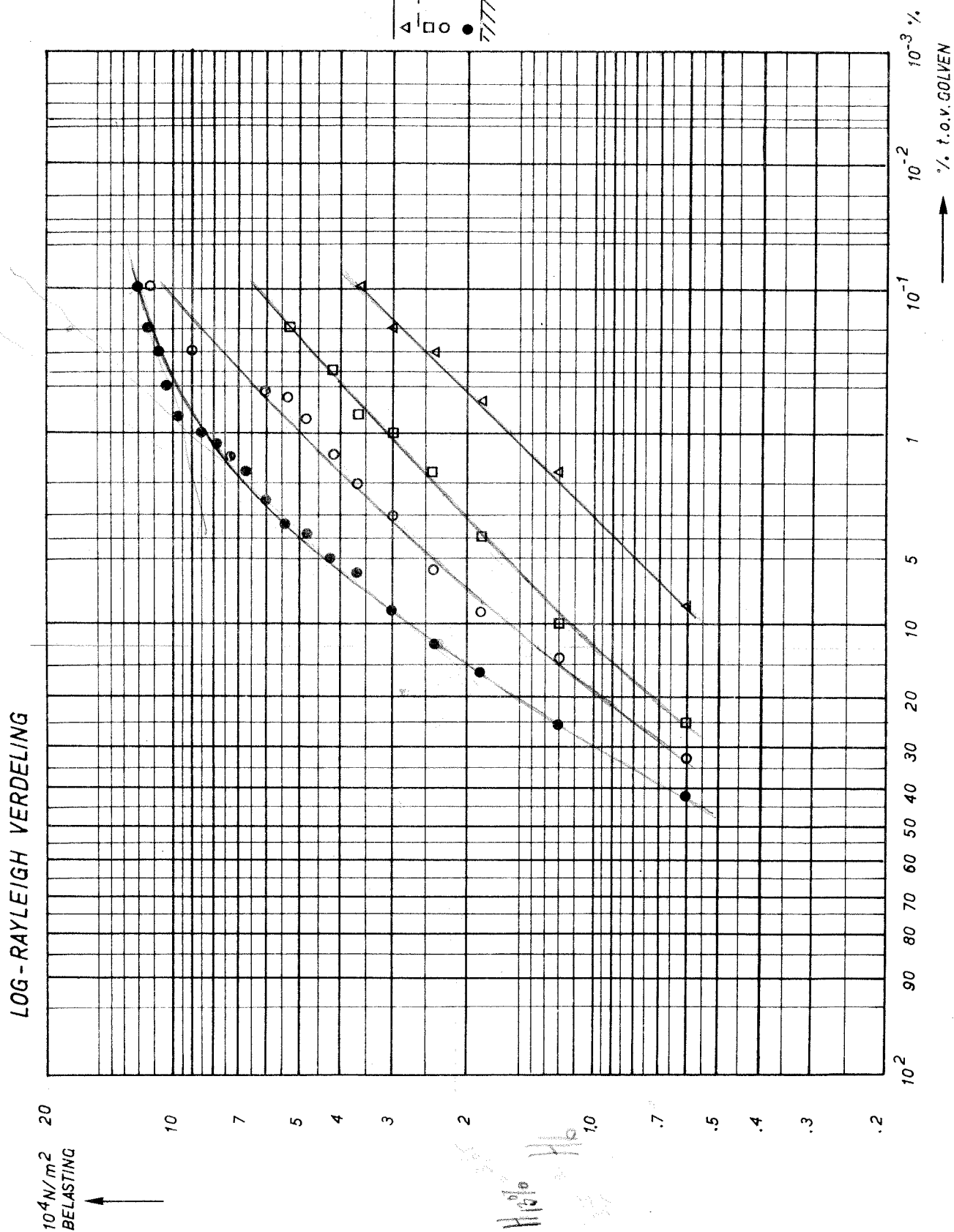
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1017

FIG. 17



BELASTING MUUR EN VERTIKALE BORSTWERING
KONDTIE : FEBR'53 GEEN BERM

PROEF 8

JM

A4

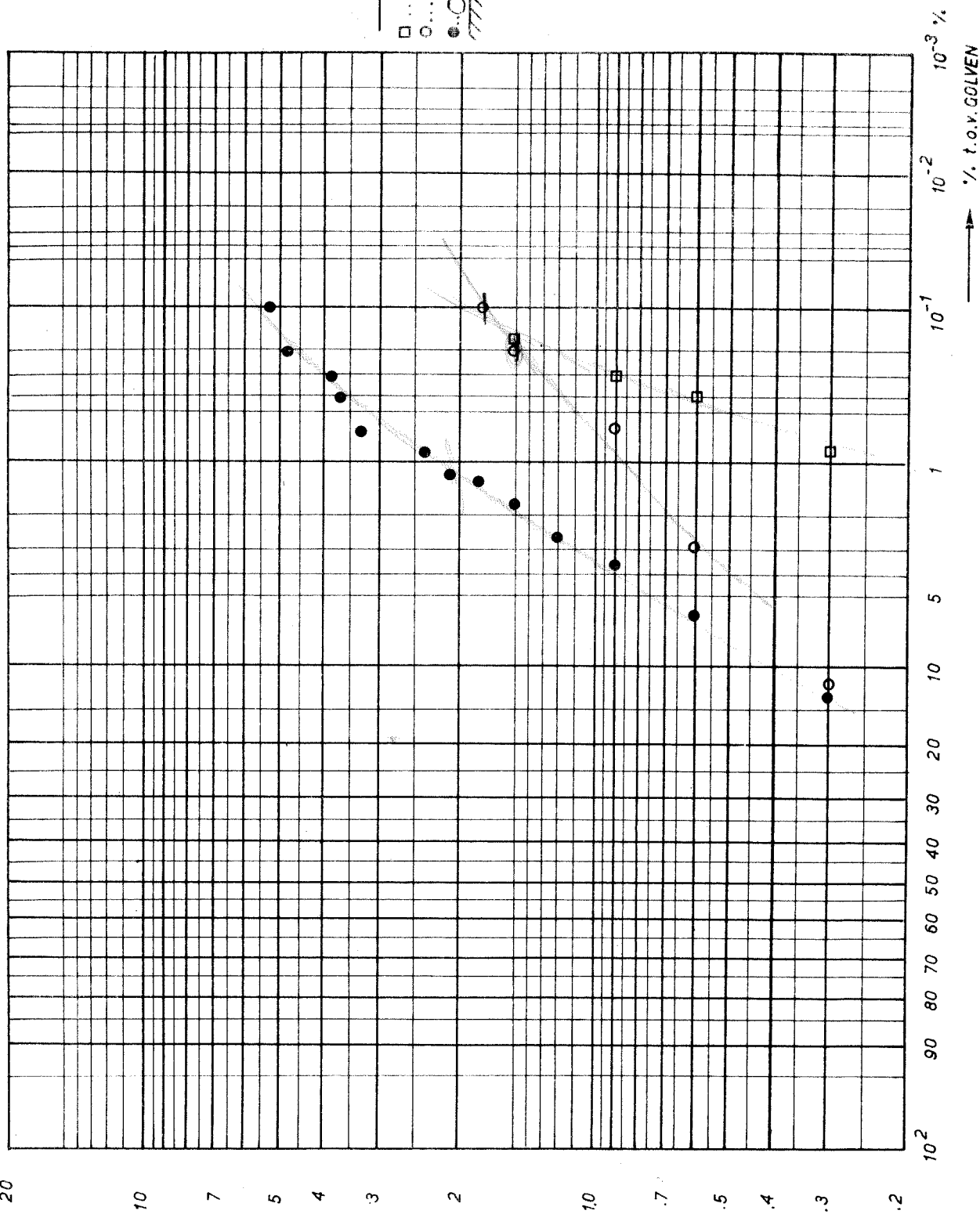
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1018

FIG. 18

LOG - RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING BEBOUWING

KONDTIE : FEBR. '53

GEEN BERM MUUR MET VERT. BORSTWERING

PROEF 10

JM

A4

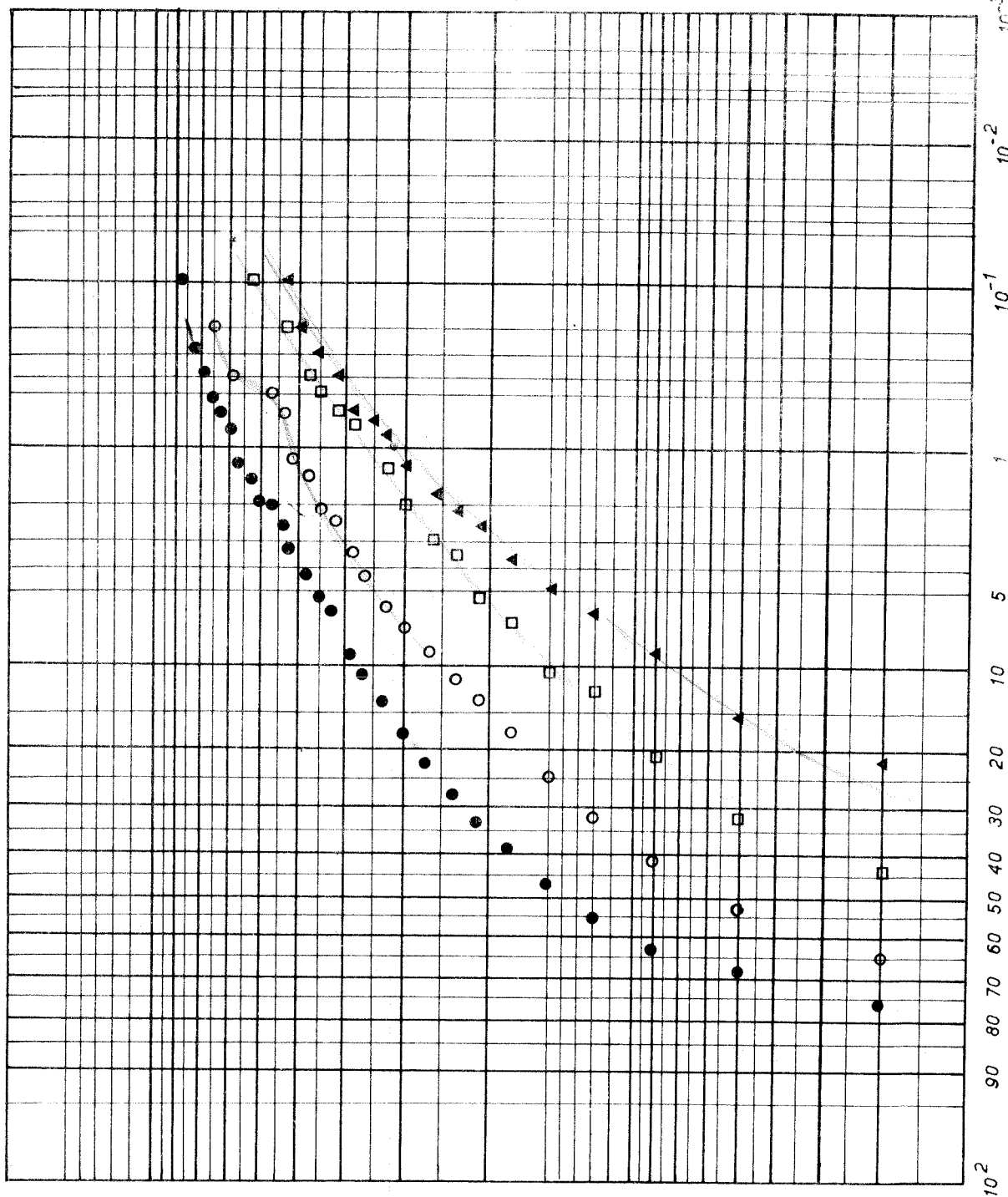
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1019

FIG. 19

LOG - RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



→ % t.o.v. GOLVEN

BELASTING MUUR MET PARAPET
KONDTIE : SUPERSTORM
(MUUR OP HUIDIGE PLAATS)

PROEF 11 B

JM

A4

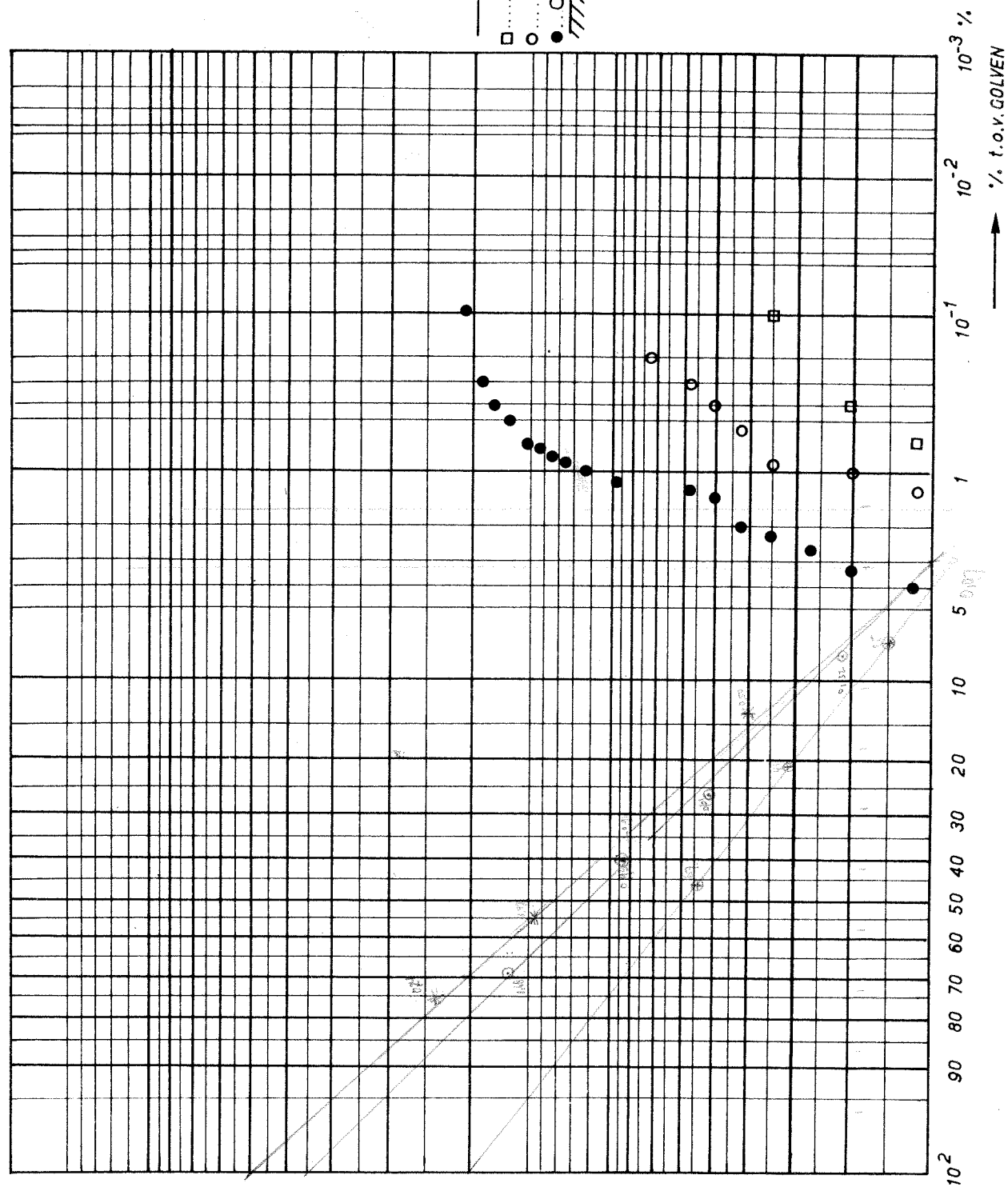
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1020

FIG. 20

LOG-RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING BEBOUWING
KONDTIE : SUPERSTORM
MUUR MET PARAPET OP HUIDIGE PLAATS

PROEF 13

JM

A4

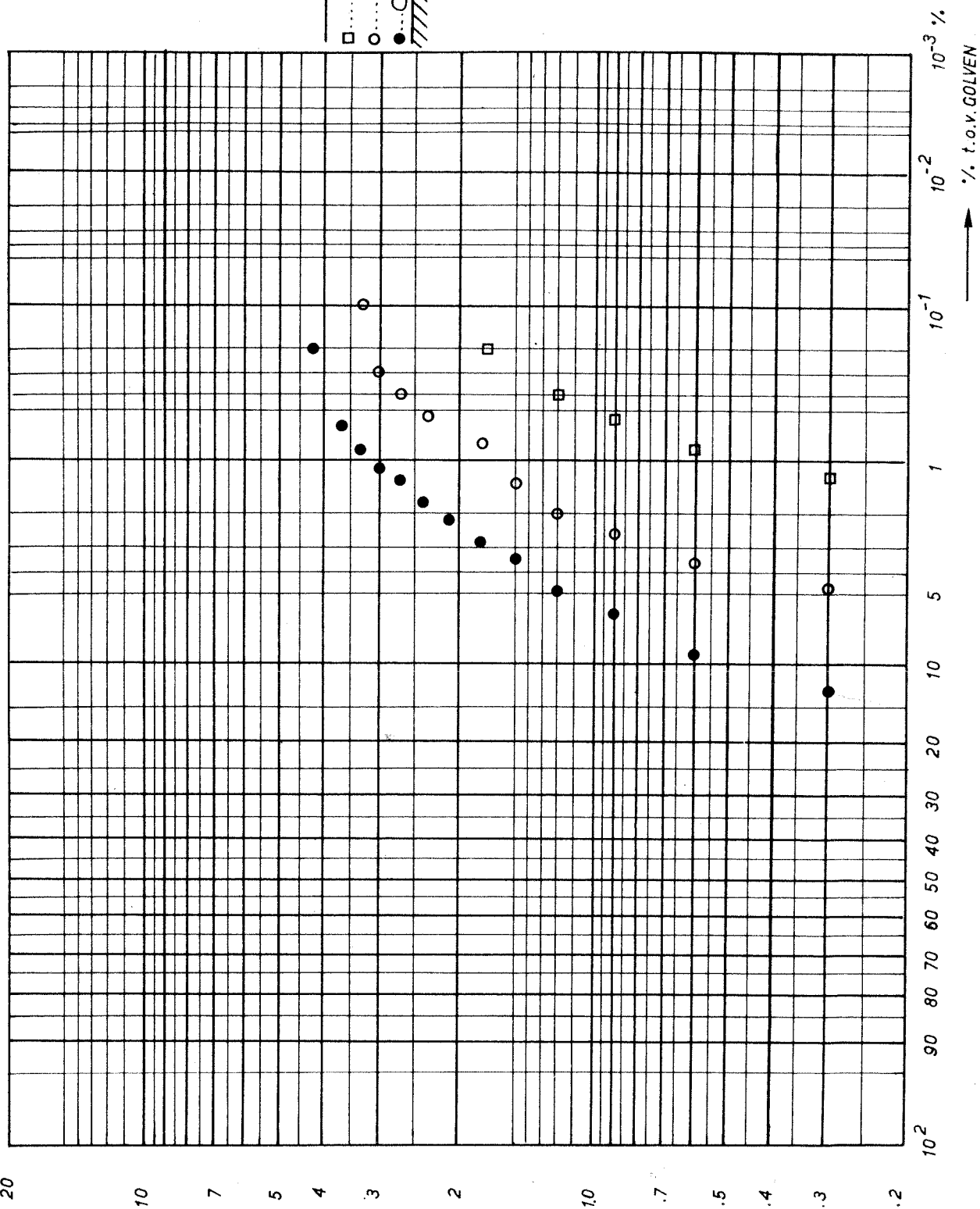
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1021

FIG. 21

LOG - RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING BEBOUWING
KONDTIE : SUPERSTORM
MUUR ZONDER BORSTWERING

PROEF 15

JM

A4

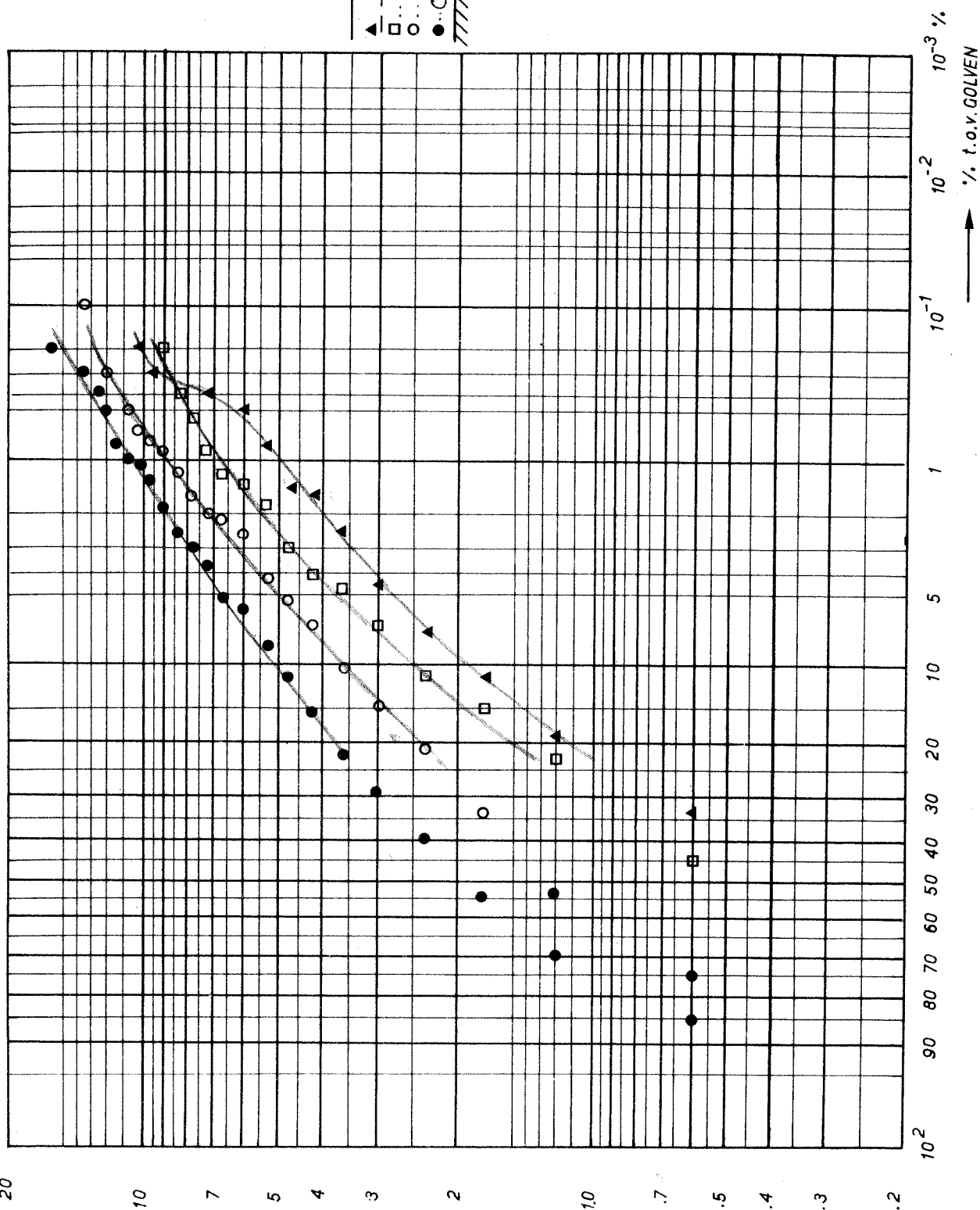
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1022

FIG. 22

LOG-RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING MUUR EN PARAPET
KONDTIE : SUPERSTORM
MUUR 8.00 m ZEEWAARTS VERPLAATST

PROEF 16

JM

A4

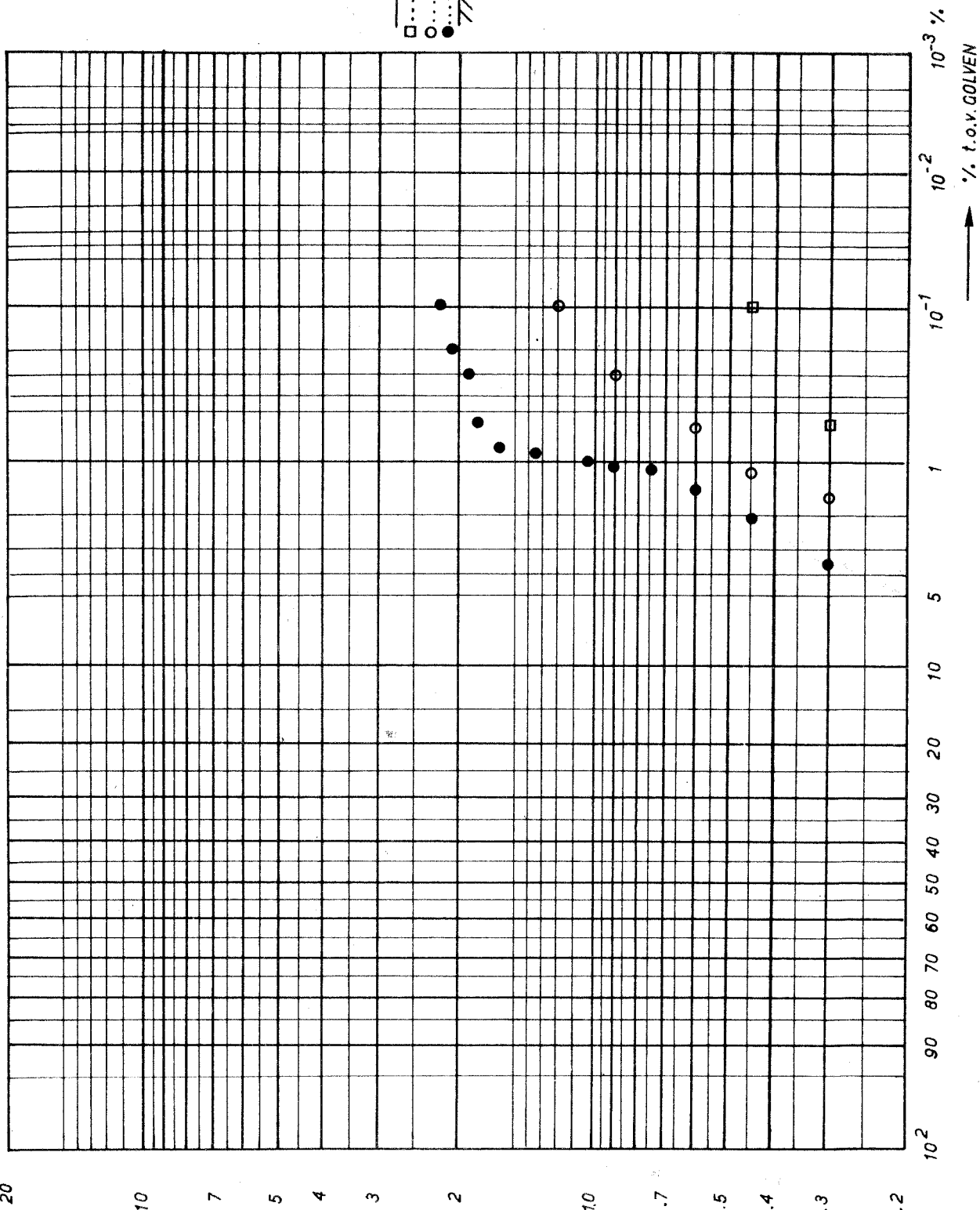
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1023

FIG. 23

LOG - RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING BEBOUWING OP 12,50 m VANAF MUUR
KONDTIE : SUPERSTORM
MUUR MET PARAPET 8 m ZEEWAARTS VERPLAATST

PROEF 18

JM

A4

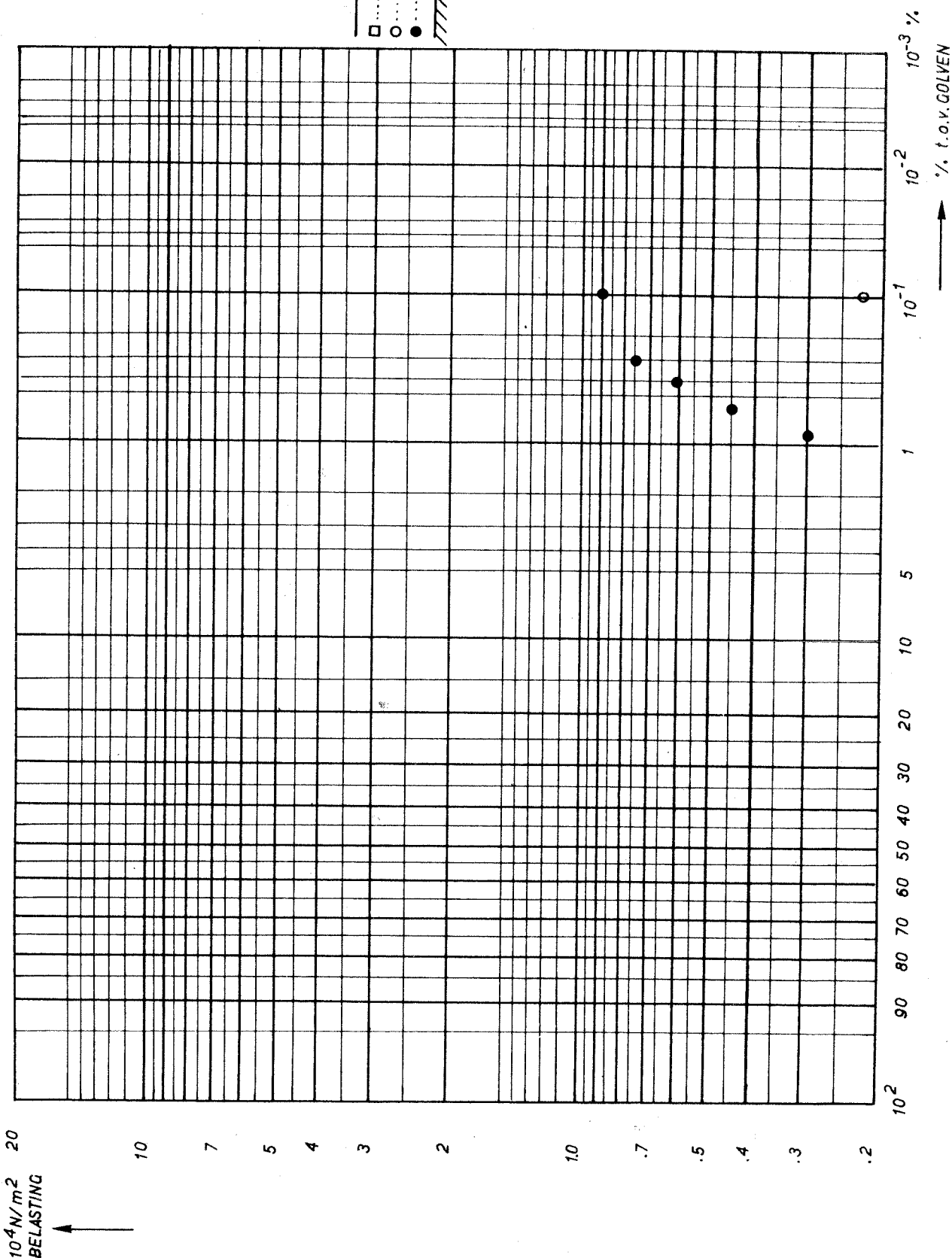
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1024

FIG. 24

LOG-RAYLEIGH VERDELING

10^4 N/m^2
BELASTING



BELASTING BEBOUWING OP 25 m VANAF MUUR
KONDTIE : SUPERSTORM
MUUR MET PARAPET 8 m ZEEWAARTS VERPLAATST

PROEF 19

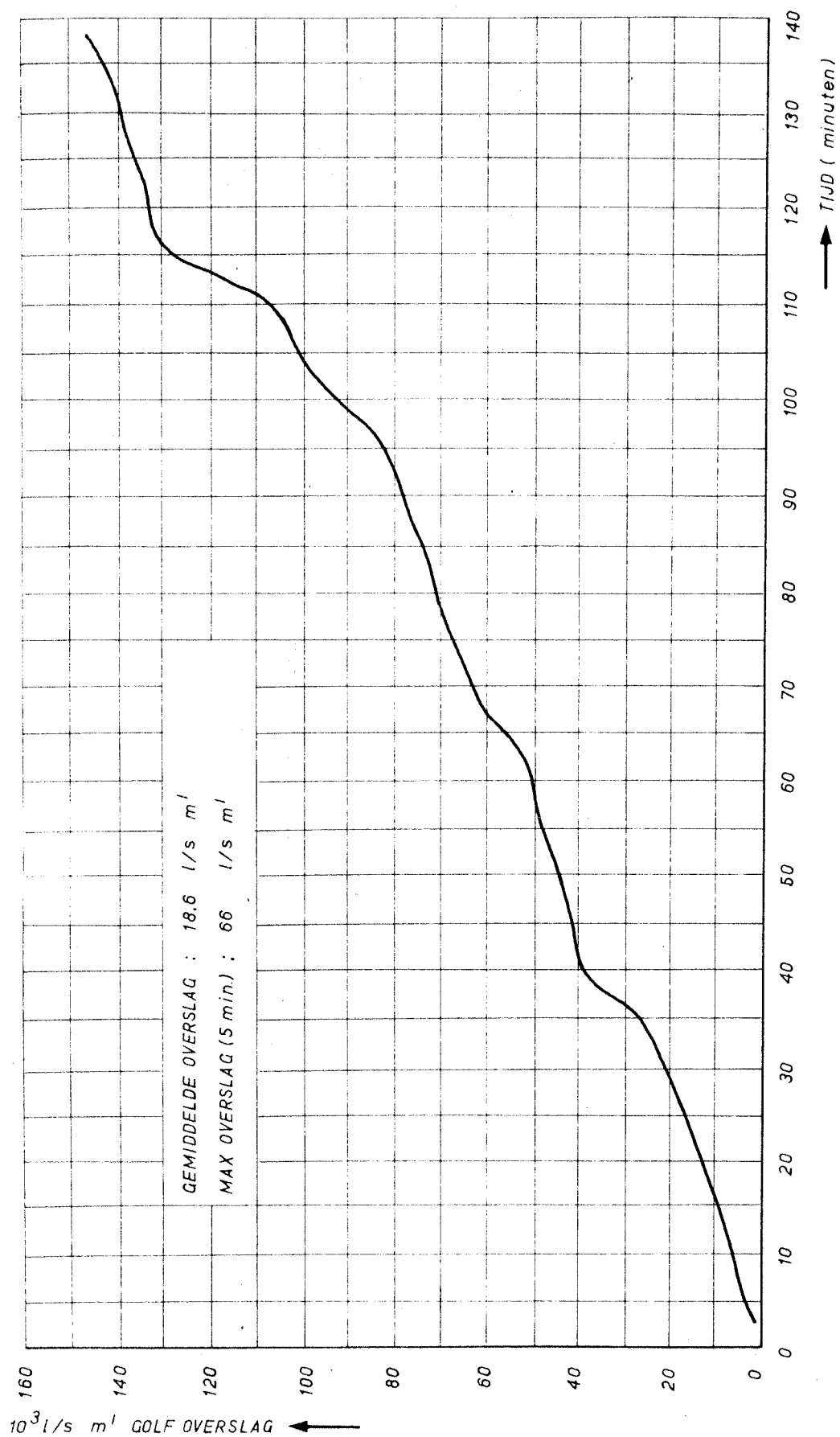
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1025

FIG. 25



TIJD-REGISTRATIE OVERSLAG
 KONDITIE : SUPERSTORM
 MUUR MET VERTIKALE BORSTWERING

PROEF 7

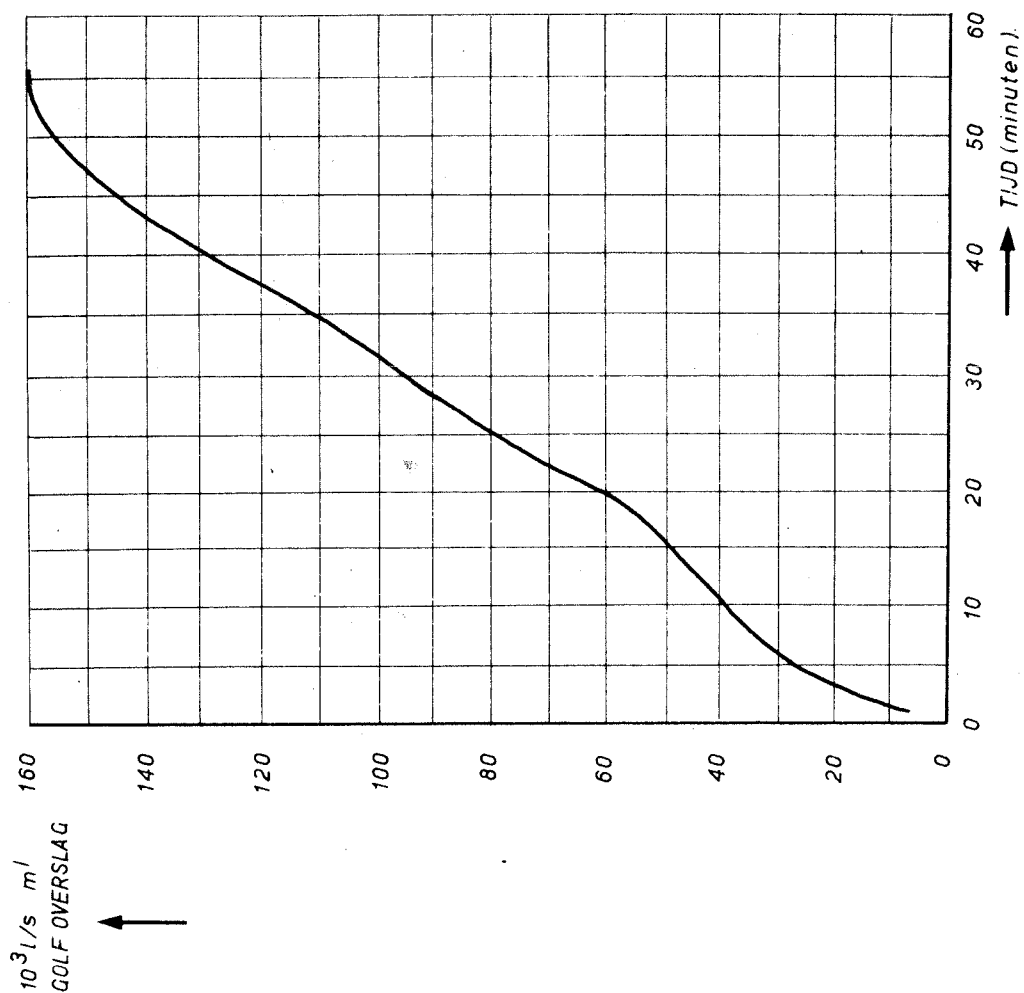
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366-1026

FIG. 26



GEMIDDELDE OVERSLAG : 47.8 l/s m¹
 MAX OVERSLAG (5 min.) = 95 l/s m¹

TIJD-REGISTRATIE OVERSLAG
 KONDITIE : FEBR. '53
 MUUR MET VERT. BORSTWERING GEEN BERM

PROEF 9

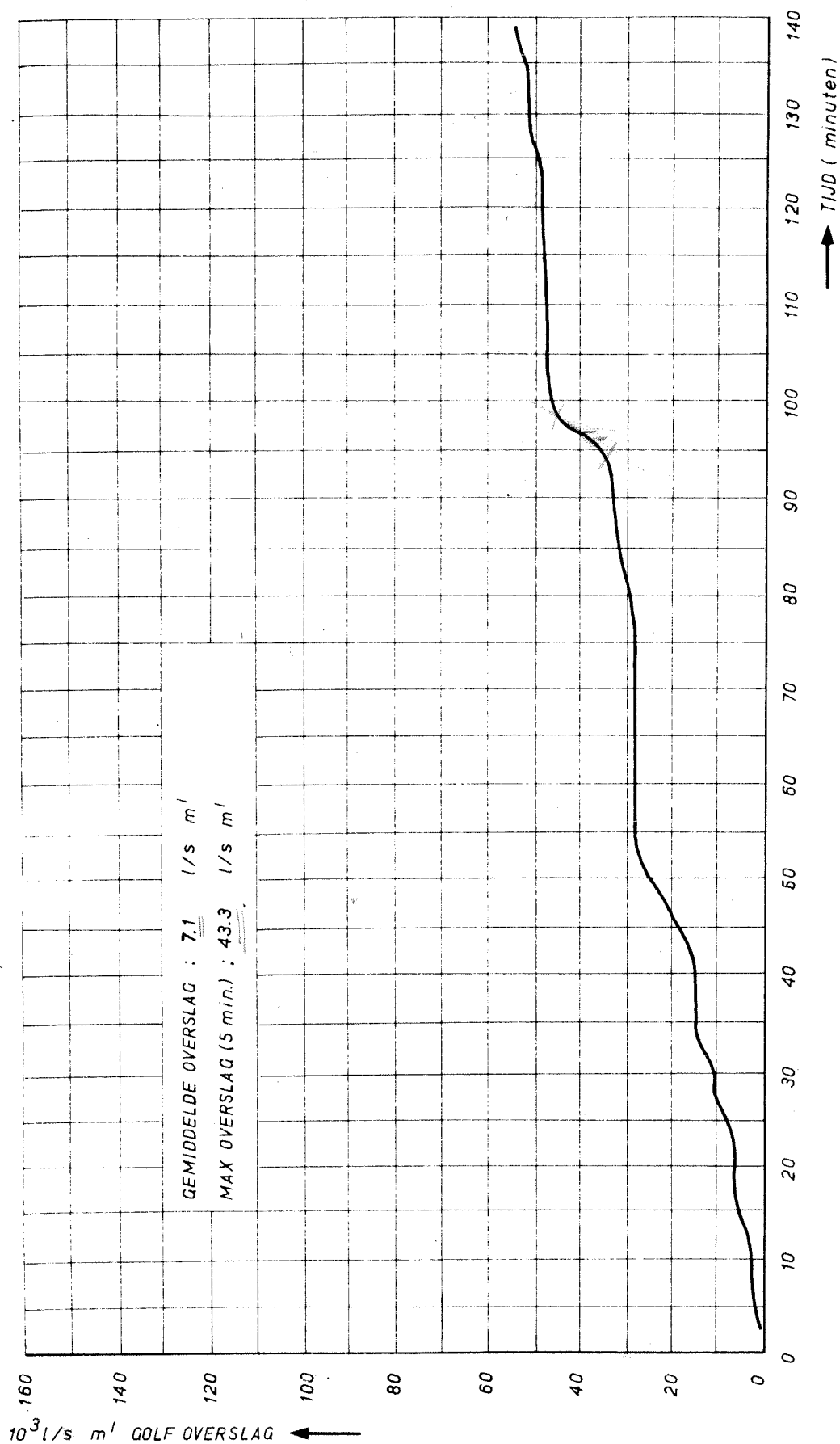
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 10 27

FIG. 27



TIJD-REGISTRATIE OVERSLAG
 KONDITIE : SUPERSTORM
 MUUR MET PARAPET 8 m ZEEWAARTS

PROEF 17

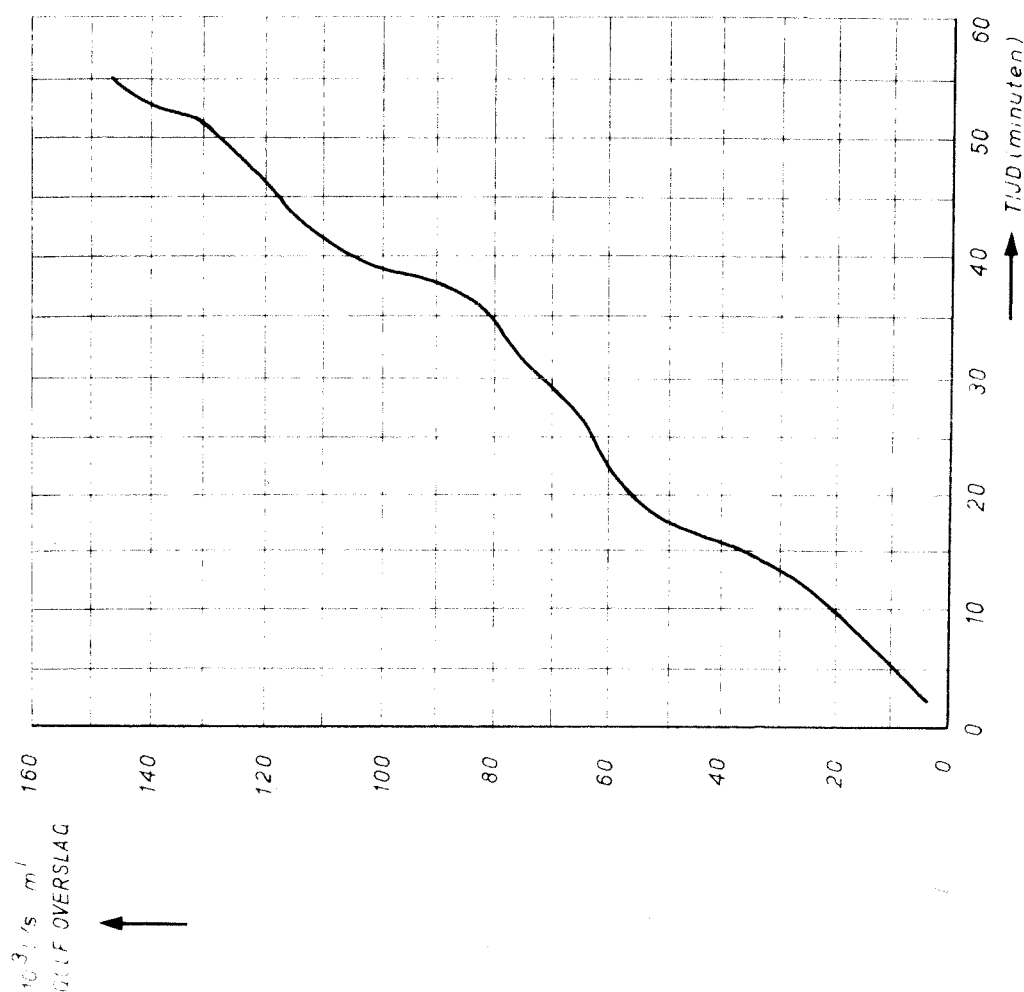
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366-1028

FIG. 28



GEMIDDELTE OVERSLAG : 45.8 l/s m¹
 MAX OVERSLAG (5 min.) = 83.3 l/s m¹

TIJD-REGISTRATIE OVERSLAG
 KONDITIE : SUPERSTORM
 MUUR ZONDER BORSTWERING

PROEF 14

JM

A4

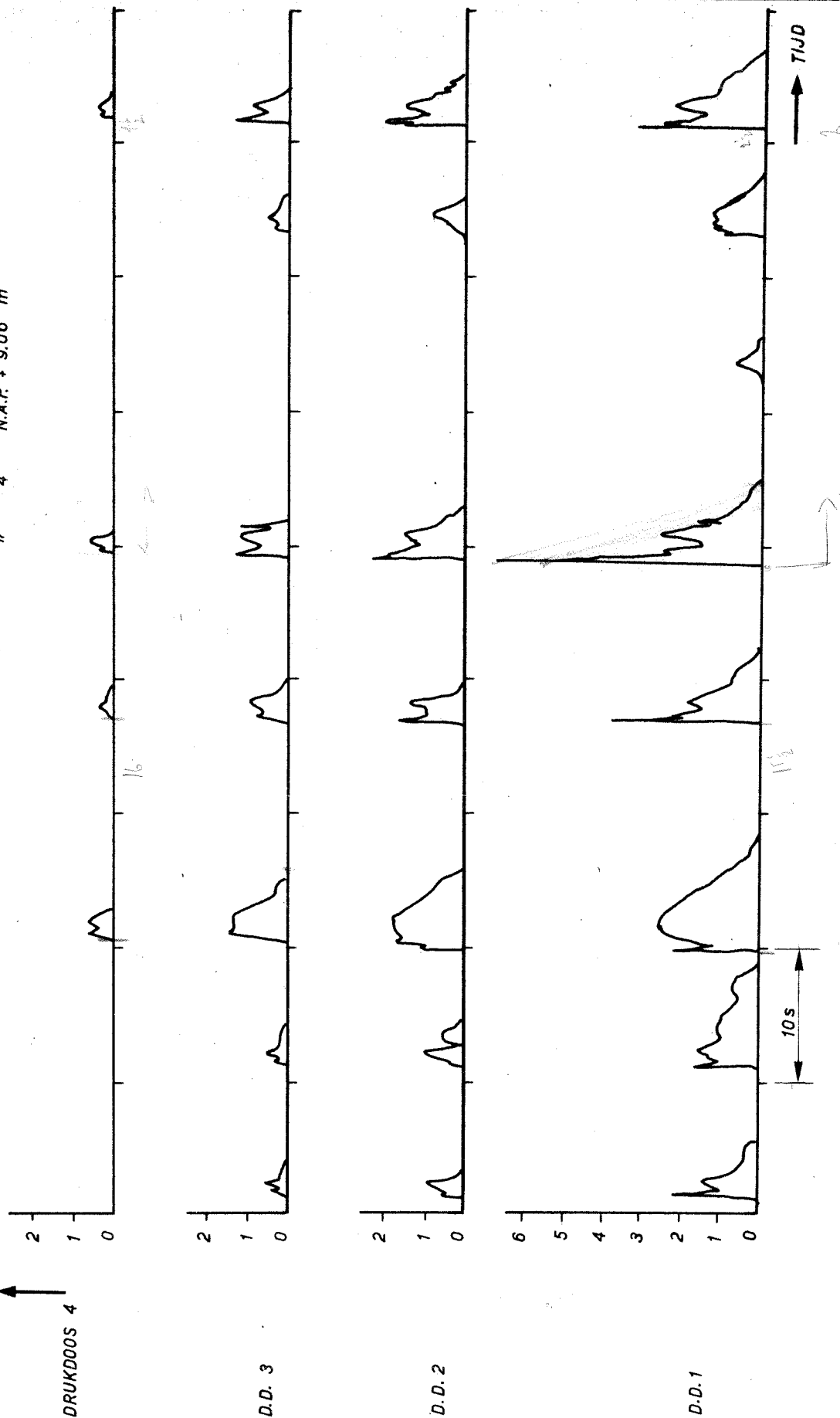
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1029

FIG. 29

DRUKDOOS 1 : N.A.P. + 6.36 m
 " 2 : N.A.P. + 7.11 m
 " 3 : N.A.P. + 7.86 m
 " 4 : N.A.P. + 9.06 m

10^4 N/m^2
 BELASTING



VOORBEELD TIJD-REGISTRATIE BELASTING
 SUPERSTORM

PROEF 1

JM

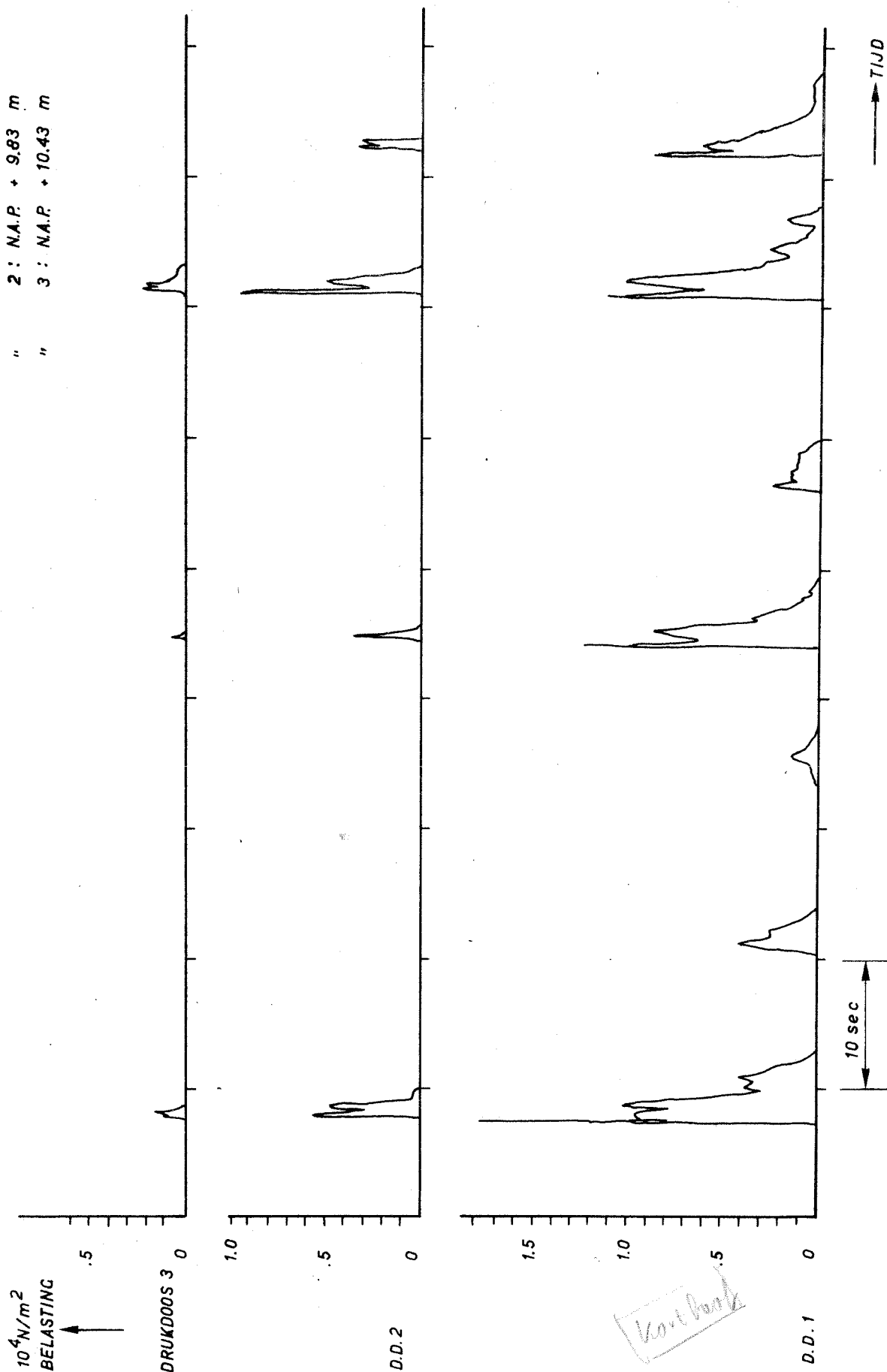
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1366 - 1030

FIG. 30

DRUKDOOS 1 : N.A.P. + 9.23 m
 " 2 : N.A.P. + 9.83 m
 " 3 : N.A.P. + 10.43 m



VOORBEELD TIJD-REGISTRATIE BELASTING BEBOUWING
 SUPERSTORM

PROEF 5

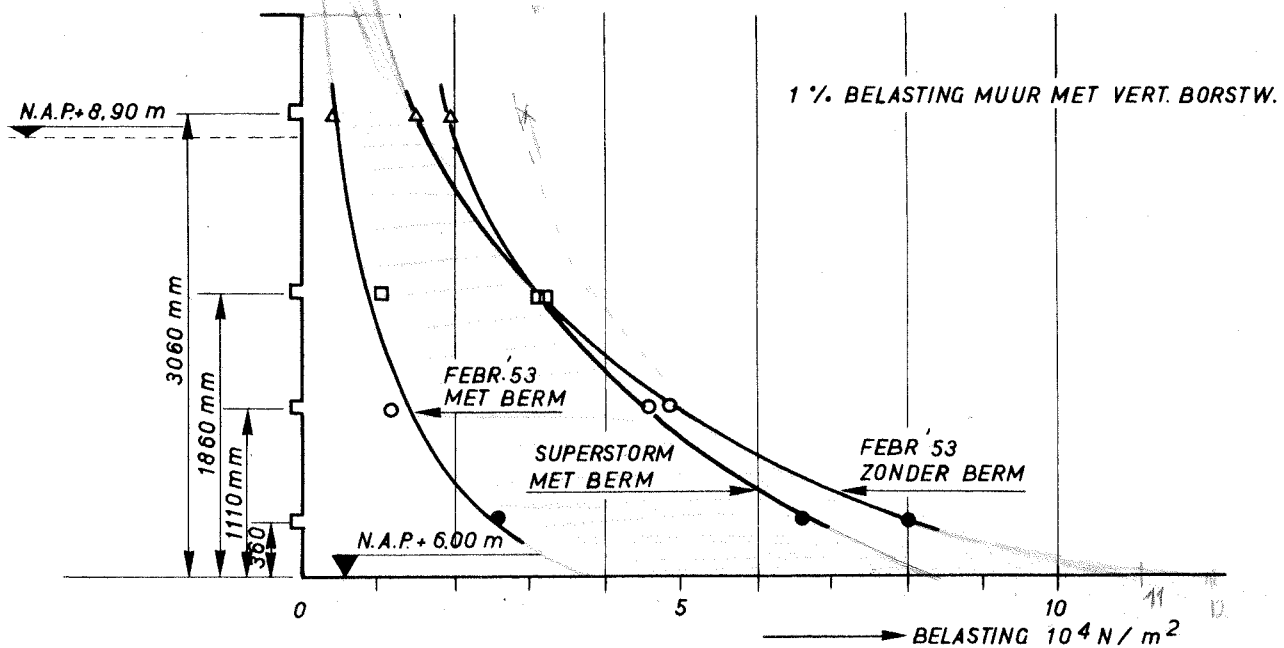
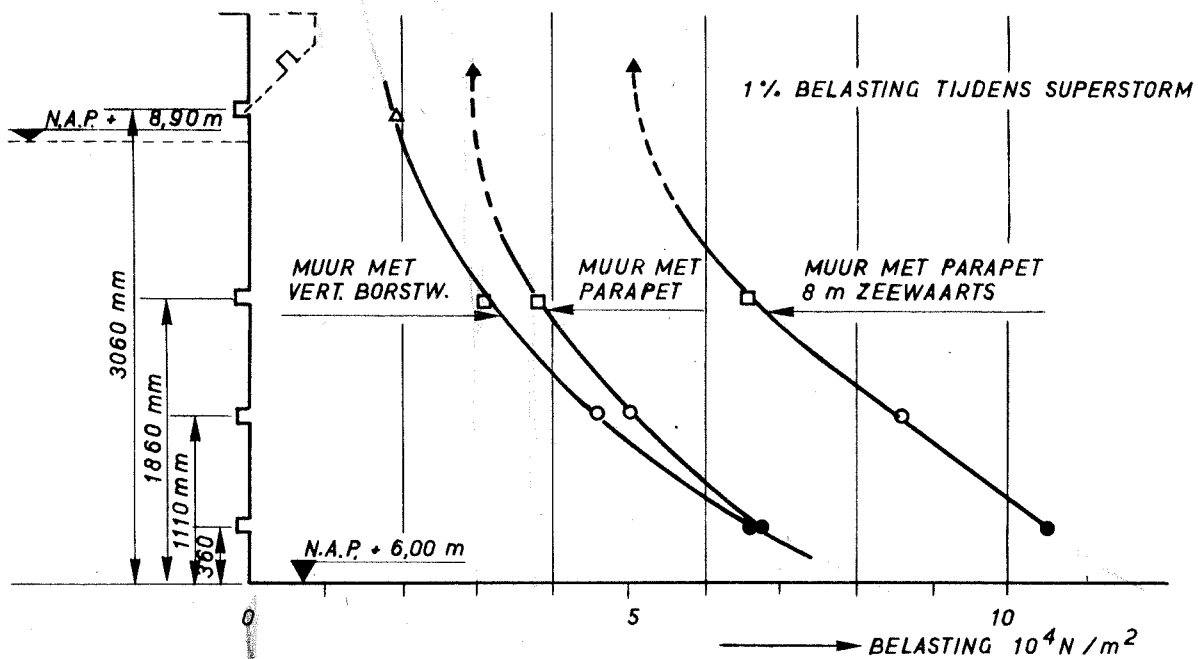
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1031

FIG. 31



1% BELASTING BOULEVARD MUUR

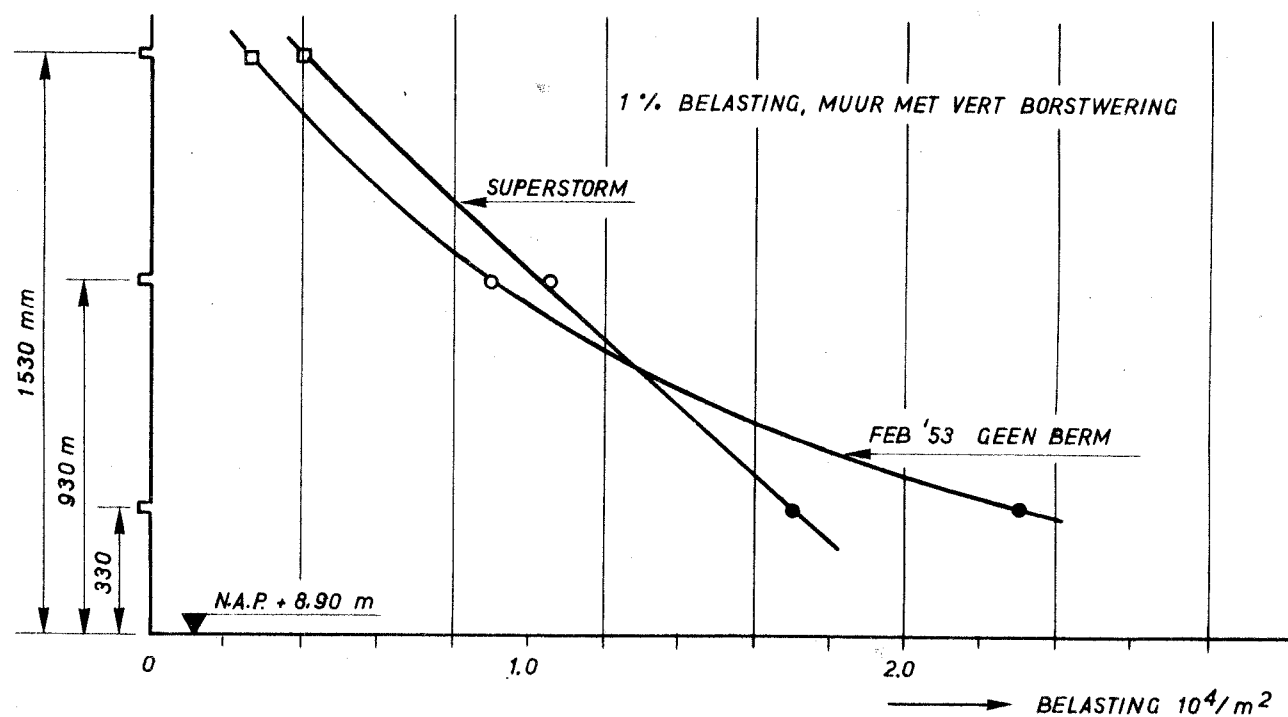
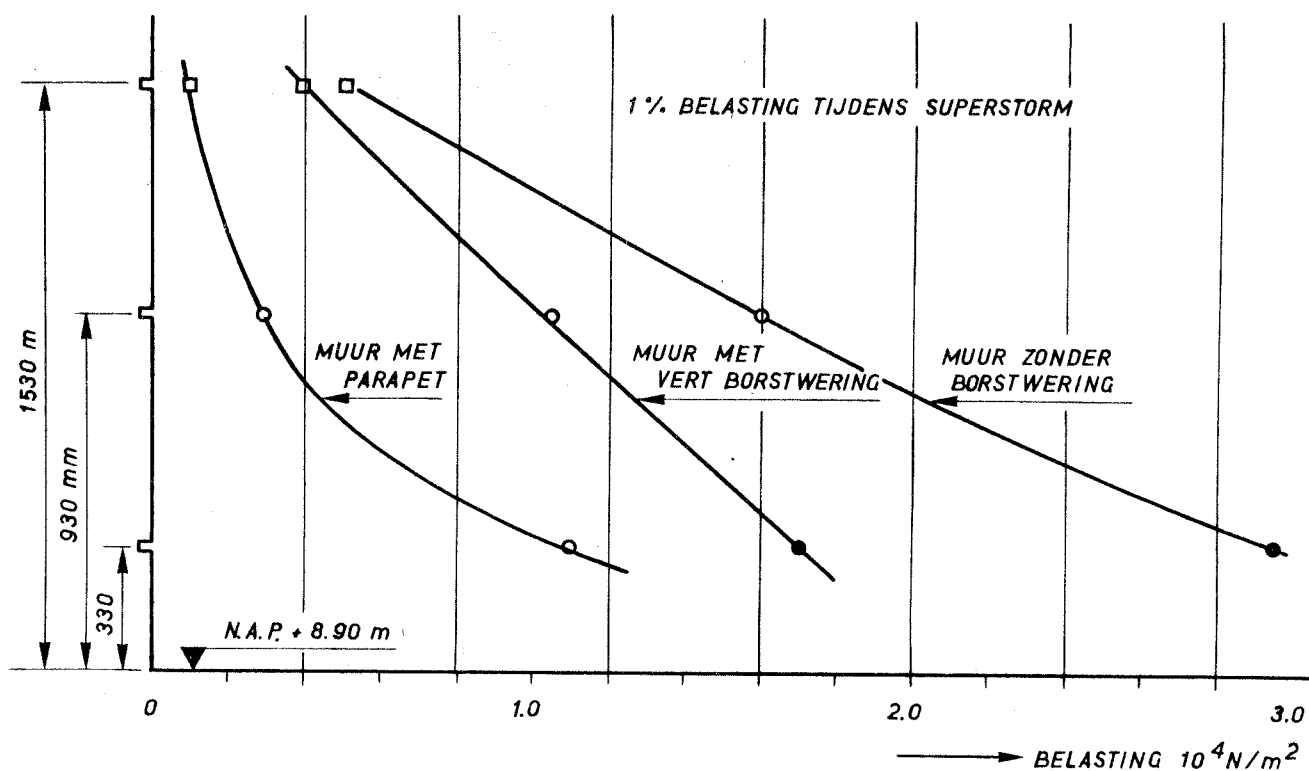
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366 - 1033

FIG.32



1% BELASTING OP BEBOUWING

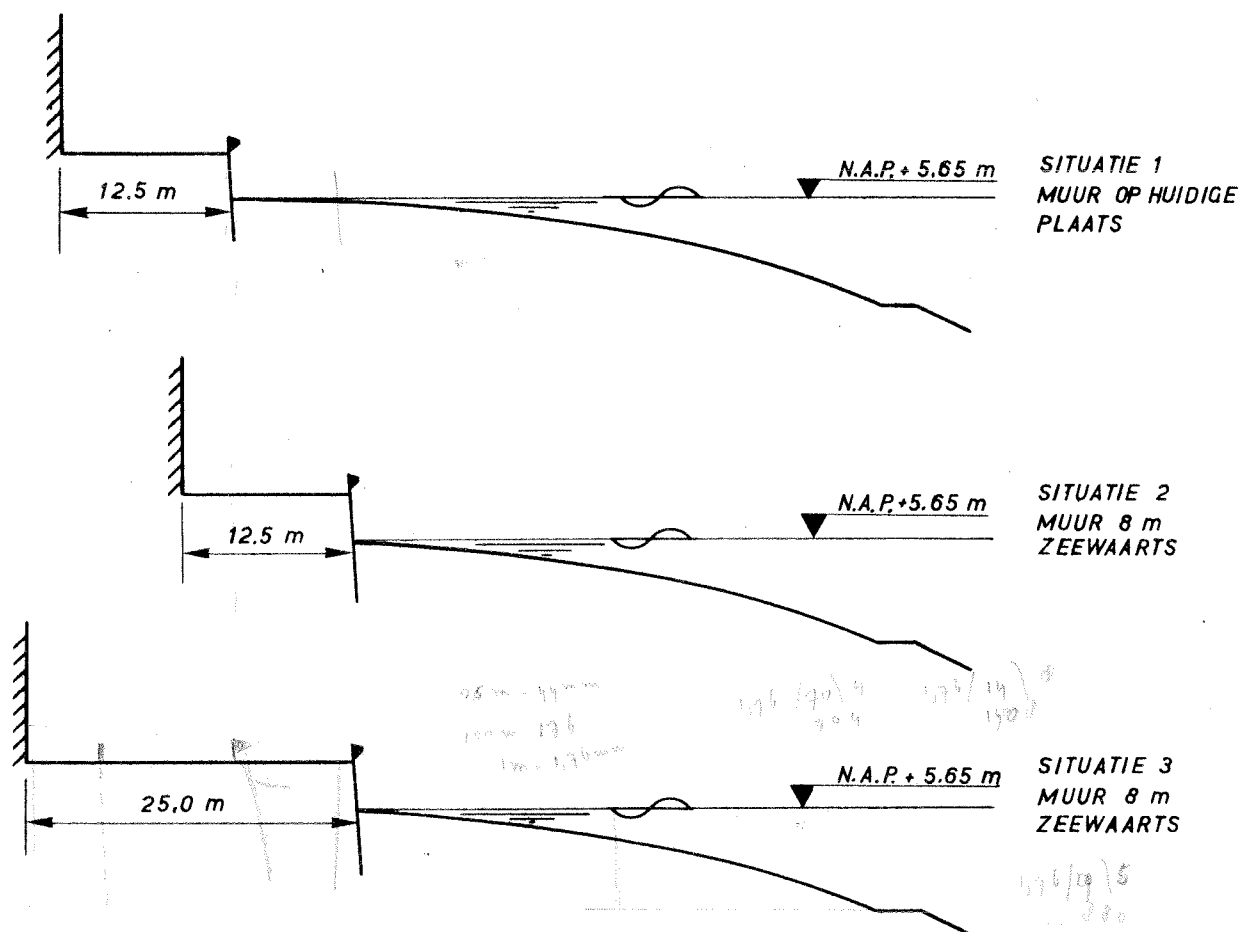
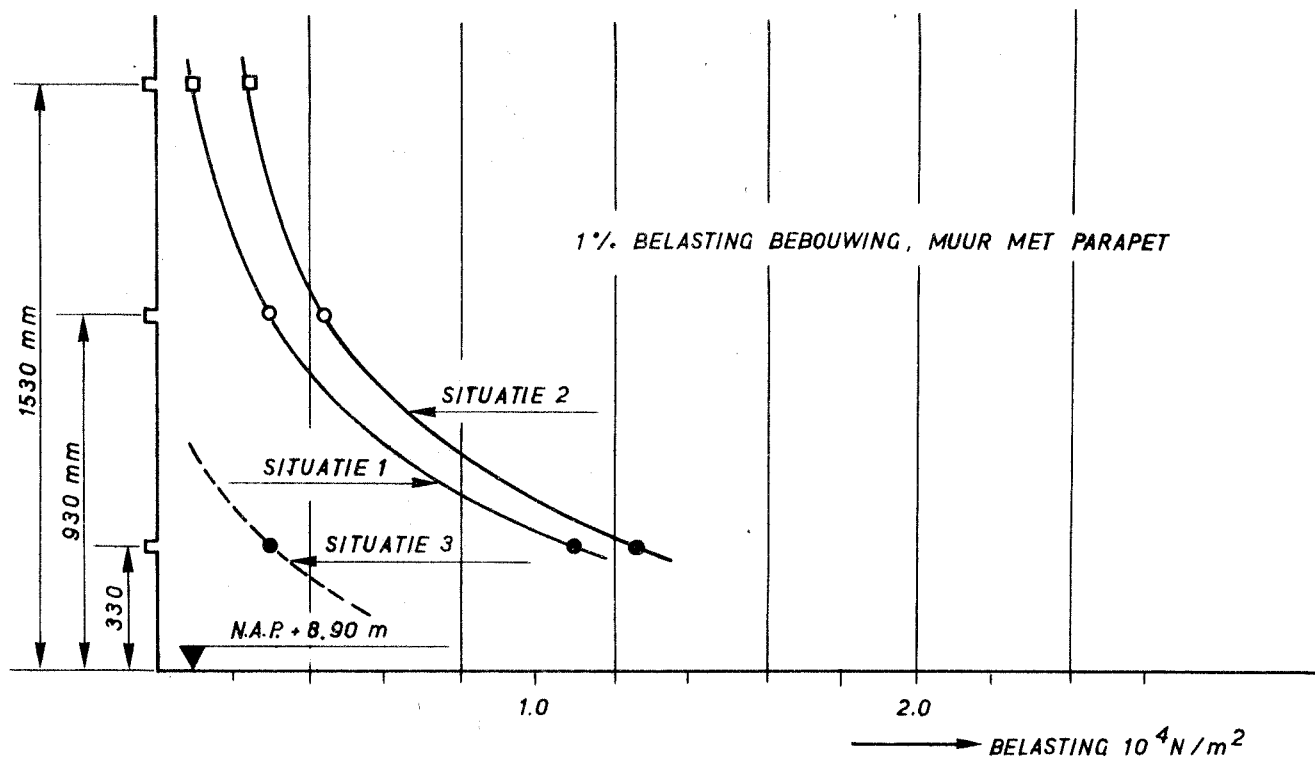
JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366- 1032

FIG.33



1%. BELASTING BEBOUWING

INVLOED VAN PLAATS VAN DE BOULEVARDMUUR

JM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1366- 1034

FIG. 34