

Een elektrisch analogon opstelling

Citation for published version (APA):

Bouter, F. H. (1968). *Een elektrisch analogon opstelling*. (DCT rapporten; Vol. 1968.012). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1968

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Een elektrisch analogen opstelling

F.H. Bouter

WE 68/12

Een Electrisch Analogon Opstelling

Eindhoven, april 1968

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized monogram followed by the name 'Bouter' written in a cursive script.

F.H. Bouter

Een Electrisch Analogon Opstelling.

Inhoud

- I. Inleiding
- II. Beschrijving van de opstelling
 - II.1 : Het electrisch analogon
 - II.2 : De 30.punts verdeel- en instelkast
 - II.3 : De digitale Voltmeter
- III. Blokschema van de gehele opstelling
- IV. Meetresultaten

GRAFIEKEN : I t/m VII

Literatuur:

..Overdrukken:

"Stress concentrations for structural angles in torsion by the conducting sheet analogy." door N.S. Warner en W.W. Soroka.

"Tests of the conducting paper analogy for determining isopachic lines." door W.F. Stokey en W.F. Hughes.

I. Inleiding.

Als aanvullend experiment op foto-elastische metingen aan 2-dimensionale modellen kan gebruik gemaakt worden van de electrisch analogen methode.

Met behulp van de optische bank kunnen we van een 2-dimensionale vlakspanningstoestand, zoals die optreedt in een in zijn vlak belast 2-dimensionaal model, de richting van de hoofdspanningen en de absolute waarde van het hoofdspanningsverschil bepalen. Tevens zijn we in staat om de spanning ook de rand zelf te meten, daar deze randspanning een hoofdspanning is en de andere hoofdspanning nul is. Het teken van de randspanning moet uit een algemene mechanica-beschouwing van het probleem bepaald worden. Dit randspanningsverloop brengen we als een electrische positieve of negatieve gelijkspanning, afhankelijk van het teken van de randspanning, aan op een contour, gelijkvormig met het model, op weentandpapier gekkend.

Het electrisch analogen berust op het feit dat de electrische spanningsverdeling in een uniform geleidend medium voldoet aan de Laplace-vergelijking: $\Delta V = 0$.

Doar de som van de hoofdspanningen van een 2-dimensionaal spanningsprobleem ook voldoet aan de Laplace-vergelijking zal in dit geval in ieder punt binnen het contour de resulterende potentiaal overeenkomen met de som van de hoofdspanningen in dat punt.

Résumerend: Uit de foto-elastische metingen kennen we voor ieder punt van het model

- de richting van de hoofdspanningen
- $|\sigma_1 - \sigma_2|$, de absolute waarde van het verschil van de hoofdspanningen

Uit metingen met het electrisch analogen vinden we voor ieder punt van het model: $\sigma_1 + \sigma_2$

Hiermede is de gehele spanningsverdeling te bepalen.

II. Beschrijving van de opstelling

De opstelling bestaat in principe uit 3 delen :

- a) Het elektrisch analogon
- b) Het voedingsgedeelte, bestaande uit een gelijkspanning-voedingsapparaat en een 30. punts verdeel- en instelkast.
- c) Een digitale voltmeter.

II.1. Het elektrisch analogon

Op Teledeltos weerstandspapier¹⁾, geplakt op een harde, gladde ondergrond, bijvoorbeeld glas of perspex, wordt het te onderzoeken model met een dun ball-point lijntje (geen potlood; hiermede wordt de weerstandswaarde van het papier beïnvloed), eventueel een aantal malen vergroot, nagetekend.

Het met behulp van de optische bank gemeten randspanningsverloop moet als een elektrisch spanningsverloop op het getekende contour aangebracht worden. Het teken van de randspanning moet uit het isochromaten beeld met een algemene mechanica-beschouwing bepaald worden.

Deze vereiste, continu over het contour verloopende positieve- of negatieve gelijkspanning wordt heel goed benaderd door op een aantal discrete punten op ca. 5 mm buiten het contour een elektrische potentiaal in te stellen zodanig, dat op een aantal punten op het contour de vereiste spanning staat.

Naarmate de spanningsgradient groter is moeten de elektroden (= de instelpunten) dichter bij elkaar genomen worden. Het potentiaal verschil tussen twee elektroden op een onderlinge afstand van 5 mm mag i.v.m. opwarmen van het papier en daardoor verlopen van de weerstand, niet groter zijn dan 5 Volt.

Het op deze manier verkregen spanningsverloop langs het contour vertoont geen meetbare afwijking ten opzichte van het vereiste continue verloop.

1) Gegevens over de specifieke weerstand zijn te vinden in een WF-rapport getiteld: Elektrisch analogon voor Tossie, door J.W.H. Heers, februari 1965.

In onderstaande figuur wordt een aanbevolen uitvoeringsvorm geschetst voor het aanbrengen van de gelijkspanning.

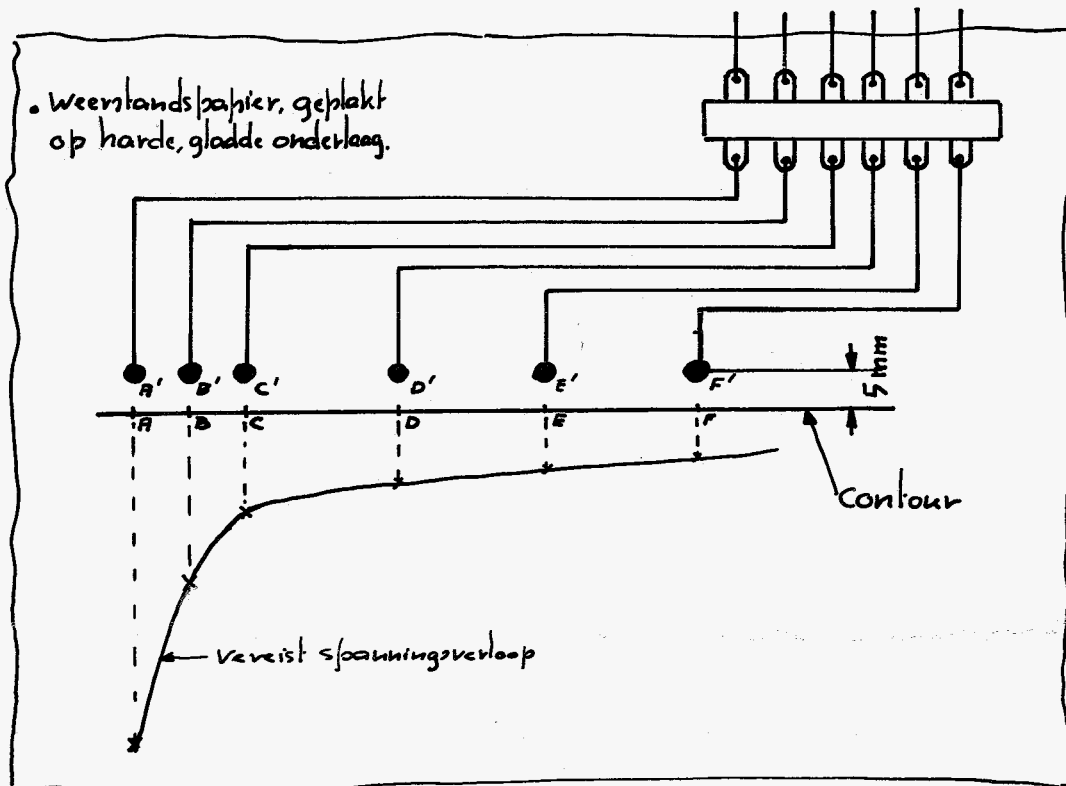


fig 1.

A', B', ... F' : elektroden, bestaande uit met zilververf getekende punten van ca. 3 mm doorsnede.
 Hierop worden, vanaf de op het papier geplakte montagesteun komende toevoerdraden met behulp van zilververf gelijmd.

Aan de andere kant van de montagesteun zijn de draden gesoldeerd, komend van de klemmen D1 t/m D30 (zie fig 2) van de verdeelkast.

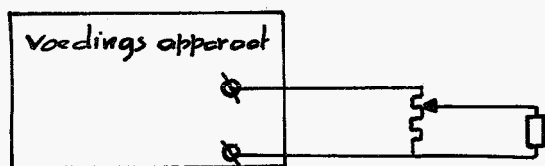
II.2 . De 30-punts verdeel- en instelkast.

We hebben, zoals uit het voorgaande is gebleken een aantal onafhankelijk van elkaar in te stellen gelijkspanningen nodig. In echte installie hebben we ons beperkt tot 30 punten.

Als voedingsbron wordt een gestabiliseerd gelijkspannings-voedings-apparaat gebruikt; de klemspanning is onafhankelijk van de afgenomen stroom.

Over de klemmen staan, parallel, 30 potentiometers.

Wil de onderlinge beïnvloeding van de ingestelde spanningen tot een minimum beperkt blijven, dan zal de volle weerstand van de potentiometers zo klein mogelijk moeten zijn; de belastingsstroom is dan groot. Door er 30 potentiometers parallel staan over het voedingsapparaat wordt de totale stroom voor het voedingsapparaat te groot.



R_{potm}

$R_{belasting}$ (papier)

Eenzijds moet R_{pot} klein zijn (om de onderlinge beïnvloeding v.d. ingestelde spanningen te beperken),

anderzijds moet R_{pot} zo hoog

mogelijk zijn om de stroom door het voedingsapparaat te beperken.

Om deze eis is te voldoen, door tussen de potentiometer en de belastingsweerstand (weerstandspapier) een emittervolger te schakelen.

De voedingsbron "ziet" dan een hoge weerstand: de stroom blijft beperkt; de belasting "ziet" een lage weerstand: de onderlinge beïnvloeding van de ingestelde spanningen is tot een minimum beperkt.

In fig 2 is het schema van de schakeling getekend.

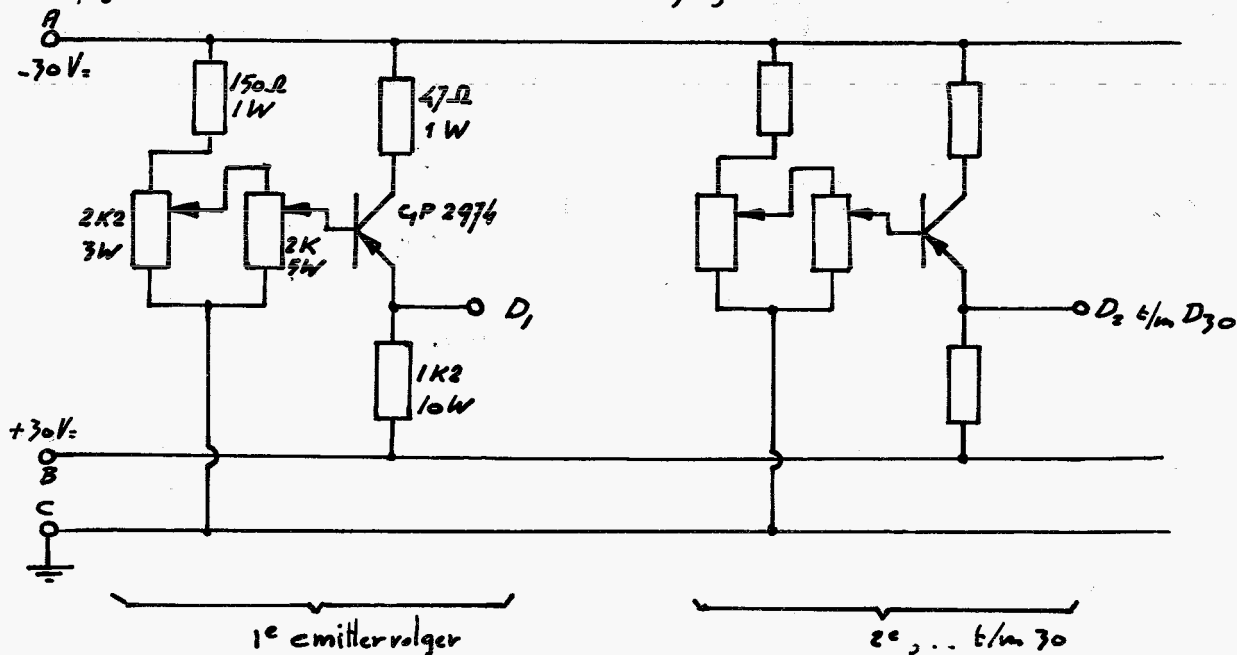


fig 2.

Op de punten A, B, C is aangesloten het gelijkspannings-voedings-apparaat: Philips PE 4804.

Met behulp van een dubbele potentiometer-schakeling kan in D_1 op 1% nauwkeurig, een spanning ingesteld worden van -1.00 t/m -20.00 V; van 3 tot 1% nauwkeurig spanningen van resp. -0.01 tot -1.00 Volt.

De spanningsvariatie in een ingesteld punt op het contour ten gevolge van het optredende spanningsverschil met een naburig (op 5 mm afstand) in te stellen punt bedraagt:
1% bij een potentiaalverschil van 2,5 V.

Ligt het naburige punt op 12 mm afstand van het reeds ingestelde punt dan bedraagt de spanningsvariatie: 1% bij een pot. verschil van 10 V.

Gezien de eis, dat het spanningsverschil, tussen twee punten op een onderlinge afstand van 5 mm, niet groter mag zijn dan 5 Volt, zijn dit acceptabele waarden.

OPMERKING: De te volgen procedure bij de spanningsinstelling is: Grof instellen van de spanning met „potmeter 2K2” op een waarde iets boven de gewenste waarde liggend; daarna met „potmeter 2K” fijnafstemmen op de gewenste waarde.

II.3 De digitale voltmeter.

Om de spanning op en binnen het contour te kunnen meten wordt gebruik gemaakt van een digitale voltmeter. (Voldoet aan de eis van een hoge ingangsimpedantie)

Fabriekaat: Solartron LM 14202.

Het meetbereik wordt bij dit experiment ingesteld op 0 - 20 V =
In dit meetbereik kunnen we de spanning op 0,01 Volt aflezen.

Met een taster, een aangepunte potloodstift (2H) in houder wordt in een punt van het model de potentiaal gemeten.

De plaatsbepaling kan als volgt gebeuren:

Op een stuk millimeterpapier tekenen we nogmaals het contour. We prikken op de gewenste meetplaatsen met een passerpunt een gaatje; daarna leggen we het, langs het contour, uitgeknipte stuk millimeterpapier precies op het getekende model op het weerstandspapier

Met behulp van de taster prikken we in een gaatje; de coördinaten van een punt zijn nu ten opzichte van een assstelsel, op $\pm 0,5$ mm, vastgelegd.

III. Blokschema van de gehele opstelling.

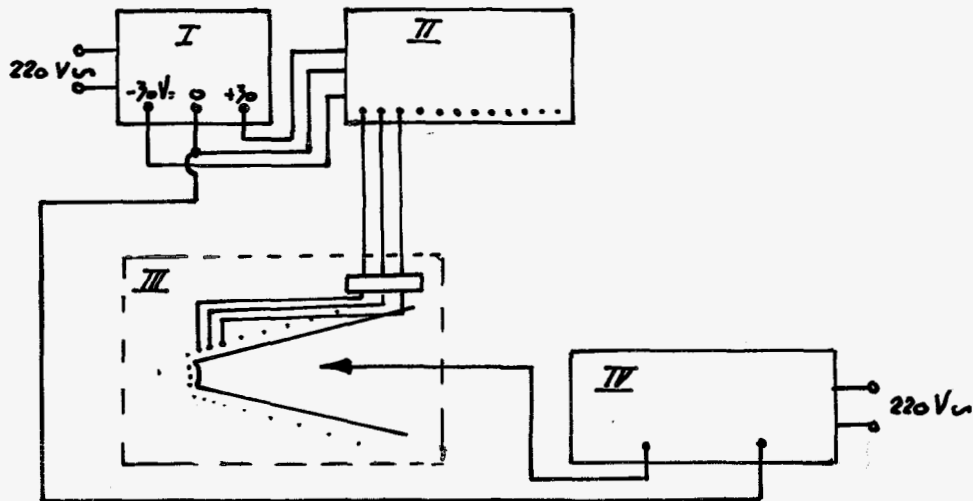


fig 3.

- I Selijkspanning-voedingapparaat
- II 30-punts verdeel- en instelkast
- III Electrisch analoogon
- IV Digitale voltmeter.

IV Meerresultaten

Als eerste experiment is uitgevoerd een meting aan een elec. analoogon van een wig, die door een puntkracht, werkend in de top in een richting loodrecht op de symmetrie-as van de wig, belast is. De uitvoering van de proef alsmede de resultaten zijn in WE-rapport no 68/11 vermeld.

Ter verkrijging van enige oefening in het aanbrengen van de randspanning is nog een tweede experiment uitgevoerd. Het betreft hier een electrisch analoogon van een oneindig halfvlak door een puntkracht belast. De verkregen resultaten zijn vergeleken met de theoretisch bekende oplossing.

Uit de metingen volgt dat het beste resultaat verkregen wordt door de puntkracht (in dit geval de "puntspanning") te vervangen door op een halve cirkelvormige uitsnijding aan de rand van het halfvlak een cosinus-vormig verloopende spanning aan te brengen die als resultaat heeft een loodrecht op het halfvlak staande puntkracht.

Dit cosinus-vormige verloop langs de cirkelrand is verwezenlijkt door op een aantal punten, 5 mm vanaf de rand een spanning in te stellen, zodanig dat over de cirkelrand een continue verloopende cosinus-spanning verkregen werd.

Fig 4 geeft de situatie weer.

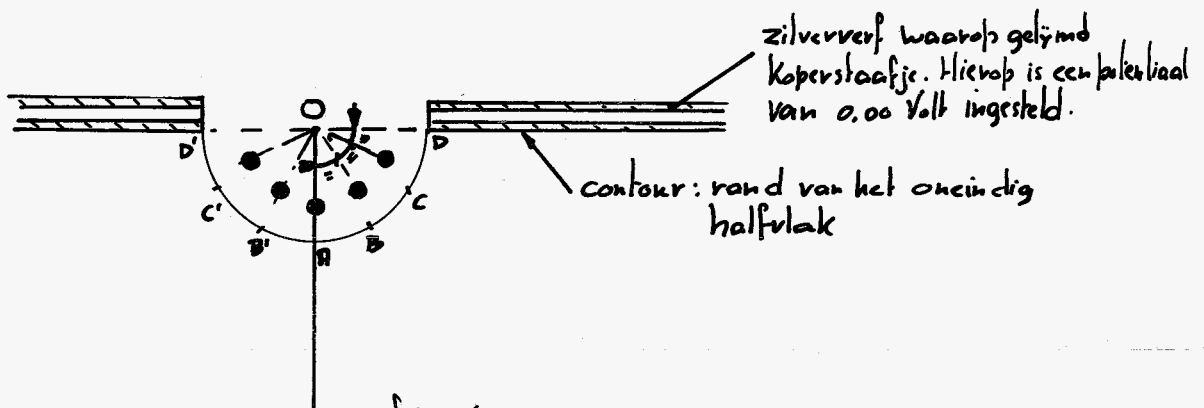


fig 4.

De ingestelde spanningen, gemeten langs het contour ($r=15$ mm) bedroegen:

in A : $V = -4,24$ Volt
 in B, B' : $-3,67$ Volt
 in C, C' : $-2,12$ Volt
 in D, D'
 en gehele rand: $0,00$ Volt.

Als resultaat levert dit op een spanning in O van $-10,00$ Volt.

OPMERKING:

Het is niet noodzakelijk de onbelaste rand op 0-Volt te brengen. Elke spanning kan als 0-niveau dienen.

In de grafieken I t/m III zijn de resultaten van deze metingen: $\sigma_r = \sigma_r(r)$ voor $\theta = 0, 30$ en 60° , te samen met de theoretische krommen weergegeven.

Brengen we de puntkracht aan als een "puntspanning" van -5 Volt t.o.v de rand, die op 0 -Volt staat, dan krijgen we een aanzienlijke afwijking van de gemeten waarden van σ_r t.o.v de theoretische waarde van σ_r .

De oorzaak ligt in het feit dat we niet in staat zijn een "puntspanning" aan te brengen.

In wezen hebben we over ca 5 mm een gelijkmatig verdeelde belasting van -5 Volt aangebracht, waarvan de resultante groter is dan een puntspanning van -5 Volt. We zien dan ook, in grafiek I t/m III weergegeven, de resultaten van deze metingen boven de theoretische kromme liggen.

De eerst genoemde methode verdient dus de voorkeur. Bovendien kunnen we, zonder dat we de 5 -Voltgrens overschrijden toch op een resulterende hogere spanning komen. In ons geval $-10,00$ Volt. Dit heeft het voordeel dat voor grote r nog meetbare spanningen aanwezig zijn.

De resultaten zijn, na deling door een factor 2 , te vergelijken met de theoretische waarden voor een belasting van -5 Volt.

Tot slot is nogmaals de wig (zie rapport WE 68/11) doorgemeten nu gebruik makend van de symmetrie van het model.

Let wel: de belasting is anti-metrisch.

De randspanning is geheel analoog aan de spanning bij de eerder gedane metingen aan de wig; alleen werkend op één zijde van de wig. Op de symmetrie lijn is de nulspanning aangelegd.

De resultaten zijn in de grafieken IV t/m VII weergegeven.

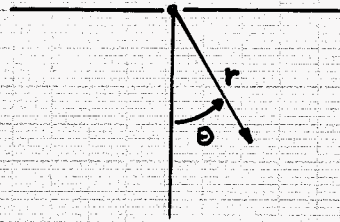
Een nader onderzoek van het toepassen van symmetrie en anti-metrie bij de electrisch analogen meetmethode moet nog volgen.

GRAFIEK I

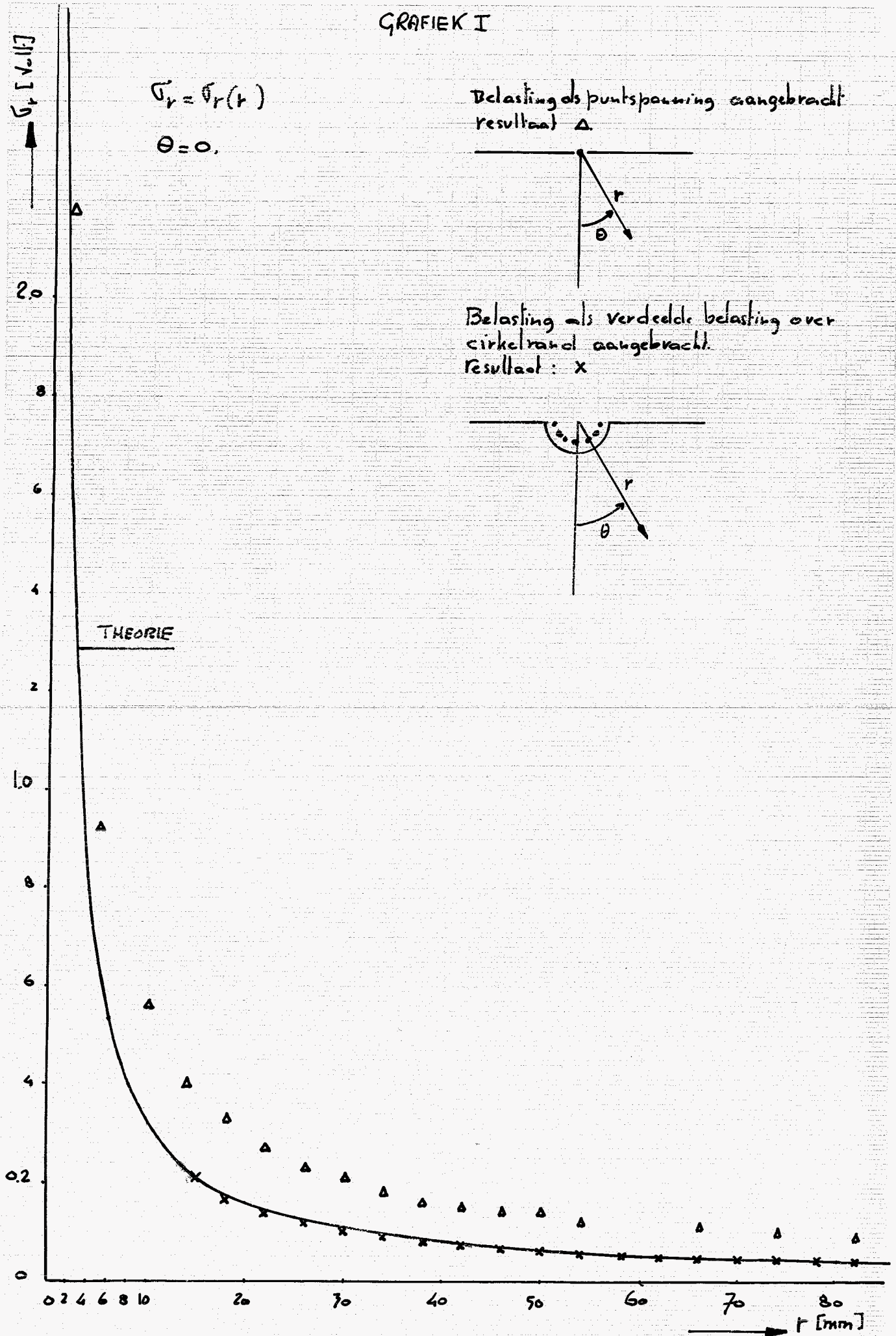
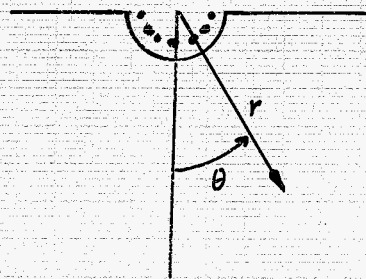
$$\sigma_r = \sigma_r(r)$$

$$\theta = 0$$

Belasting als puntspanning aangebracht
resultaat Δ



Belasting als verdeelde belasting over
cirkelrand aangebracht
resultaat: x



GRAFIEK II

$$\sigma_r = \sigma_r(r)$$

$$\theta = 30^\circ$$

— Theorie

x verdeelde belasting

Δ puntkracht.

2.0

8

6

4

2

1.0

8

6

4

0.2

0 2 4 6 8 10

20

30

40

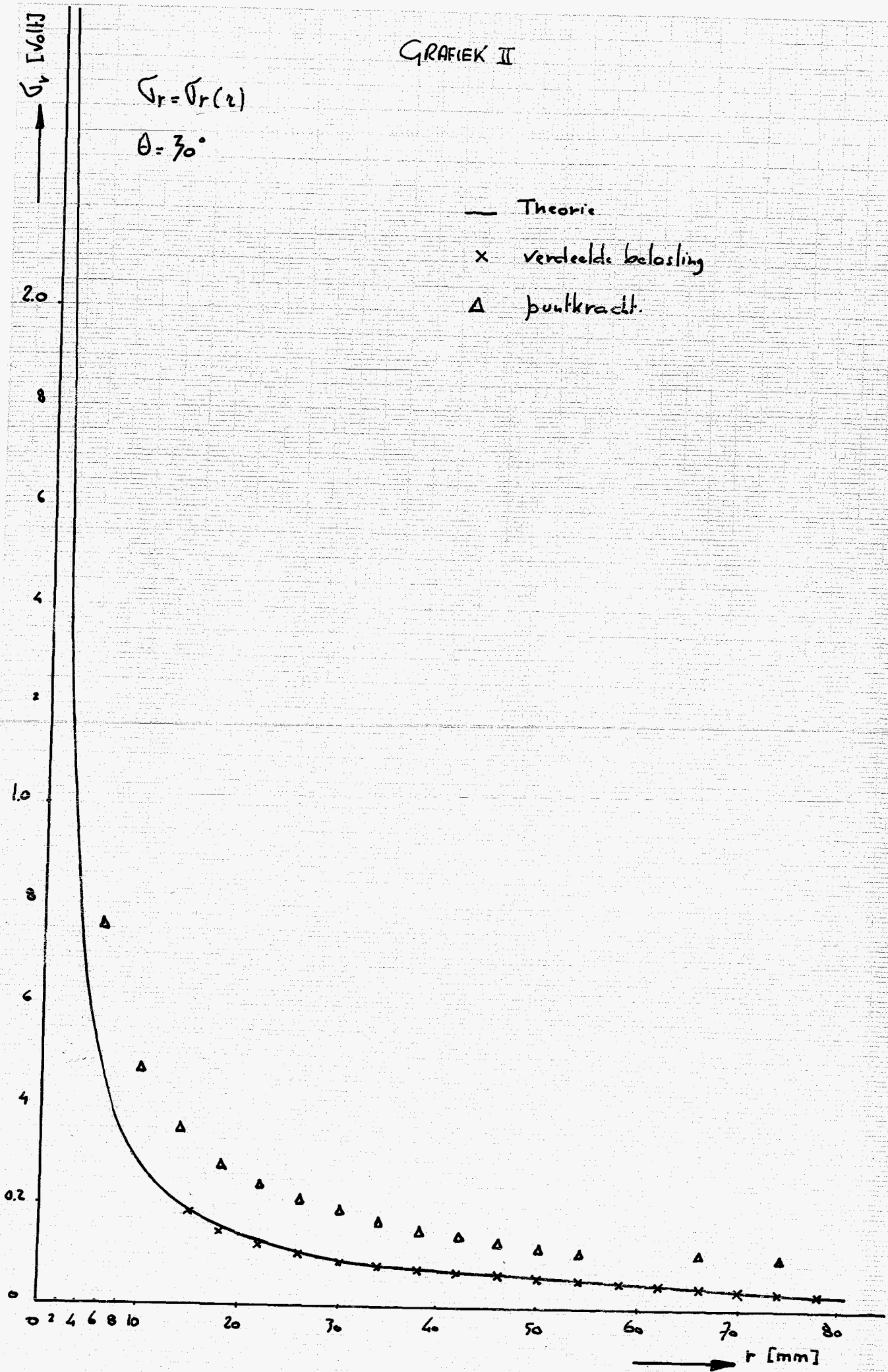
50

60

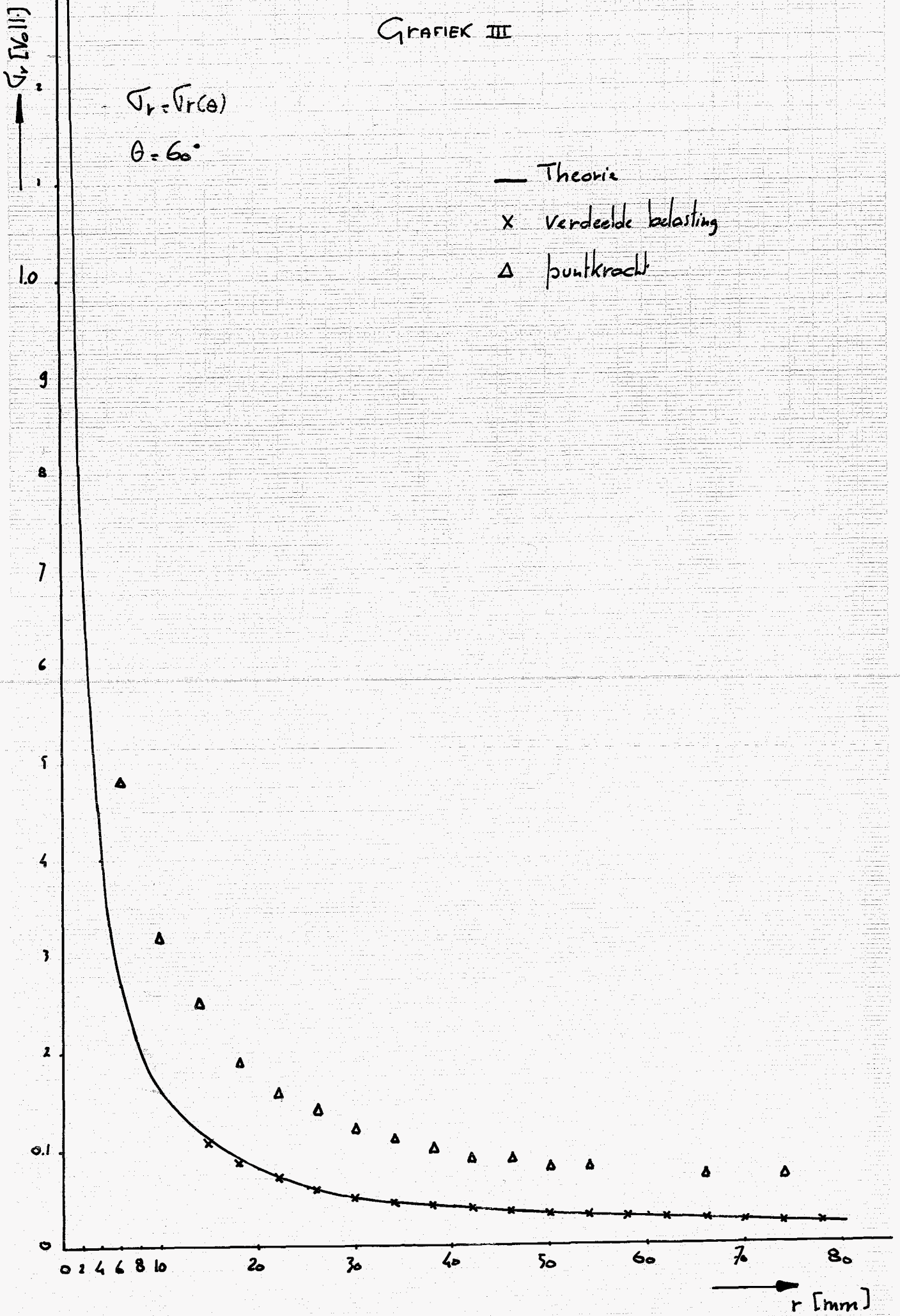
70

80

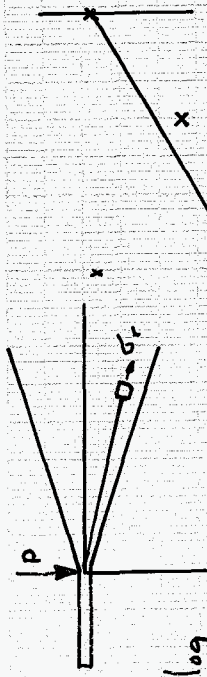
r [mm]



GRAFIEK III



GRAFIEK IV

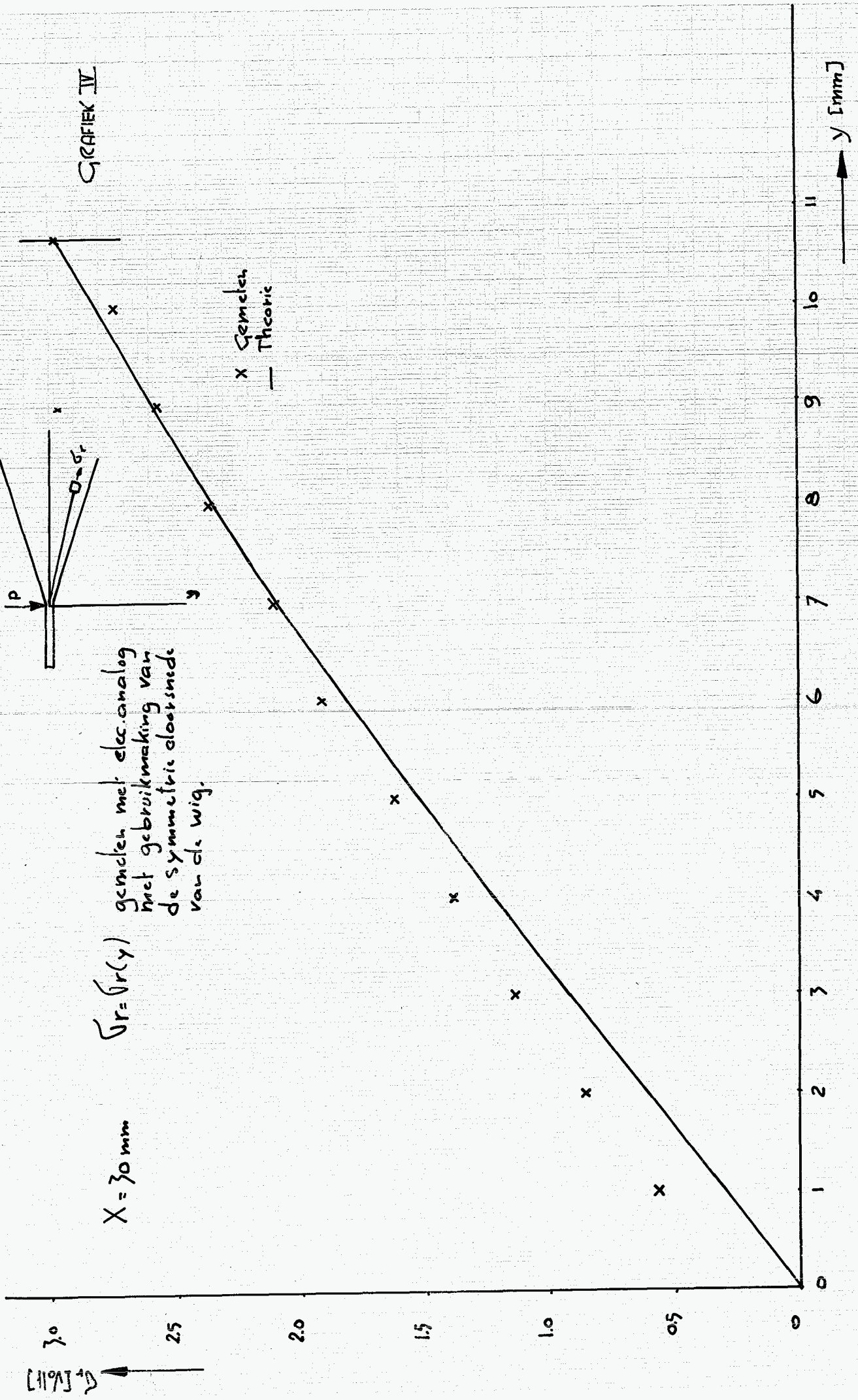


gemeten met elec. analog
met gebruikmaking van
de symmetrie doorsnede
van de wig.

$$v_r = v_r(y)$$

X = 30 mm

x Gemeten
— Theorie



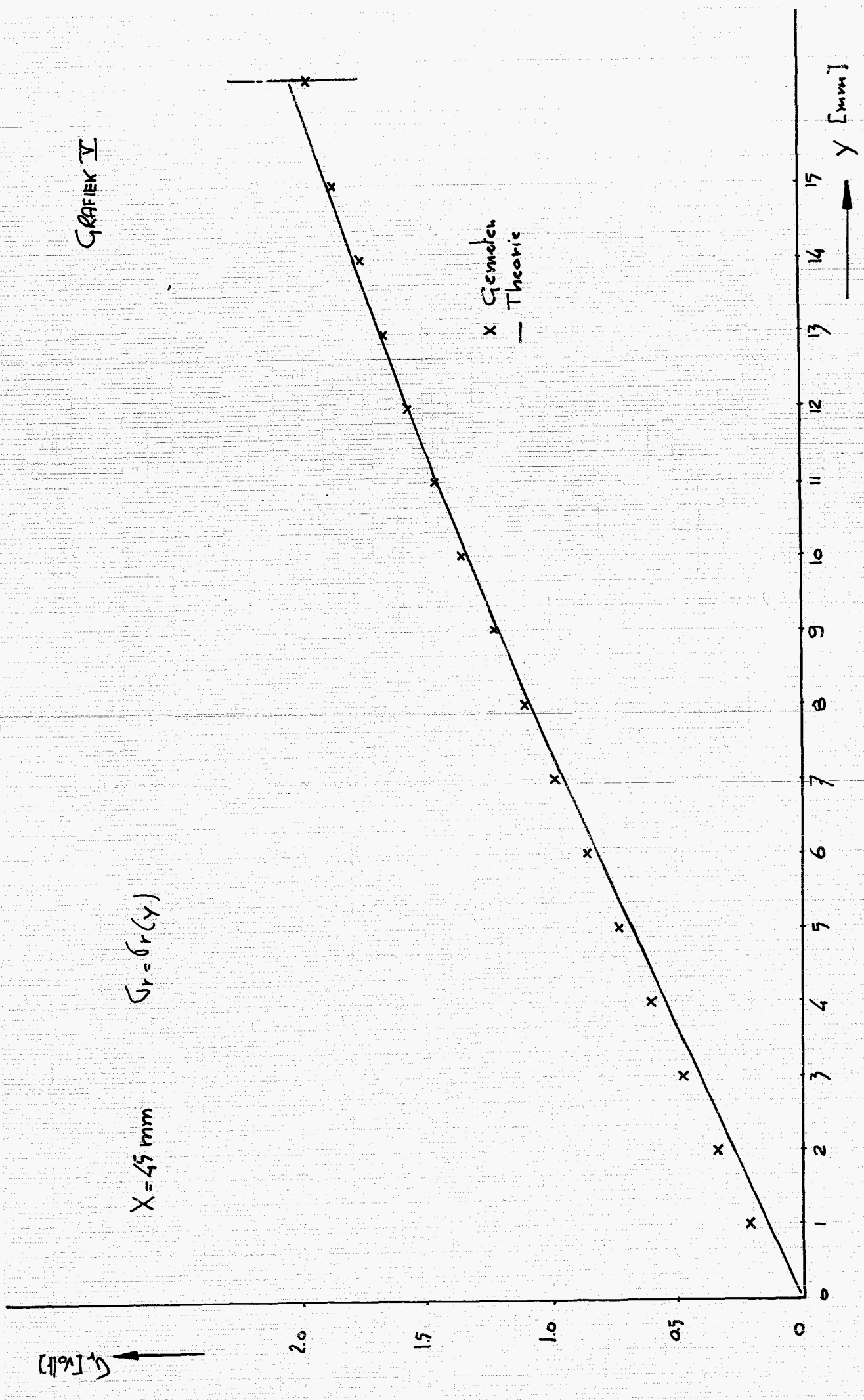
GRAFIEK V

$$\sigma_r = \sigma_r(y)$$

$$X = 45 \text{ mm}$$

σ_r [kN/mm²]

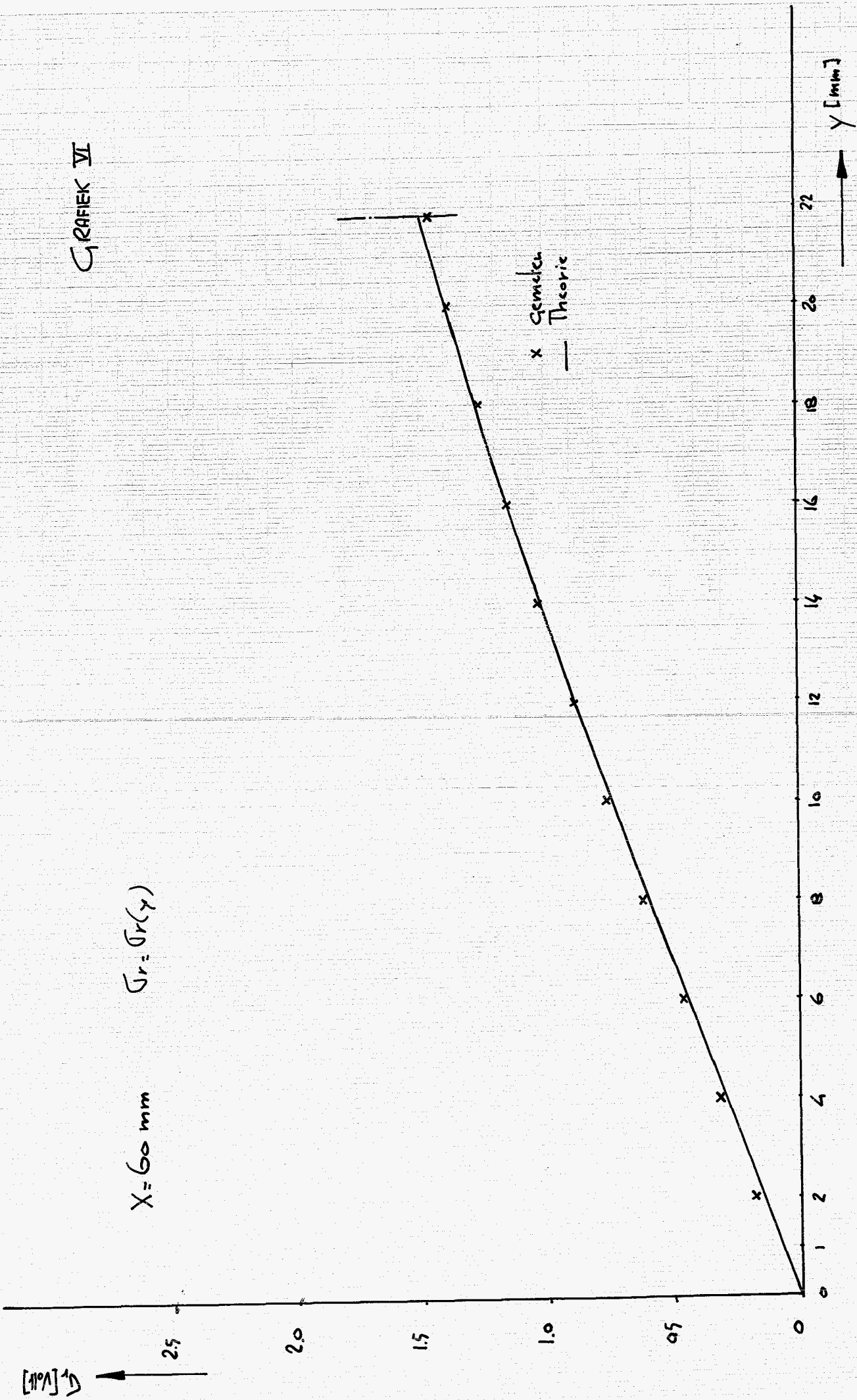
y [mm]



x Gemeten
— Theorie

GRAFİK VI

$X = 60 \text{ mm}$
 $\sigma_r = \sigma_r(y)$



GRAFIK VII

$X = 120 \text{ mm}$. $\sigma_r = \sigma_r(y)$

σ_r [MPa]

2.0

1.5

1.0

0.5

0

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x Gemessen
— Theorie

44

60

76

92

108

124

140

156

172

188

204

220

236

y [mm]

→