

179

archief

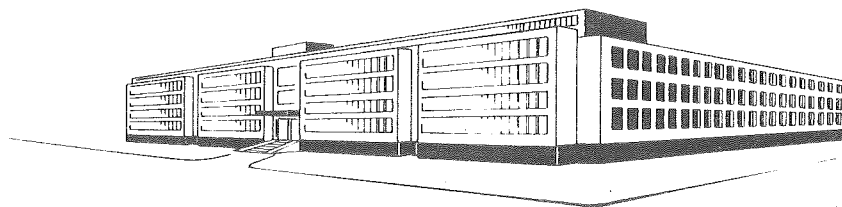
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

NIVEAU-METING IN EEN GLASOVEN

AFSTUDEERVERSLAG

W.H. VAN HOUWELINGEN

januari 1965



Laboratorium voor Technische Natuurkunde
LORENTZWEG
DELFT

NIVEAU - METING IN EEN GLASOVEN

Laboratorium voor Fysische Technologie

Afstudeerverslag

W.H.van Houwelingen (N)

januari 1965

Samenvatting

In dit verslag wordt de bouw beschreven van een smeltoven voor glas. De oven bestaat uit een binnenvoering van zirkoonoxide, een tussenlaag van silimaniet en een isolatielaag van chamottestenen. De oven wordt gestookt d.m.v. SiC-staven. De temperatuur wordt geregeld door een galvanometer met valbeugelmechanisme.

Deze oven dient om de ontworpen niveau-meters te testen. Met de bouw is de nodige ervaring opgedaan om de later te bouwen spinoven beter te kunnen dimensioneren. In de oven kunnen bovendien de stofconstanten van het glas worden bepaald.

I Het ontwerp en de constructie van een niveau-meter die werkt op het principe van de elektrische geleiding wordt besproken. Van deze meter is een model gemaakt waarmee de statische afwijkingen voor vloeistoffen met verschillende geleidbaarheid zijn bepaald. Eveneens zijn frequentie-responsie-proeven genomen met een modelvloeistof van het glas (stroop), waarvan de viscositeit door verdunning in drie stappen verlaagd is met een factor 70.

De statische afwijkingen in het glas zijn voor een gering bereik gemeten. De constructie van zulk een meter is nog niet geheel gevonden; het prototype is gebroken.

II Er is eveneens een niveau-meter ontworpen en gebouwd, die bestaat uit een capacitieve taster die d.m.v. een servomotor op een constante hoogte boven het glas wordt gehouden. Bij modelproeven in een 0,1 N KCl-oplossing bleek het toerental van de servomotor de frequentie-karakteristiek te bepalen.

Deze meter kon niet bij hoge temperatuur worden toegepast omdat de keramische materialen hun isolerende eigenschappen grotendeels verloren.

Door vervolgens de weerstand te meten tussen twee uitstekende platina draadjes van de taster, kon deze toch op een bepaalde hoogte boven het glasniveau worden gehouden. In het temperatuur traject van 1200 tot 1350 °C zijn de afwijkingen bepaald. Zij bleken maximaal 1,2 mm te zijn.

voet die in smelt
Van de ontworpen meters blijkt de taster die gestuurd wordt door de weerstand die gemeten wordt tussen twee uitstekende platinadraadjes het beste te voldoen. De goede werking van deze meter kan gemakkelijk worden gecontroleerd. De toegepaste meting kan nog vereenvoudigd en minder afhankelijk van de temperatuur gemaakt worden.

Indien het lukt een goede keramische houder te maken voor de "niveau-meter- m.b.v. geleiding " is deze meter goed bruikbaar voor relatieve metingen in een glasoven.

In de discussie wordt buiten de bespreking van de ontworpen niveaumeters, gewezen op het nut van de toepassing van de stampmassa Plitab-Ramix bij experimenten bij hoge temperatuur.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Inhoudsopgave	3
Lijst van gebruikte symbolen	4
1. Inleiding	5
2. De bouw van de oven	6
2.1. Doel en bestemming	6
2.2. Keuze van de materialen	
2.2.1. Keuze van de verhittingselementen	6
2.2.2. Keuze van de steensoorten	7
2.3. De constructie van de oven	7
2.4. Verwarming en regeling van de oven	8
3. Meten van het niveau in een glasoven door middel van geleidbaarheid	11
3.1. Principe van de meetmethode	11
3.2. Uitvoering van de niveaumeter	11
3.3. De elektrische uitvoering	
3.3.1. Principe van de zelf-compenserende brugmeting	13
3.3.2. Schema en bedrading van de elektrische uitvoering van de niveaumeter	14
3.4. Modelproeven	
3.4.1. Statistische afwijkingen	16
3.4.2. Dynamische afwijkingen	18
3.5. Bepaling van de statische afwijkingen in glas	20
4. Meten van het glasniveau d.m.v. een servo-gestuurde capacitieve taster	23
4.1. Principe van de meetmethode	23
4.2. Uitvoering van de taster	23
4.3. Elektrische meting	
4.3.1. Principe van de meting	24
4.3.2. Schema van de condensatormmeetbrug	25
4.4. Modelproeven	26
4.5. Metingen in de glasoven	27
5. Discussie en aanbevelingen	30
Figuren	33
Tabellen	49

Lijst van gebruikte symbolen

Symbol	Omschrijving	Dimensie
A	amplitude sinusgenerator	mm
a	uitslag Brown-recorder <i>uitslag</i>	-
D	diameter	mm
h	niveauihoogte	mm
h ₀	minimum te meten niveau	mm
g	versnelling t.g.v. de zwaartekracht	m/sec ²
l	hart afstand	mm
q = h/h ₀	dimensieloze niveau-hoogte	-
R	weerstand	Ω
r	straal	m
T ₀	omgevingstemperatuur	°C
T ₁	oventemperatuur	°C
α	warmteoverdrachtscoëfficiënt	W/m ² °C
η	dynamische viscositeit	N sec/m ²
λ	warmte geleidingscoëfficiënt	W/m °C
ρ	dichtheid	kg/m ³
σ	geleidbaarheid	mho/m
ω	cirkelfrequentie	1/sec
Φ_w	warmtestroom	W

1. Inleiding

Voor het starten van een onderzoek naar de vorming van een glasdraad bij het uitstromen uit een spinopening, zijn enkele ontwerpen gemaakt van apparaten en meters die voor dit onderzoek noodzakelijk zijn.

Voor het smelten van het glas is een oven ontworpen, gebouwd en beproefd. Deze oven kan gebruikt worden voor het bepalen van de stof-constanten van vloeibaar glas.

De hoeveelheid glas die door een spinopening stroomt, wordt bepaald door de diameter van de spinopening, de viscositeit van het glas, de "hydrostatische druk" van het glas, en in geringere mate door de treksnelheid. Voor het onderzoek van de stroming door de spinopening is het noodzakelijk dat het glasniveau nauwkeurig bepaald kan worden. Er zijn een tweetal ontwerpen gemaakt van glasniveauometers. De niveauometers zijn vervaardigd uit keramisch materiaal en platina en in de smeltoven beproefd.

In dit verslag wordt de constructie van de smeltoven en de glasniveauometers uiteengezet.

2 De bouw van de oven

2.1. Doel en bestemming

De oven is gebouwd met een tweeledig doel. In de eerste plaats om de stofconstanten van het glas te kunnen bepalen en ten tweede om met de bouw ervaringen op te doen teneinde de later te bouwen spinoven beter te kunnen dimensioneren. In deze oven zijn ook de twee ontworpen niveaumeters getest.

De eisen die aan de oven gesteld zijn luiden:

- 1°. De oven moet bestand zijn tegen gesmolten E-glas.
- 2°. De oven moet een temperatuur kunnen bereiken van 1350°C.
- 3°. De oven moet van boven toegankelijk zijn.
- 4°. In verband met de veiligheid dient de oven electrisch gestookt te worden.

2.2. Keuze van de materialen.

2.2.1. Keuze van de verhittingselementen.

De oven zou gestookt kunnen worden d.m.v. draadverwarming of staafverwarming. Bij draadverwarming wordt een metaaldraad om een metalen of keramisch buis aangebracht. Deze metaaldraad dient dan echter tegen oxidatie beschermd te worden door deze te omgeven met een inert gas. Omdat dit laatste tot ingewikkelde constructies leidt is gekozen voor staafverwarming.

In de handel zijn twee soorten verhittingssele-
menten die voor hoge temperatuur toegepast kunnen worden,
verkrijgbaar. Dit zijn gesinterd WOC en gesinterd SiC .

Het gesinterd WOC is mechanisch niet voldoende sterk om
horizontaal opgesteld te kunnen worden.

Voor het construeren van een smeltoven is dit een groot na-
deel. Daarom is gekozen voor gesinterd silicium-carbide.

2.2.2. Keuze van de steensoorten:

Het te smelten E-glas is bijzonder corrosief.
Alleen chroomoxide en zirkoonoxide zijn redelijk bestand.
Er kon beschikt worden over zirkoonoxide-stenen ter beschik-
king gesteld door N.V. Silenka Hoogezand. Bij deze oven is
een binnenvoering aangebracht van zirkoonoxide.

De gegoten zirkoonoxidestenen zijn echter niet
bestand tegen thermische schok en zijn ook mechanisch niet
sterk. Daarom is de oven opgebouwd uit drie lagen:

- 1°. een binnenvoering van zirkoonoxide,
- 2°. een mechanisch sterke laag van silimaniet,
- 3°. een isolatielaag van chamotte-stenen.

De gegoten zirkoonoxide-stenen waren voorhanden
in het formaat 75 x 115 x 230 mm. De silimanietstenen en de
isolatiestenen in het " waal-formaat" (53 x 108 x 217 mm).

2.3. De constructie van de oven

Het metselwerk van de oven wordt gesteund door
een stalen draagte. Dit bestaat uit een stalen bodemplaat
van 10 mm dik van 650 x 600 mm.

A-draad
verhitting-
nicheldraad
(E-waarde
in glas)

Op de vier hoekpunten zijn uitsparingen gemaakt voor de bevestiging van de naar boven doorlopende poten van hoekijzer 50. Aan de bovenzijde zijn deze poten verbonden door een raam dat eveneens vervaardigd is uit hoekijzer 50. De hoekijzers zijn zodanig aan de bovenplaat en aan het raamwerk gelast, dat vanaf de zijkant de beschermplaten verzonken kunnen worden ingeschoven.

Een langsdoorsnede over de oven is in figuur 1 gegeven. Op deze tekening is alleen de doorsnijding van de zirkoonoxide-en silimaniet-stenen gearceerd.

Het metselplan is weergegeven in figuur 2. De nummers bij de lagen-tekeningen slaan op de doorsnijding zoals aangegeven in figuur: 1.

Op de bodemplaat is een 10 mm dikke sindanio-plaat gelegd en de stalen zijplaten zijn van het metselwerk gescheiden door 5 mm dikke asbest platen. Het metselwerk zelf is los gestapeld. Dit is gedaan om later reparaties gemakkelijker aan te kunnen brengen en om de oven de gelegenheid te geven zich bij het opwarmen en afkoelen te "zetten". Alleen de voering van zirkoonoxide is gemetseld om te voorkomen dat het glas het silimaniet aantast.

2.4. Verwarming en regeling van de oven

Voor het bepalen van het aantal benodigde verwarmingsstaven moet een schatting gemaakt worden van het warmteverlies. Daartoe stileren we de oven tot een bolvormige werkruimte met twee isolerende bolschillen van silimaniet respectievelijk isolatiesteen (de ruimte die ingenomen wordt

door het zirkoonoxide wordt tot de werkruimte gerekend omdat de warmtegeleidingscoëfficiënt van het zirkoonoxide reletief hoog is).

Figuur 3 geeft de dimensies van de gestileerde oven aan. Daarnaast staan de geschatte waarden van de warmtegeleidingscoëfficiënten van de isolatielagen.

λ_1 = warmtegeleidingscoëfficiënt
van silimaniet: 3 W/m °C,

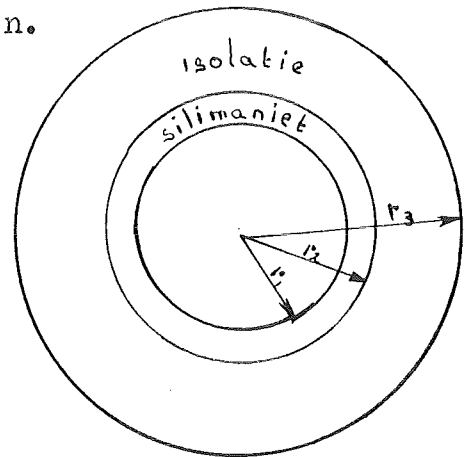
λ_2 = warmtegeleidingscoëfficiënt
van de isolatiesteen: 0,5 W/m °C,

α = warmteoverdrachtscoëfficiënt
aan de buitenzijde: 20 W/m² °C,

r_1 = straal werkruimte; 135 mm,

r_2 = binnenstraal van de isolatielaag: 190 mm

r_3 = buitenstraal van de isolatielaag: 310 mm



Figuur: 3

Berekenen we het warmteverlies bij 1300 °C, dan vinden

we :

$$\begin{aligned} \Phi_w &= \frac{(T_1 - T_0) \cdot 4 \cdot \pi}{\frac{1}{\lambda_1 r_1} - \frac{1}{\lambda_1 r_2} + \frac{1}{\lambda_2 r_2} - \frac{1}{\lambda_2 r_3} + \frac{1}{\alpha r_3^2}} \\ &= \frac{1300 \cdot 4 \cdot \pi}{\frac{1}{3 \cdot 0,135} - \frac{1}{3 \cdot 0,190} + \frac{1}{0,5 \cdot 0,190} - \frac{1}{0,5 \cdot 0,310} + \frac{1}{20 \cdot 0,310^2}} \\ &= \underline{\underline{3,5 \text{ kW.}}} \end{aligned}$$

Per verhittingsselement kunnen we 600 W toelaten, zodat 6 verhittingsstaven (10/100/540X/2,25) ^x) nodig zijn. In de oven zijn de elementen geplaatst in twee secties van drie.

^x) Leverancier: Firma Romal te Utrecht.

De weerstand van elk element bedraagt ca 2,5 ohm, zodat voor elk element maximaal 40 volt nodig is. De buitenste elementen van de twee secties zijn opvolgend in serie geschakeld. De middelste elementen zijn eveneens in seriegeschakeld; Door deze elementen aan en uit te schakelen wordt de oven geregeld.

De temperatuur wordt met een Pt+13%Rh - Pt -thermopoppel gemeten. Het thermokoppel wordt beschermd door een huls van aluminiumoxide. De thermospanning wordt gemeten met een galvanometer met valbeugelmecanisme. Deze aan-uit-regelaar schakelt de stroom door de middelsteverhittingsstaven al dan niet uit naar gelang de temperatuur hoger of lager is dan de ingestelde waarde. In figuur 4 is de schakeling van de verwarming en de regeling van de oven schematisch weergegeven.

15 A weerstand
212,5 Ohm
40 V → 8 A

3. Metten van het niveau in een glasoven d.m.v. geleidbaarheid.

3.1. Principe van de meetmethode

Het niveau in een chemische reactor of opslagtank kan gemeten worden door de weerstand te bepalen tussen twee geleiders die geïsoleerd van elkaar verticaal in de tank zijn aangebracht. De weerstand is dan omgekeerd evenredig met de hoogte van het niveau. De elektrische geleidbaarheid van het glas is echter zeer afhankelijk van de temperatuur en samenstelling van het glas. Daarom dient voor veranderingen van de geleidbaarheid van het glas gecompenseerd te worden.

De ontworpen niveaumeter bestaat uit drie draadjes, waarvan er twee tot op de bodem van de oven steken en één draadje dat evenwijdig met de beide andere draden is gemonteerd, maar slechts tot een bepaalde hoogte in de oven reikt. De verhouding van de weerstand gemeten tussen de twee even lange draden wordt nu vergeleken met de weerstand gemeten tussen de korte draad en één van de lange draden.

De verhouding van deze twee grootheden is een maat voor het glasniveau.

3.2. Uitvoering van de niveaumeter

Voordat de eigelijke meter uit keramisch materiaal is gemaakt is een model van de niveaumeter vervaardigd uit PVC en zilverdraad.

Met dit model zijn ook de modelproeven uitgevoerd. De constructie van dit model is in figuur 5 weergegeven. De meter werkt alleen als de korte draad contact maakt met de vloeistof. Het minimum niveau dat gemeten kan worden is 45 mm en het bereik 80 mm.

Figuur 6 is de tekening van de werkelijke glas-hoogte meter. Hij bestaat uit een houder van gesinterd Al_2O_3 waarin op dezelfde wijze als in het model, 3 platina draadjes zijn gemonteerd. De geometrie van deze meter is vrijwel dezelfde als die van de model-hoogte meter.

De keramische houder is als volgt vervaardigd:
De stampmassa Plitab Ramix*) die bestaat uit fijne korreltjes aluminium-oxide en fosforzuur - is door kloppen en schudden en aanstampen in een houten contramal aangebracht. In deze contramal waren de platina draadjes reeds in-gelijmd. Om het water zoveel mogelijk te verdrijven is het geheel in een droogstof geplaatst en gedurende 3 uur op $110^{\circ}C$ gehouden. Vervolgens is de gedroogde stamp-massa, die nog weinig samenhang vertoonde, met de houten contramal in een oven geplaatst om de aluminium-oxidekorreltjes bij een temperatuur van $900^{\circ}C$ aan elkaar te sinteren. Het hout brandde hierbij weg.

Na afkoeling tot kamertemperatuur bleken de platina draadjes gerekristalliseerd te zijn. Sommige stukken van de draad waren als gevolg hiervan geheel verpulverd. De oorzaak hiervan moet misschien gezocht worden in het feit dat platina een katalysator is voor verbrandingsreacties; waarschijnlijk is het hout plotseling ontvlamd wat tot een plaatselijk hoge temperatuur van de platina draad heeft geleid, zodat rekristallisatie van het platina op kon treden.

*) leverancier firma Plibrico Rotterdam.

Hierna zijn de resten van de platina draadjes uit het aluminium oxide geslepen en vervangen door nieuwe platina draadjes. De uitgeslepen delen Al_2O_3 zijn weer gestopt met Plitab Ramix en opnieuw volgens dezelfde procedure gesinterd doch zonder houten contramal. De platina draadjes waren nu geheel gaaf.

Aan de platina draadjes van 1 mm zijn dunnere draadjes van 0,25 mm ϕ van de legering Pt + 10% Rh gelast. Deze aansluitdraden zijn van elkaar geïsoleerd d.m.v. Al_2O_3 pijpjes die omvat worden door een Al_2O_3 -buis. Er is getracht de niveaumeter aan de Al_2O_3 - buis te sinteren met behulp van Plitab Ramix. Dit is niet gelukt omdat de hechting tussen de Al_2O_3 -buis en de niveaumeter enerzijds en nieuw aangebrachte Plitab Ramix anderzijds onvoldoende was.

3.3. De elektrische uitvoering.

3.3.1. Principe van de zelf compenserende brug meting.

De verhouding van de weerstand gemeten tussen de twee even lange draden (R_1) en gemeten tussen de lange en korte draad (R_2) is een maat voor het niveau. Deze twee weerstanden zijn opgenomen in een brug. De twee andere brug weerstanden worden gevormd door een potentiometer van 250 k Ω . Omdat de verhouding $R_1/(R_1 + R_2)$ niet evenredig is met de hoogte van het niveau, zijn op de potentiometer 20 aftak punten gemaakt, die worden verbonden met de sleepcontacten van 22 potentiometers van 50 k Ω (n.l. 20 voor de aftakpunten en 2 voor de vaste contacten van de potentiometer).

Met behulp van deze potentiometers is het mogelijk een zodanig functioneel verband tussen hoekverdraaiing van de potentiometers en de weerstand in te stellen dat de hoekverdraaiing van de potentiometers evenredig is met het vloeistofniveau. Een servomotor brengt de brug in evenwicht.

Figuur 7 geeft schematisch de meting aan.

De brug wordt gevoed door een vermogensversterker die gestuurd wordt door een toongenerator (frequentie 1-10 k Hz en amplitude 10 Volt). Een differentiaal-versterker zet de verschilspanning van de brug om in een signaal t.o.v. aarde; dit signaal wordt fase-gevoelig gelijk-gericht door een ringmodulator die via een versterker en symmetreerschakeling door de voedingspanning van de brug wordt gestuurd. De pulserende gelijkspanning wordt afgevlakt en toegevoerd aan een servoversterker, die de servomotor rechts of links om laat draaien naar gelang de polariteit van het ingangssignaal van de servoversterker positief of negatief is.

Het sleepcontact van de potentiometer P₁ is mechanisch verbonden met het sleepcontact van potentiometer P₂. De stand van dit sleepcontact kan nu met een normale zelfinstellende brugmeting omgezet worden in een stand van het sleepcontact van potentiometer P₃, die zich in een Brown stripchart-recorder bevindt. Deze recorder registreert nu het niveau van het glas.

3.3.2. Schema en bedrading van de elektrische uitvoering van de niveau-meter.

Figuur 8 is het schema van de vermogensversterker, de differentiaal^eversterker, de symmetreerschakeling en de ringmodulator die in het blokschema van figuur 7 gezamenlijk zijn onlijnd.

De vermogensversterker wordt gevormd door de twee parallel geschakelde delen van de dubbeltriode ECC 82. De uitgangstrafo wordt belast door de meetbrug en twee parallel geschakelde weerstanden van 22 ohm. Deze weerstanden zijn aangebracht om de spanning over de brug minder afhankelijk te maken van de geleidbaarheid van de vloeistof waarvan het niveau gemeten moet worden.

Voor het sturen van de ringmodulator is een hogere spanning nodig. Daarom wordt de voedingsspanning van de brug via een weerstandgekoppelde versterker toegevoerd aan de symmetreerschakeling. De symmetreerschakeling dient om de ringmodulator symmetrisch t.o.v. aardpotentiaal te sturen. De symmetreringsring is verkregen door zowel in anode- als in kathode-leiding een niet-ontkoppelde weerstand van 22 k Ω op te nemen.

De tweetraps differentiaalversterker wordt gevoed door twee dubbel triodes (ECC 83), die als weerstandgekoppelde versterker met gemeenschappelijke kathodeleiding zijn geschakeld. De niet ont-koppelde gemeenschappelijke kathodeweerstand van 100 k Ω zorgt dat de tegenkoppeling van de componenten van de twee spanningen die in fase zijn, groot is.

De uitgangsspanning van de differentiaalversterker wordt toegevoerd aan de ringmodulator die parallel met een weerstand van 100 k Ω is geschakeld. Hierdoor wordt de uitgangsspanning van de differentiaalversterker fase-gevoelig gelijk-gericht. De serie-schakeling van de weerstand van 100 k Ω en de condensator van 68 nF zorgt voor de nodige afvlakking voor toevoer aan de servoversterker.

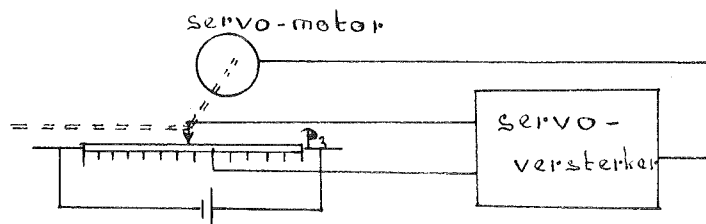
Figuur 9 geeft de bedrading voor de aansluiting van de Brown.servoversterker en servomotor. Deze schakeling met plugaansluitingen dient om de servoversterker en de servomotors uit te kunnen wisselen en om de versterker te voeden met de nodige wisselspanning van 115 volt. Tussen de as van de servomotor en de gemeenschappelijke as van de potentiometers P1 en P2 is een vertraging aangebracht van 5 : 1 omdat het vermogen van de servomotor te gering bleek om de assen direct te koppelen.

3.4. Modelproeven

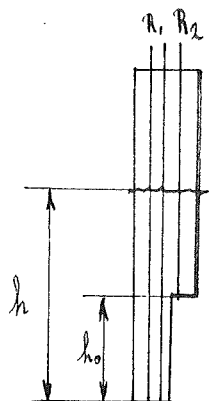
3.4.1. Statistische afwijkingen.

Om na te gaan hoe groot de statische en dynamische afwijkingen van de ontworpen niveau-meter zijn, zijn een aantal proeven met het model van PVC en zilverdraad genomen.

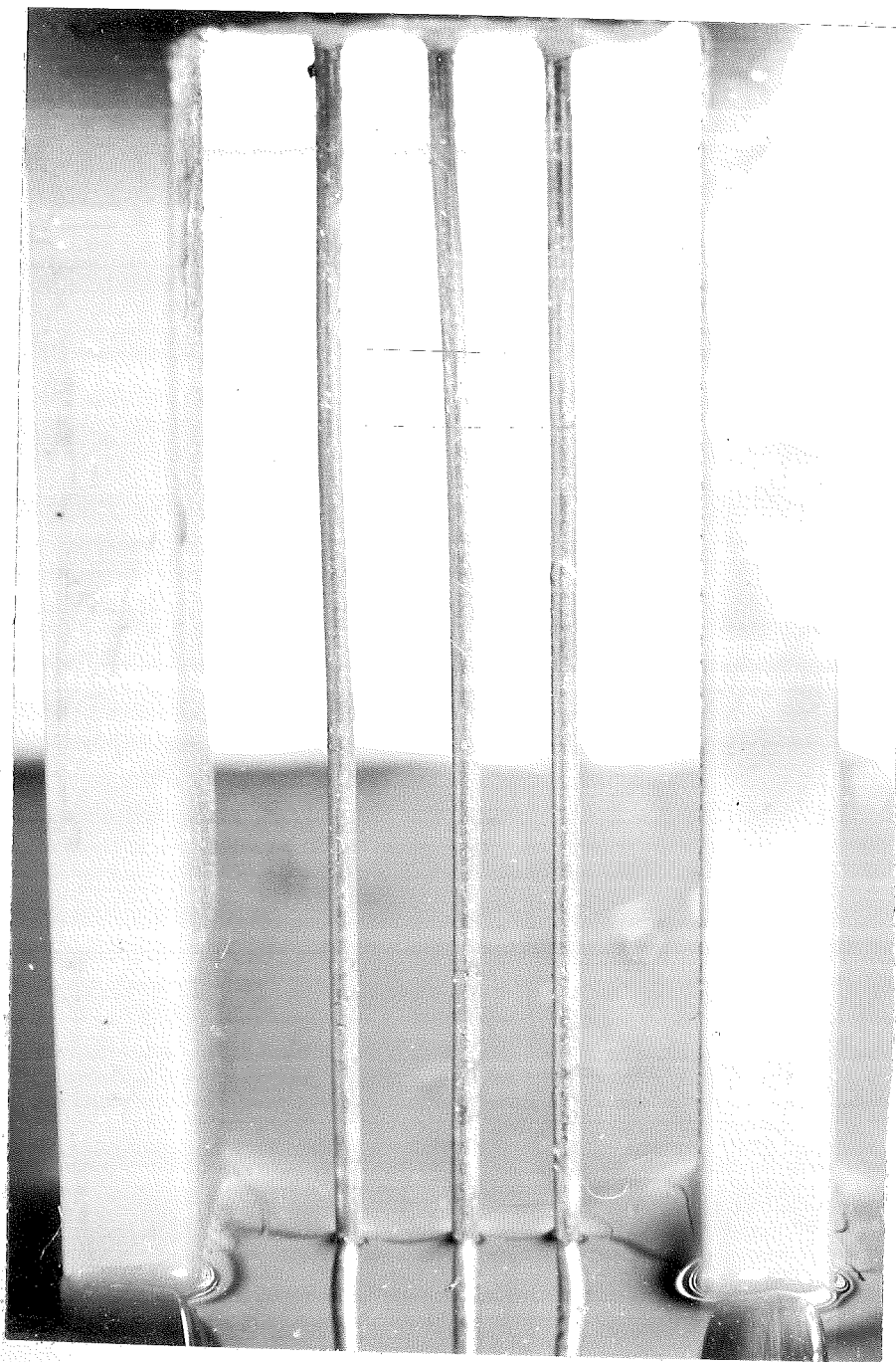
Allereerst is bepaald op welke punten de 22 aansluitingen van potentiometer P_1 zijn gemaakt. Dit is op eenvoudige wijze bepaald door de aansluiting van het betreffende aansluitpunt en van het sleepcontact van de potentiometer direct naar de servoversterker te voeren en een gelijkspanning van 1,5 volt over de potentiometer aan te brengen. De plaats van de aansluiting wordt nu op de Brown recorder aangegeven.



De plaats van de aftakpunten (a) uitgedrukt in procenten van de maximale uitslag van de Brown recorder is weergegeven in de twee eerste kolommen van tabel 1.



Noemen we het minimum-niveau dat gemeten kan worden h_0 , het te meten niveau h en definiëren we $q = h/h_0$, dan kunnen we berekenen dat $R_1 = C/h$ en $R_2 = C/(h - h_0)$, waarin C een constante is die afhangt van de geleidbaarheid



Figur 11

bischoff

van de vloeistof σ van de hartafstand der draadjes l en van de diameter der draadjes D volgens de formule C

$$C = \ln \left(\frac{l}{4D} + \sqrt{\left(\frac{l}{4D} \right)^2 - 1} \right) / \sigma$$

Gaan we er van uit dat de afstanden van het middelste draadje tot de twee buitenste draadjes even groot zijn, dan kunnen we berekenen:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1/h}{1/h + 1/(h-h_0)} = \frac{h-h_0}{2h-h_0} = \frac{q-1}{2q-1}$$

Het bereik van de meter is 80 mm. Laten we nu 1 schaaldeel van de Brownrecorder overeenkomen met 1 mm niveauverhoging (dit betekent $\frac{a+40}{40}=q$) dan wordt de verhouding

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{q-1}{2q-1} = \frac{a/40}{2a/40+1} = \frac{a}{2a+40}$$

Theoretisch moeten de potentiometers van het netwerk op deze waarden worden ingesteld. Deze waarden zijn berekend en staan aangegeven in de 3^e kolom van tabel 1 uitgedrukt in procenten van de maximale weerstand.

De geleidbaarheid van het E-glas varieert van 0,13 mho/m bij 1065°C tot 3,6 mho/m bij 1315°C. De niveaumeter is daarom geijkt in een perspex-bakje van 150 x 150 x 150 mm waarin zich een 0,01 N sterke KCl-oplossing bevond (geleidbaarheid 0,1 mho/m). De potentiometers moesten bijgesteld worden om de meter juist aan te doen wijzen. De geijkte instelling is weergegeven in kolom 4 van tabel 1. In figuur 10 zijn de geijkte en theoretische waarden van de spanningen op de aftakpunten grafisch uitgezet. De afwijking van het theoretisch verloop is een gevolg van het feit dat de zilverdraadjes niet geheel parallel lopen, hetgeen op de foto in figuur 11 duidelijk te zien is.

De meter met de geijkte instelling van de potentio-
meters is daarna getest voor waterige vloeistoffen met ver-
schillende geleidbaarheid. De resultaten hiervan zijn in
tabel: 2 weergegeven en in figuur 12 grafisch uitgezet. Uit
de tabel blijkt dat de meter in een groot gebied onafhankelijk
is van de geleidbaarheid van de vloeistof.

De grote afwijkingen bij een niveau hoger dan 80 mm
bij relatief hoge geleidbaarheden is een gevolg van de ver-
hoging van de capaciteit. Deze verhoging is daarom zo groot
omdat de relatieve diëlectrische constante van water zo groot
is. Waarschijnlijk treden deze afwijkingen bij glas niet op.

3.4.2. Dynamische afwijkingen

Het vloeibare glas is zelfs bij hoge temperatuur nog
zeer viskeus. Om na te gaan hoe snel de meter variaties in
het niveau kan volgen, zijn een aantal frequentie-responsies
opgenomen bij verschillende viscositeit van de vloeistof.

Bij deze frequentie-responsie-proeven is als vloeistof
rietsuikerstroop genomen. De viscositeit van de stroop is
in drie stappen door verdunning met water verlaagd met een
factor 70. De dynamische viscositeit van de stroop is gemeten
met een rotatieviscosiometer. De dichtheid van de stroop is be-
paald door weging van de verdrongen hoeveelheid uit een piston-
buret.

De viscositeit en dichtheid van de vier charges stroop
is weergegeven in tabel: 3. De viscositeit van de stroop bij de
temperatuur waarbij de frequentieresponsie-proeven zijn uit-
gevoerd is berekend door interpolatie van de waarden die in
deze tabel staan vermeld.

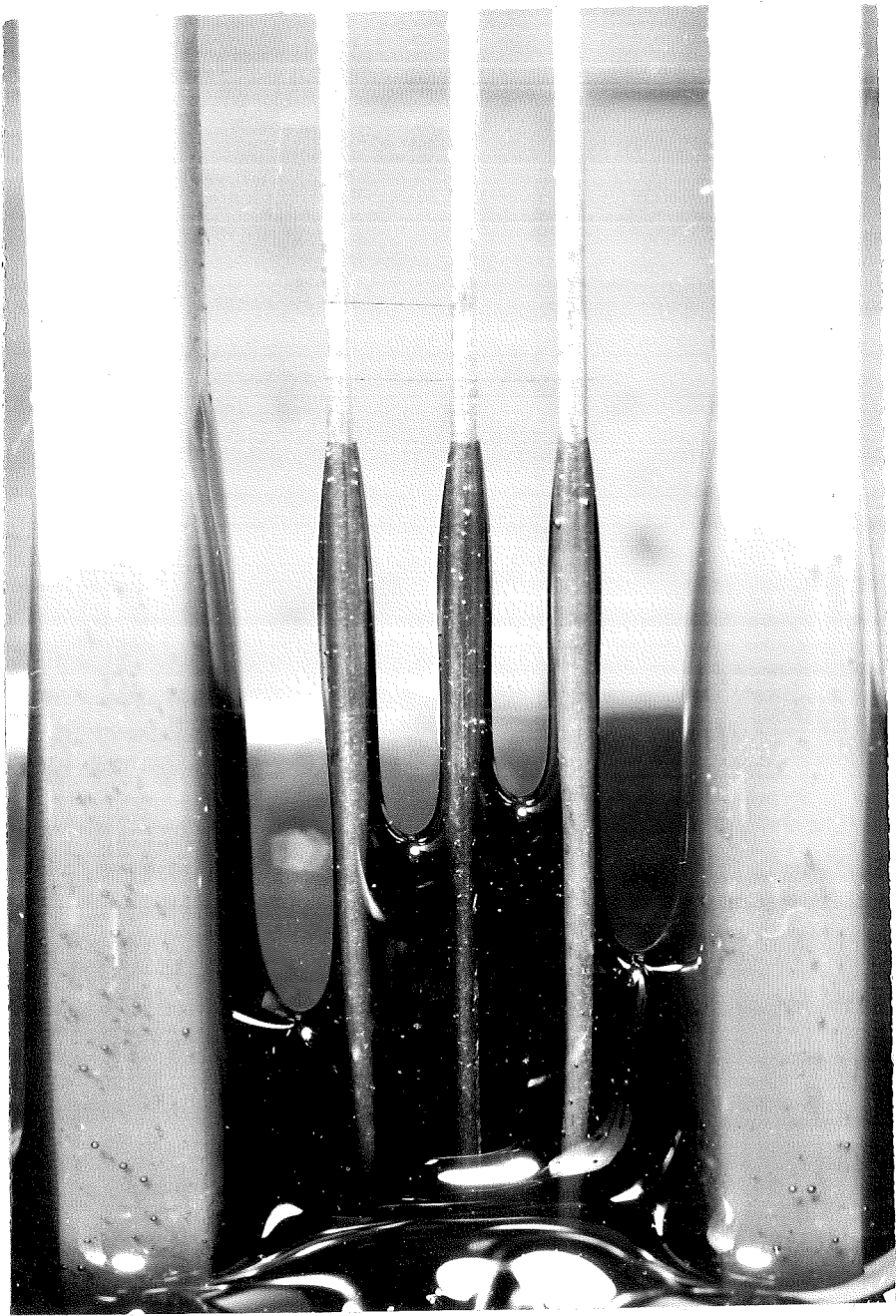


Figure 15

by Smith?

Bij de frequentie-responsie-proeven is niet het niveau maar de niveaumeter sinusvormig op en neer bewogen. De sinusgenerator kon op 10 snelheden worden ingesteld; de slag was eveneens instelbaar. Bij deze frequentie-responsie-proeven bedroeg de amplitude 8,5 mm. Er zijn ook enkele proeven genomen met een amplitude van 15 mm; deze vertoonden slechts weinig verschil met de experimenten met een amplitude van 8,5 mm. Op de as van de sinusgenerator was een nok aangebracht die bij nul-doorgangen een microswitch schakelde waardoor het sleep-contact van potentiometer P2 met één van beide vaste aansluitingen werd kortgesloten.

De resultaten van de frequentie-responsie-proeven zijn in de tabellen 4,5,7 en 8 weergegeven, en grafisch in de figuren 13 en 14 uitgezet.

De frequentie is in deze figuren uitgezet in de vorm $\frac{\omega \eta}{\zeta g}$ om de proeven met verschillende viscositeit met elkaar te kunnen vergelijken. Afgezien van de spreiding stemmen de proeven met verschillende viscositeit goed met elkaar overeen. De "breekfrequentie" is $\frac{\omega \eta}{\zeta g} = 1,5 \cdot 10^{-4}$ m. De afval is 4,5 dB per octaaf. De fasehoek is voor de op-en neergaande beweging niet gelijk. In figuur 14 is de faseverschuiving voor de opgaande beweging van de meter uitgezet. Voor de neergaande beweging is de faseverschuiving ongeveer 0,3 rad. kleiner. De viskeuze stroop stroomt sneller naar de draden van de geleidbaarheidsmeter toe, dan er van af. Dit laatste is op bijgaande foto van figuur 15 duidelijk te zien. De spreiding in de waarnemingen is zo groot omdat de stroop aan beide zijden van de middelste draad niet gelijk afstroomt.

Bij sommige metingen is ook bij frequenties die veel lager zijn dan de breekfrequentie een afval van 0,5 à 1,0 dB. Dit is geen dynamische maar een statische afwijking en wordt veroorzaakt door het versuikeren van de stroop om de zilverdraden.

De responsie op een afgaande en opgaande stap is verschillend; dit is een gevolg van het reeds eerder genoemde feit dat de stroop door de kapillaire krachten gemakkelijker toe dan afstroomt. Voor twee metingen zijn de waarden gegeven in tabel 6. Op de grafiek hiervan in figuur 16 is het verschil duidelijk te zien.

3.5. Bepaling van de statische afwijkingen in glas

De keramische meter is geijkt door het niveau te meten in een perspexbakje waarin zich een 0,1 N sterke KCl-oplossing bevond, en daarbij de potentiometers van het netwerk zo in te stellen dat de meter juist aanwijst. De potentiometers behoeften slechts in geringe mate bijgesteld te worden.

De meter is gemonteerd in de oven, waarna het glas is gesmolten. De meting in de smeltoven werd zeer gestoord door signalen van 50 Hz die vele malen groter waren dan de meetsignalen. Deze stoorsignalen werden veroorzaakt door de verhittingsstaven. Na uitschakeling van de spanning waren deze signalen niet meer aanwezig. Dankzij de ringmodulator kon bij temperaturen hoger dan 1200 °C toch gemeten worden. Bij temperaturen lager dan 1200 °C zijn de weerstanden R_1 en R_2 zo hoog, dat het stoorsignaal niet voldoende naar aard-potentiaal weg kan vloeien. De differentiaalversterker wordt dan overstuurd zodat de servomotor in de zelfcompenserende meetbrug niet stabiel gestuurd wordt.

Het niveau in de smeltoven is verhoogd door toevoeging van glas totdat de meter aanwees. De gemeten niveauhoogte is vergeleken met de werkelijke niveauhoogte die bepaald is door een taster op het glasoppervlak te laten zakken. Het niveau is daarna verhoogd in stappen door toevoeging van glazen knikers. Deze metingen zijn slechts uitgevoerd tot een waarde van $(h - h_0)$ van 8 mm.

De Al_2O_3 -beschermhuls van het thermokoppel raakte bij dit niveau juist het glas. Gedurende de daaropvolgende nacht is het Al_2O_3 gedeeltelijk opgelost in het glas waardoor het thermokoppel elektrisch contact maakte met het glas. Het stoorsignaal van 50 Hz werd daarbij op de thermospanning gesuperponeerd. Dit stoorsignaal was ongeveer 1000 x groter dan de thermospanning. De regelaar werkte daarna niet juist meer en deed de oven uitslaan.

Hierbij is het contact tussen de middelste draad en de aanstuiting verbroken. Bij een poging de gehele meter uit het glas te trekken zijn ook de andere draadjes stuk gegaan.

De metingen die verricht zijn bij 1250 °C, staan hieronder vermeld.

Stand recorder a in s.d.	niveauhoogte h in mm ($h'_0 = 45 \text{ mm}$) ^{x)}	$h - h_0$ in mm
3	46	1
6	49	4
11	53	8

Uit deze metingen blijkt duidelijk dat de meter te hoog aanwijst. Dit is waarschijnlijk een gevolg van het bestaan van een temperatuurgradient in het glasbad. Hiervoor pleit ook het feit dat de meter vrij snel terugloopt als de

^{x)} $h'_0 = h_0 + 5 \text{ mm}$ t.g.v. de dikte van de keramische houder

stroom door de verhittingsstaven wordt uitgeschakeld.

Gezien de ervaringen met de Al_2O_3 -beschermhuls van het thermokoppel is het waarschijnlijk dat ook de Al_2O_3 -houder van de meter gedeeltelijk is opgelost. De resten van de meter bevinden zich nog in de oven, omdat de niveau-meting is voortgezet met de capacitieve taster, zodat dit nog niet gecontroleerd kon worden.

4. Meten van het glasniveau d.m.v. een servo-gestuurde capacatieve taster.

4.1. Principe van de meetmethode

Het niveau in een glasoven zou gemeten kunnen worden door de capaciteit van de condensator die gevormd wordt door een metaalplaatje en het glasoppervlak te bepalen.

Bij de hierna te behandelen meetmethode wordt een keramische taster die aan de onderzijde voorzien is van een platinaplaatje door een servomotor op een constante hoogte boven het glas gehouden. De servomotor wordt gestuurd door het verschil-signaal van een condensator-brug, waarin ook de condensator die gevormd wordt door het platinaplaatje en het glasoppervlak is opgenomen.

Om de taster bij het in gebruik nemen op een juiste hoogte boven het glasoppervlak in te kunnen stellen, dient de taster ook twee uitstekende platina-draden te bevatten. Door de weerstand te meten tussen deze twee platina-draden kan gedetecteerd worden wanneer de taster het glasoppervlak tot een bepaalde afstand is genaderd.

4.2. Uitvoering van de taster

De keramische taster is uit de stampmassa Pli-tab-Ramix vervaardigd. Hij bestaat uit een 400 mm lange ronde staaf van 20 mm ϕ waarin zich in het hart een rond gat bevindt van 3 mm ϕ . Aan de onderzijde van de taster is een plaatje van 0,2 mm dik van Pt + 10% Rh aangebracht, dat met twee opgelaste draadjes van 0,5 mm in de stampmassa is verankerd.

De aansluiting met het platinaplaatje is gemaakt d.m.v. een 0,25 mm dik draadje van Pt + 10% Rh; dit draadje loopt door het centrale gat van de taster. In de stampmassa zijn eveneens een drietal draden van Pt + 10% Rh gebakken.

Een van deze draden dient om het glas te aarden en de andere twee zijn nodig om de meter bij het in bedrijf stellen te kunnen bijtrimmen.

De keramische buis is als volgt vervaardigd: In een P.V.C. buis is overlangs een zaagsnede aangebracht en daarna *in* dichtgebonden. In deze plastic buis zijn de platina delen aangebracht; daarna is de buis volgegoten met Plitab-Ramix, waarbij in het hart een P.V.C. lasdraad van 3 mm is gemonteerd. Door met toenemende hevigheid te stampen en te kloppen is de stampmassa samengeklonterd tot een redelijk vaste massa. De bindsels zijn losgemaakt waardoor de P.V.C. buis weer "terugsprong". Het model werd daardoor lossend.

De stampmassa met het platina is nu uit de P.V.C. buis en in een overlangs doorgezaagde stalen pijp van 21 mm geschoven. Deze halve stalen buis was aan de binnenzijde bekleed met papier om te voorkomen dat het Al_2O_3 in contact kwam met ijzer. Het geheel is nu in de oven geplaatst en gebakken bij 900°C . Figuur 17 is de werktuigbouwkundige schets van de taster.

4.3. Electrische meting

4.3.1. Principe van de meting.

Figuur 18 geeft het blokschema weer van de meting. De capaciteit die gevormd wordt door het plaatje platina en het glas-oppervlak is opgenomen in een brug. De brug wordt gevolgd

door twee kathode-volgers om het impedantie-niveau te verlagen. Deze twee kathodevolgers zijn direct op de taster gemonteerd, om de invloed van de bedradings-capaciteit zo klein mogelijk te maken.

De differentiaalversterker vergelijkt de twee brugspanningen en voert het verschil toe aan de ring-modulator. De ringmodulator wordt gestuurd door de symmetreerschakeling en de toongenerator die ook de brug voedt. De ringmodulator richt het verschilsignaal fasegevoelig gelijk. De pulserende gelijkspanning wordt afgevlakt en toegevoerd aan een servoversterker die de servomotor stuurt.

De servomotor verdraait een draadspindel waardoor de taster naar boven of naar beneden beweegt. De draadspindel is via een overbrenging verbonden met de as van een multi-turn-potentiometer (P_4), waarvan de stand op dezelfde wijze als beschreven in 3.3.1. door de Brown-recorder kan worden geregistreerd.

Figuur 19 geeft het bedradingsschema weer van de voeding van de servoversterker. De taster wordt normaliter automatisch op en neer bewogen maar kan ook bediend worden door aan de servoversterker een positieve of negatieve gelijkspanning toe te voeren.

4.3.2. Schema van de condensatormmeetbrug.

Figuur 20 geeft het schema van de condensatormmeetbrug en versterker. De te meten capaciteit is van de orde van 3 pF. Meten we met een frequentie van 50 k Hz dan is dit een impedantie van circa $1 \text{ M } \Omega$. De meetbrug dient daarom

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-12}} = 10^6$$

gevolgd te worden door twee kathodevolgers. Als buizen zijn hiervoor gebruikt de pentodes E 80 F omdat bij een triode de rooster-anode-capaciteit van dezelfde grootteorde is als de te meten capaciteit. De meetbrug en de twee kathodevolgers zijn gezamenlijk op de kop van de taster gemonteerd.

De verwerking van de twee signalen geschiedt verder op dezelfde wijzen als bij de brugmeting die besproken is in paragraaf 3.3.2. Wij volstaan met hiernaar te verwijzen.

4.4. Modelproeven

Met de vervaardigde taster zijn modelproeven genomen in het perspexbakje waarin zich een 0,1 N sterke KCl-oplossing bevond. Het perspexbakje is sinusvormig op en naer bewogen met behulp van een sinusgenerator waarvan de amplitude opvolgend is ingesteld op 8,5, 12,25, 20 en 27 mm.

De frequentie van de sinusgenerator is van een lage naar een hoge waarde gevarieerd. De eerste tandwielcombinatie waarbij de taster de variaties in het niveau niet meer kon volgen is hierbij genoteerd. Dit is weergegeven in het volgende tabelletje.

Amplitude A in mm	Frequentie- nummer bij bevochtiging	ω $\times 10^2$ in sec^{-1}	ω A in mm/sec.
8,5	B 1	12,3	1,04
12,15	B 1	12,3	1,51
20	A 5	6,95	1,39
27	A 4	3,92	1,06

De servomotor wordt bij een ingangssignaal van $100 \mu V$ aan de servoversterker uitgestuurd en draait dan onbelast met een toerental van 115 omw/min. De overbrenging van de servomotor naar de draadspindel is 3 : 1. De draadspindel heeft een spoed van 1,4 mm. De maximale snelheid van de taster is dan $\frac{115}{60} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1,4 = 0,9 \text{ mm/sec}$. Uit deze laatste berekening zien we dat de motorsnelheid de limiterende factor is.

Bij deze proeven is eveneens gebleken dat de taster gevoelig is voor bevochtiging met water. Dit is het gevolg van het meten op een hoog impedantie-niveau, waardoor kleine lekstromen in het vochtige keramiek funest zijn. Daarom is na de eerste meting de taster met plastic ingepakt om ongestoord met de vochtige oplossingen modelproeven te nemen.

4.5. Metingen in de glasoven.

Bij het in gebruik nemen van de capacitieve taster in de oven bleek de condensator-brug geheel ontregeld te zijn. De oorzaak hiervan was dat het keramische materiaal bij de hoge oventemperatuur in geringe mate geleidend was geworden (tussen de aarddraad in de taster en de aansluiting van het platinaplaatje werd een weerstand gemeten van $40 \text{ k}\Omega$). Omdat het impedantieniveau van de condensatorbrug zo hoog is, kan met deze capacitieve taster het glasniveau in de oven niet gemeten worden. Bovendien bleek bij deze mislukte proefneming, dat de meting gestoord werd door signalen met een frequentie van 50 Hz, die veroorzaakt werden door de verhittingsstaven.

Om toch met deze taster het niveau te kunnen bepalen is volgens een nieuw principe gemeten. De taster bevatte

n.l. de uitstekende platinadraadjes, die bedoeld waren om de meter in te kunnen stellen. Van deze draadjes is gebruik gemaakt; door de weerstand tussen de aarddraad en één van deze insteldraden te meten is de taster te sturen. Gaan we er van uit dat het draadje 1 mm in het glas steekt dan is de weerstand bij een geleidbaarheid van 1 mho/m kleiner dan 1 k Ω . De condensatormetbrug die schematisch in figuur 18 staat aangegeven is vervangen door een brug van Wheatstone met in drie takken een weerstand van 1 k Ω , terwijl als vierde tak de weerstand tussen de aarddraad en één insteldraad is genomen. Voor de voeding van de brug dient een 40 kHz signaal met een amplitude van 10 Volt.

Deze meetmethode is getest in een 0,1 N-sterke KCl-oplossing. Het platina insteldraadje bleek steeds minder dan 1 mm in de vloeistof te steken.

Bij de meting in de glasoven werd de meting ook nu weer gestoord door de brom veroorzaakt door de verhittingsstaven, maar door de toepassing van de ringmodulator in het versterker-circuit werd de servomotor voldoende stabiel gestuurd. Het stoor-sig-naal was vooral groot als de taster de silimanietstenen raakte of als het glas de platinadraadjes bevochtigde.

Als het servomechanisme werd overgeschakeld van handbediening op automatisch, bewoog de taster zich naar beneden tot het insteldraadje het glas raakte. Tengevolge van het optrekken van het glasniveau door het platina-draadje draaide de servomotor de taster weer een klein stukje omhoog. Deze afstand was bij de metingen nooit meer dan 1,2 mm.

Bij een temperatuur van 1350°C werd de servobesturing onstabiel; bij het optrekken trekt de motor het draadje weer los van het oppervlak, daarna gaat de taster weer dalen, zodat het proces opnieuw begint. De amplitude van de oscillaties bedroeg ongeveer 3 mm. De weerstand van 1 k Ω is bij deze temperatuur kennelijk te hoog.

Bij verschillende temperaturen is de aanwijzing van de niveaumeter genoteerd (zonder dat glas aan de oven werd toegevoegd). Hierbij is de temperatuur 20 mm boven het glas oppervlak met een Pt + 13% Rh thermokoppel gemeten. De meetresultaten staan weergegeven in tabel 9. Uit de resultaten zien we dat in het temperatuur gebied van 1200°C tot 1350 °C de meting weliswaar afhankelijk is van de temperatuur maar dat de afwijkingen klein zijn .

5 Discussie en aanbevelingen

De gebouwde oven heeft aan de verwachtingen voldaan. De temperatuur van 1350°C kon gemakkelijk worden bereikt. Het toegevoerde vermogen per staaf bedroeg daarbij 500 W, zodat totaal 3 kW werd gedissipeerd. Hoewel de oven enkele keren is uitgevallen zijn geen scheuren in het zirkoonoxide geconstateerd.

De temperatuurregeling biedt nog wel enige zorg omdat het inschakelen van de twee regelstaven door de aanwezigheid van de regeltrafo hoge stroompieken veroorzaakt. Het is daarom noodzakelijk de stroomvoorziening te zekeren met trage zekeringen. Omdat de tijdconstante toch groot is kan ook gemakkelijk met de hand worden geregeld; de regelaar kan dan enkel als veiligheid dienen om de oven aan te laten staan gedurende het weekend en 's nachts.

groot klein
De temperatuur in het glas kan niet gemeten worden met een thermokoppel dat beschermd is door een aluminiumoxidehuls, omdat deze vrij snel oplost in het glas. Misschien zou als beschermhuls zirkoonoxide of chromoxide gebruikt kunnen worden. Deze materialen kunnen niet vlug opgewarmd en afgekoeld worden, hetgeen voor toepassing in een experimenteeroven een groot bezwaar is. Waarschijnlijk is een beschermhuls van platina de enige oplossing.

Bij de metingen die onder 3.5. beschreven zijn is naar voren gekomen dat de temperatuur-gradient in het glas nog vrij groot is. De isolatie bij de nog te bouwen spinoven dient daarom aan de onderzijde zo goed mogelijk te zijn. Er wordt daarom aangeraden de zirkoonoxide-stenen aan de onderzijde van deze oven direct op de isolatiestenen te metselen zonder tussenlaag van silimaniet.

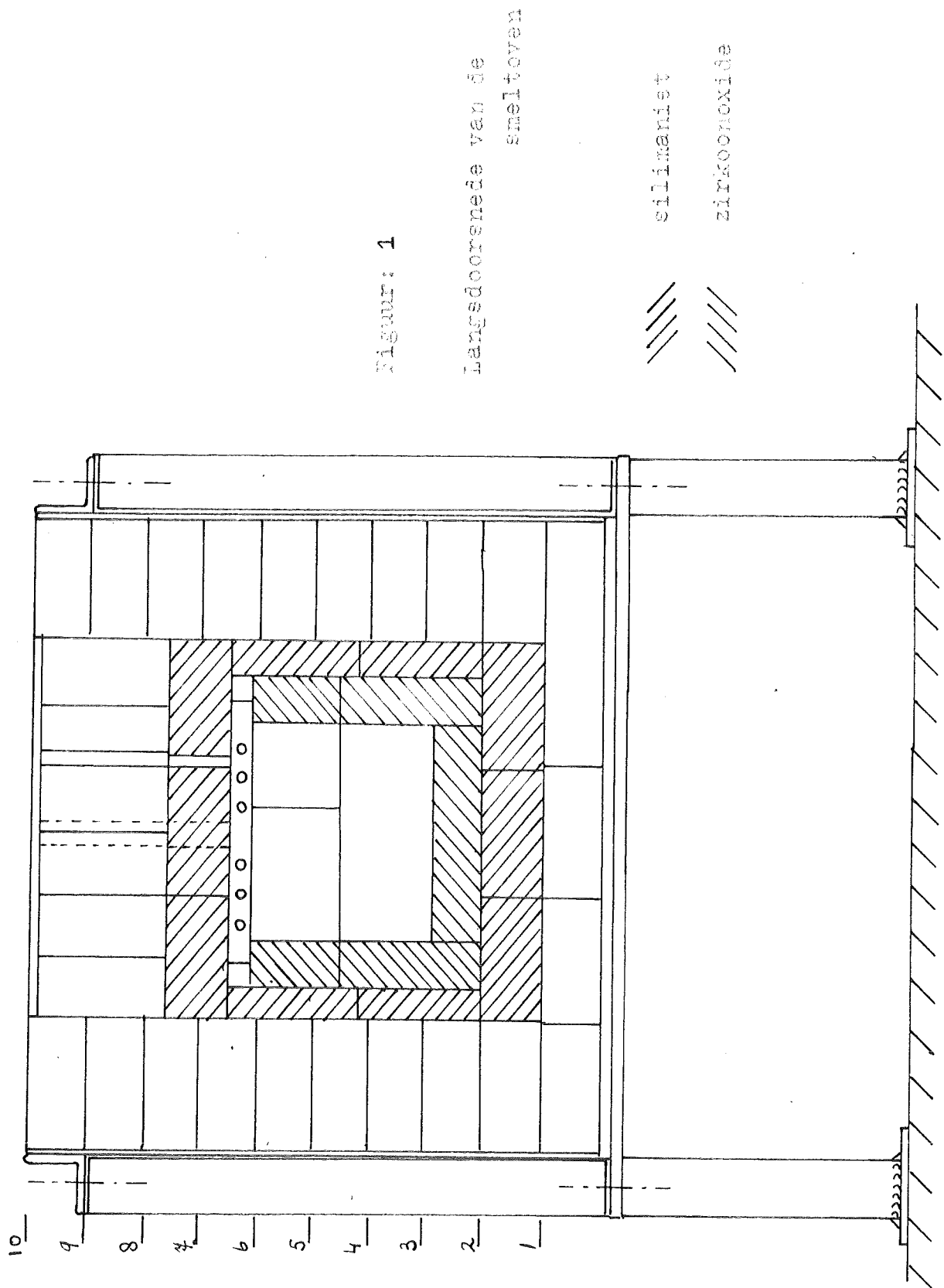
→ enhance our thinking
great idea

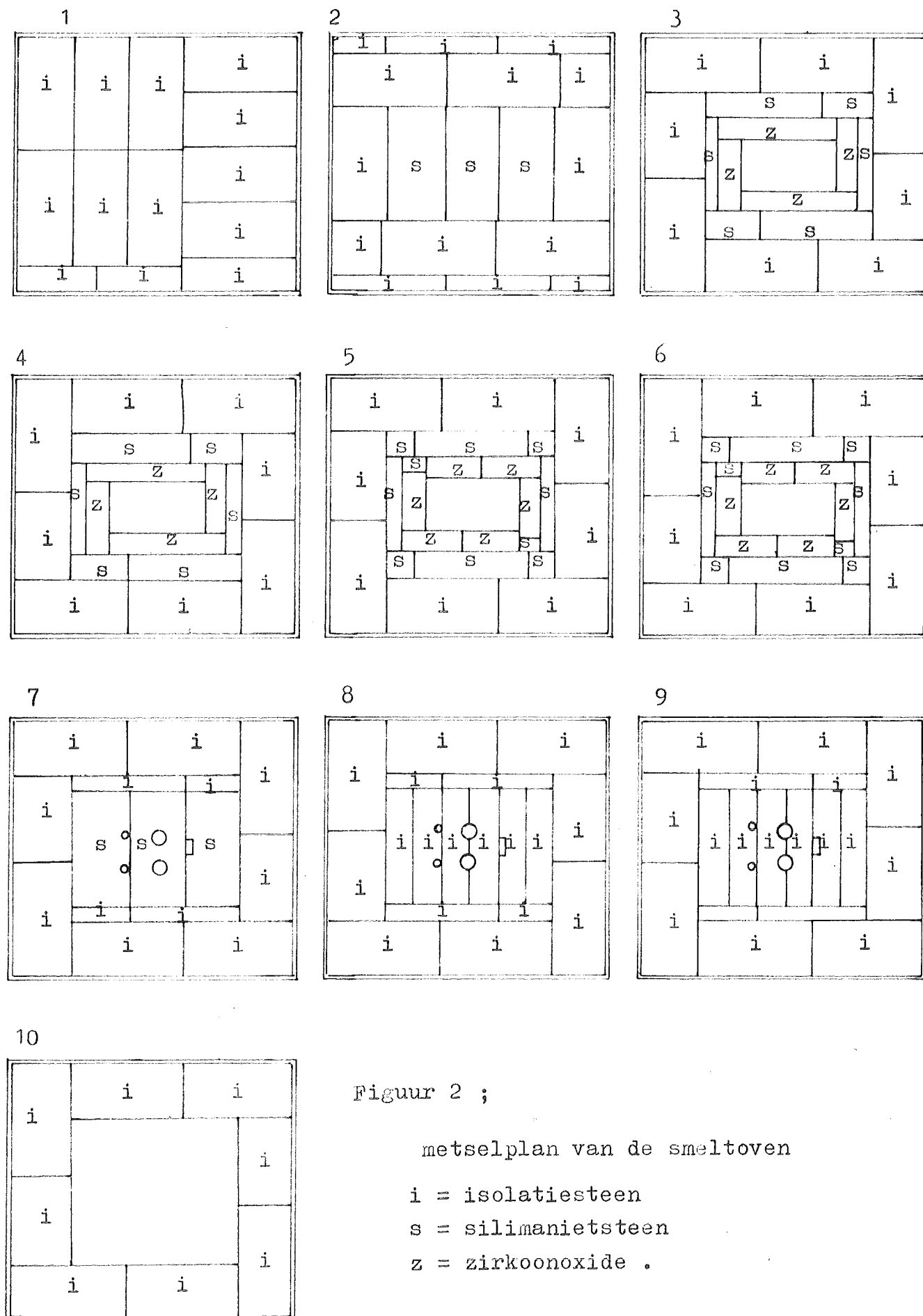
De niveaumeting door middel van geleiding beschreven in hoofdstuk 3 is wel mogelijk, maar heeft toch wel enkele ernstige nadelen. In de eerste plaats is dit, dat deze meter principieel verkeerd aanwijst als er een temperatuur gradient in het glas aanwezig is, hetgeen bij deze hoge temperatuur zeer zeker het geval zal zijn. In de tweede plaats moet aangenomen worden dat het Al_2O_3 , gezien de ervaringen met de Al_2O_3 - beschermhuls van het thermokoppel, in het glas oplost, zodat voor de houder naar een ander materiaal gezocht moet worden. Dit zou dan zirkoonoxide of chroomoxide moeten zijn. Het vervaardigen van een houder van deze materialen en het bevestigen van de platina-draden hierin is zeer lastig.

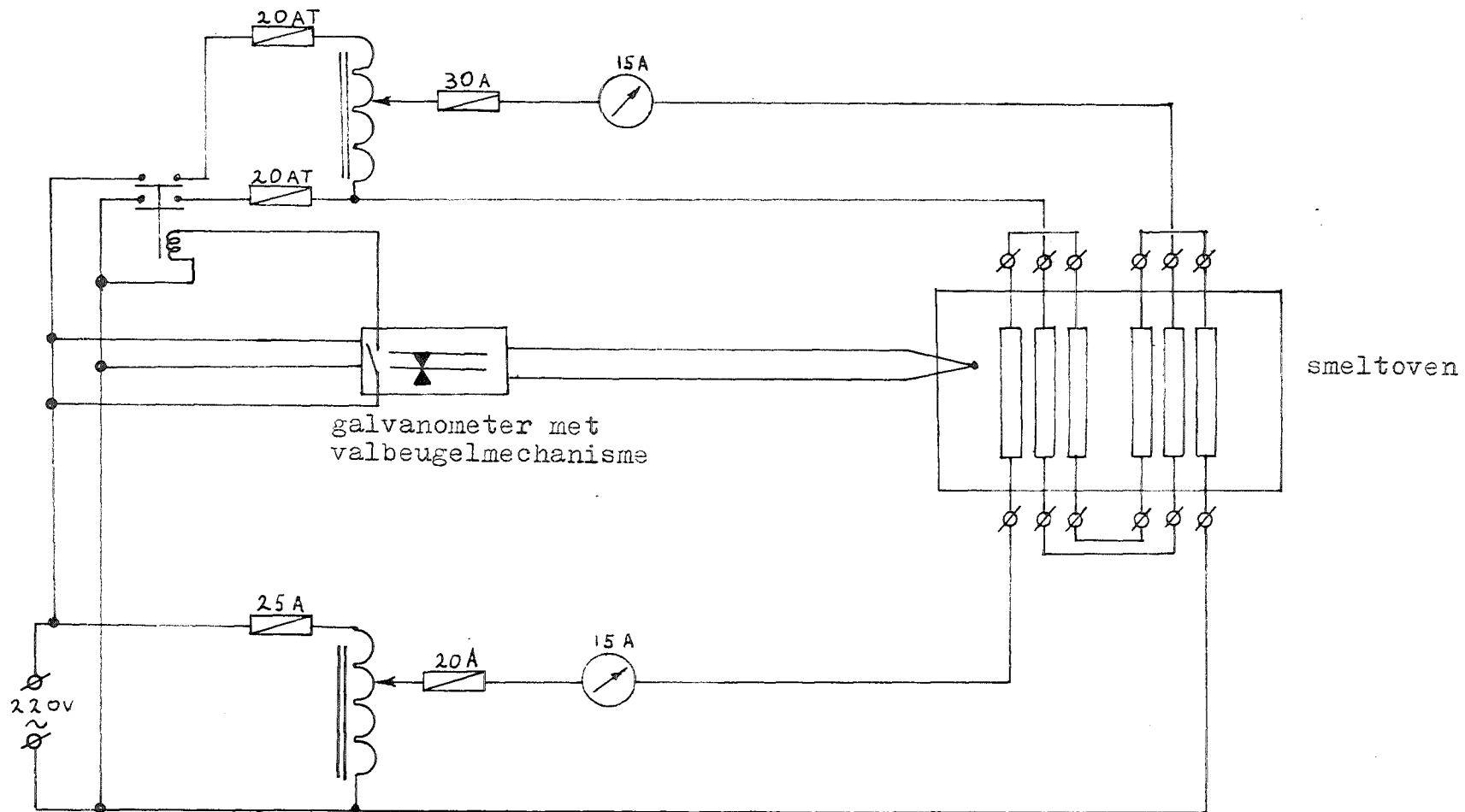
De beste oplossing voor de meting van het niveau lijkt mij de servogestuurde taster, zoals beschreven in paragraaf 4.5. Vooral als gecompenseerd wordt voor de temperatuur m.b.v. de brugweerstand, kan met deze meter zeer nauwkeurig het niveau worden gemeten. Deze methode zal echter niet geschikt zijn als het glas schuimt. In onze oven heeft het glas geen enkele keer geschuimd, zodat dit voor laboratoriummetingen geen bezwaar is.

Omdat het impedantieniveau van de brugmeting bij de servogestuurde taster zo drastisch is verlaagd, kunnen ook de twee kathodevolgers die op de kop aan de taster zijn gemonteerd vervallen. De taster kan dan vereenvoudigd worden tot een staaf waarin twee uitstekende platinadraden zijn gebakken. Om de meting nog minder afhankelijk te maken van de temperatuur, kan in plaats van een platinadraadje een driehoekig platinaplaatje gebruikt worden. Dit driehoekige plaatje moet een stompe hoek bevatten die naar het glas wijst. Een kleine verandering van de hoogte van de taster resulteert dan in een grote verandering van de gemeten weerstand.

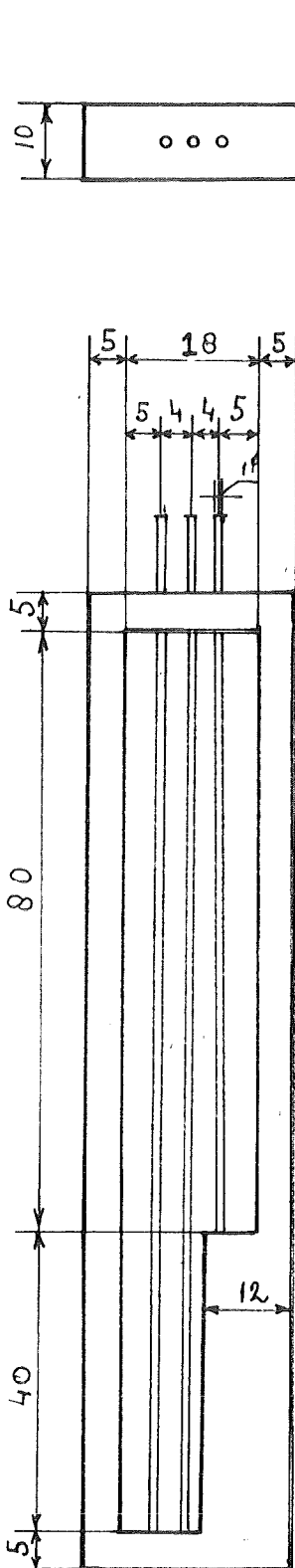
Hoewel het Al_2O_3 oplost in het glas kan van de stampmassa Plitab-Ramix toch allerlei werktuigen gemaakt worden die nodig zullen zijn voor het onderzoek bij hoge temperatuur. Bij het vervaardigen van de modellen dient er op gelet te worden dat geen onedele metalen met de stampmassa in contact komen omdat dit het smeltpunt drastisch verlaagt. Gebruik van gereedschap van hout of plastic is daarom geboden. Verder dient het apparaat in het geheel gebakken te worden en niet in onderdelen apart omdat oud op nieuw niet hecht. Na het drogen bij 110°C heeft de stampmassa vrijwel geen samenhang; er dient dan voorzichtig met de contramallen het daarin aanwezige Plitab-Ramix gemanipuleerd te worden. Als aan deze voorwaarden is voldaan is de stampmassa Plitab-Ramix een zeer bruikbaar materiaal.





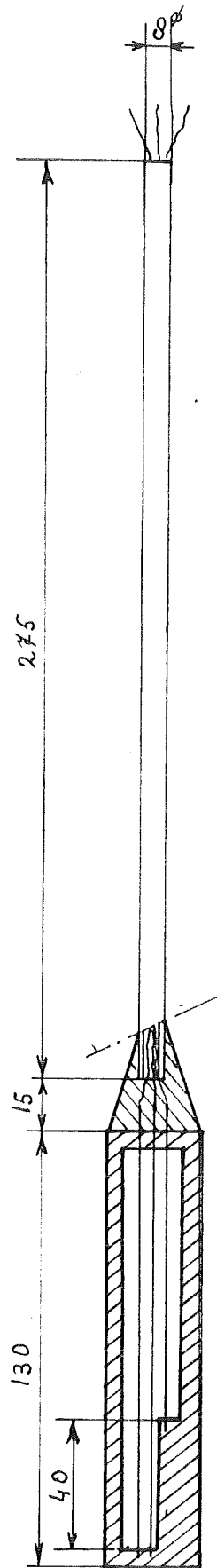


Figuur 4 ; Verwarming en temperatuurregeling van de smeltoven

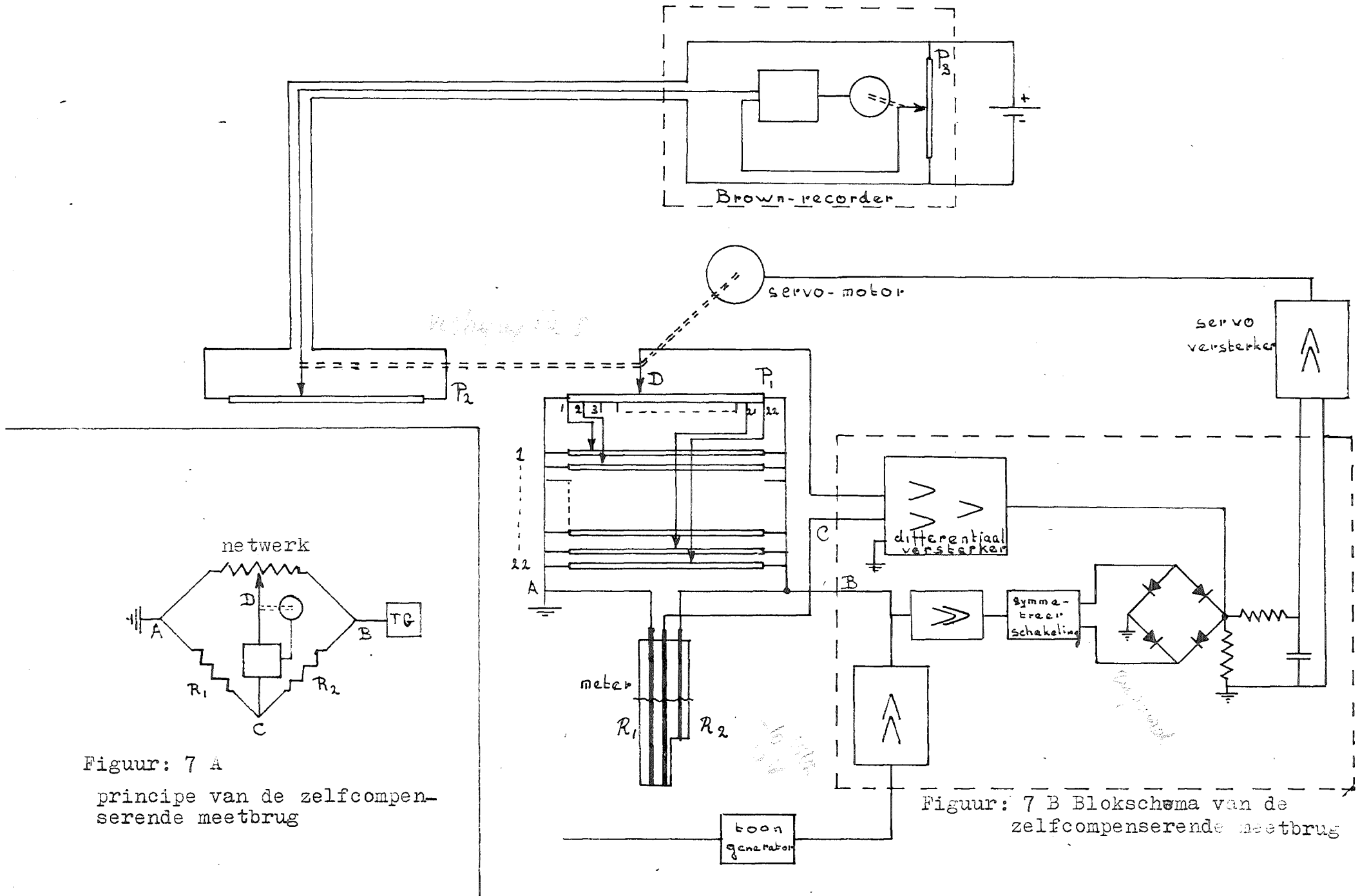


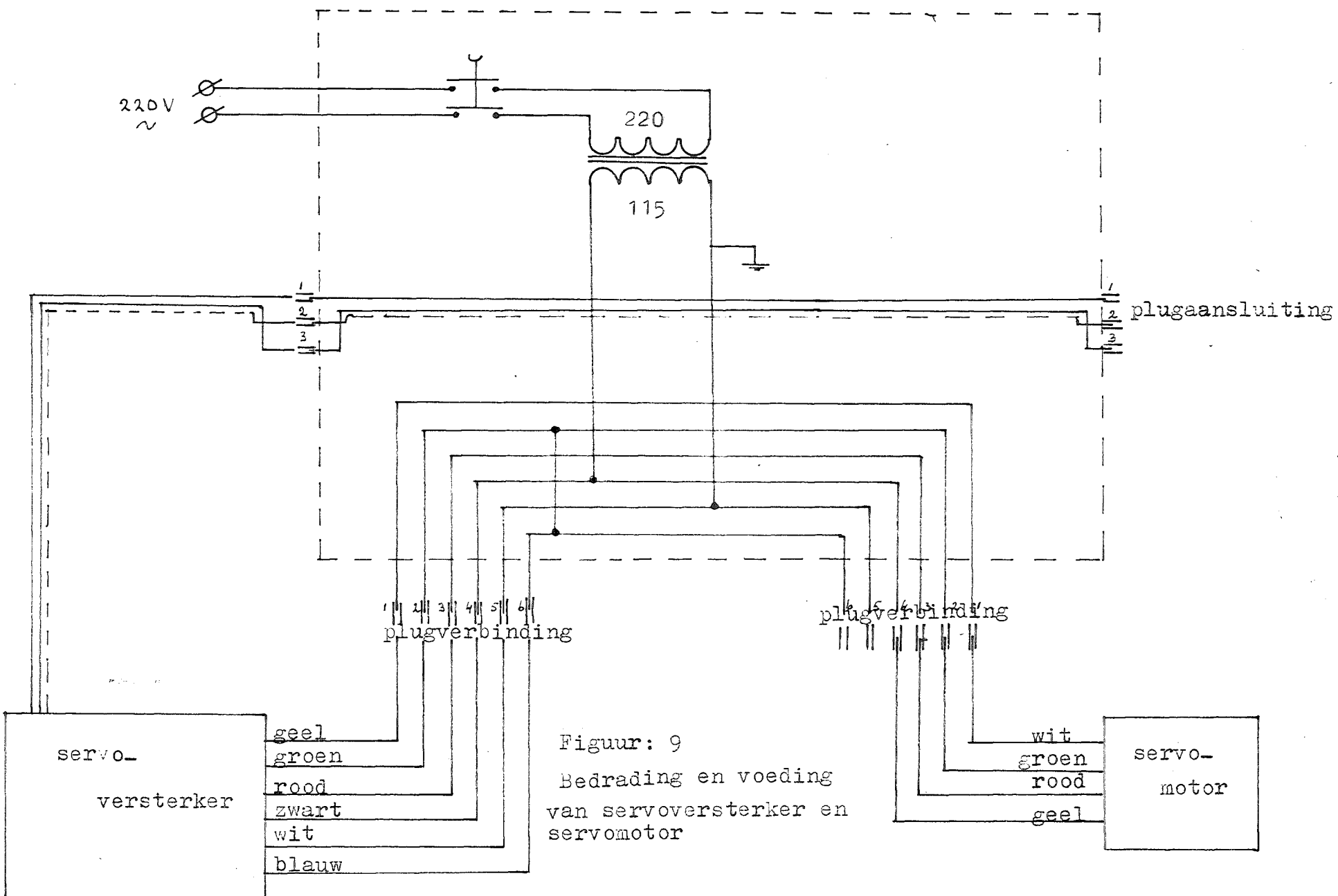
niveaumeter
materiaal: PVC en zilverdraad
schaal 1:1

Figuur : 5



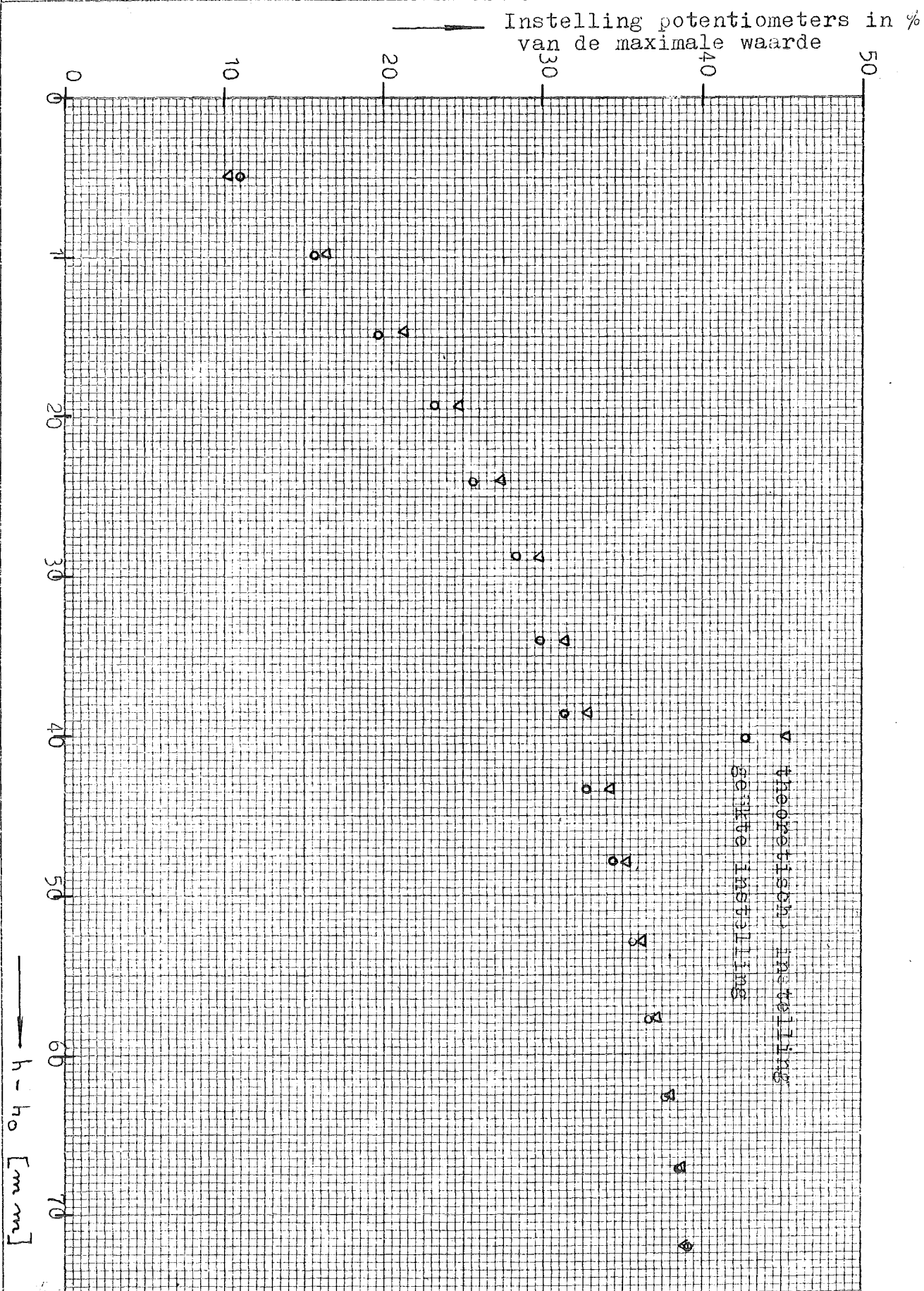
niveaumeter
materiaal: Al_2O_3 en platina
schaal: 2:2
Figuur: 6

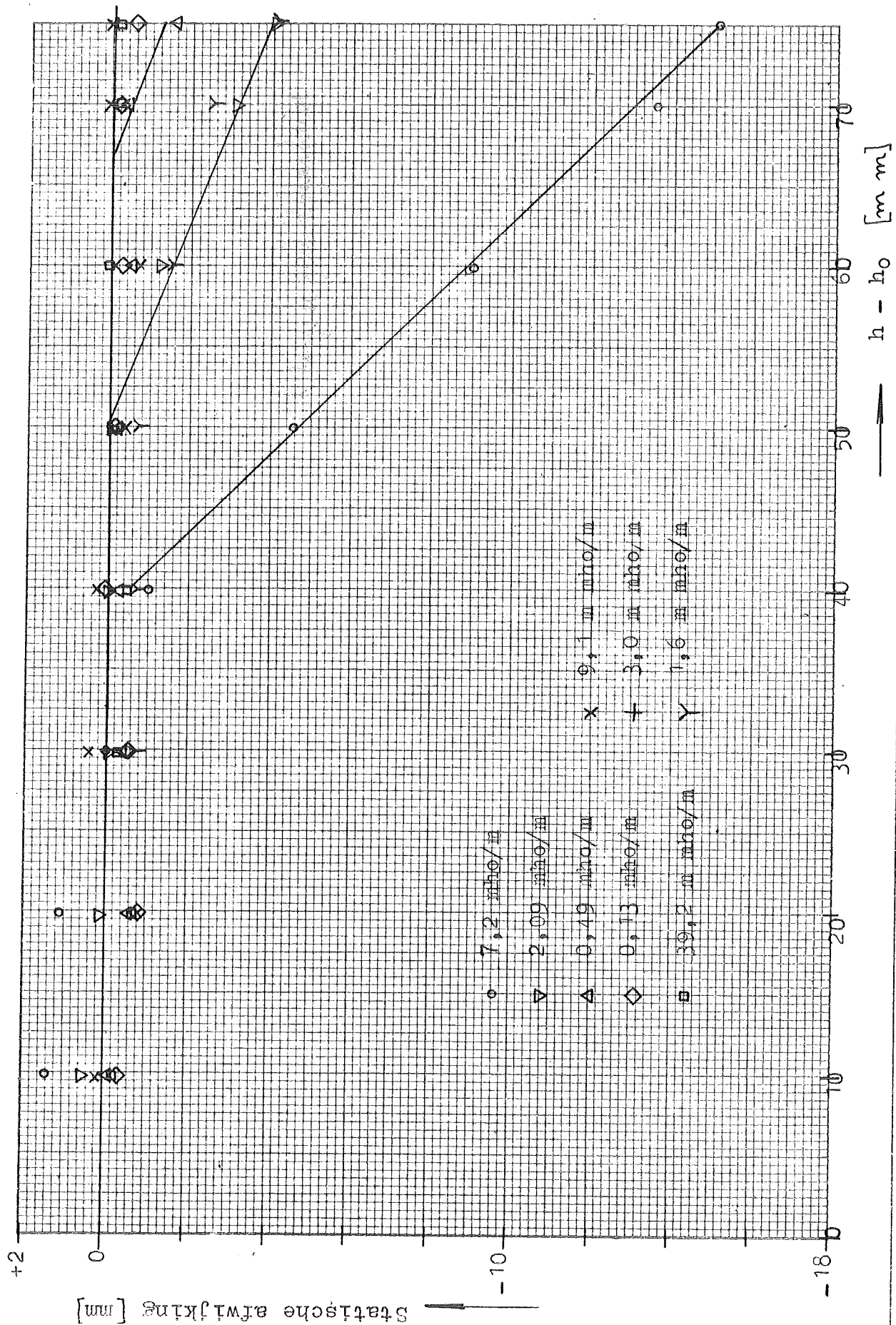




Vergelijking van de theoretische en
geijkte instelling van de potentiometers
van het netwerk

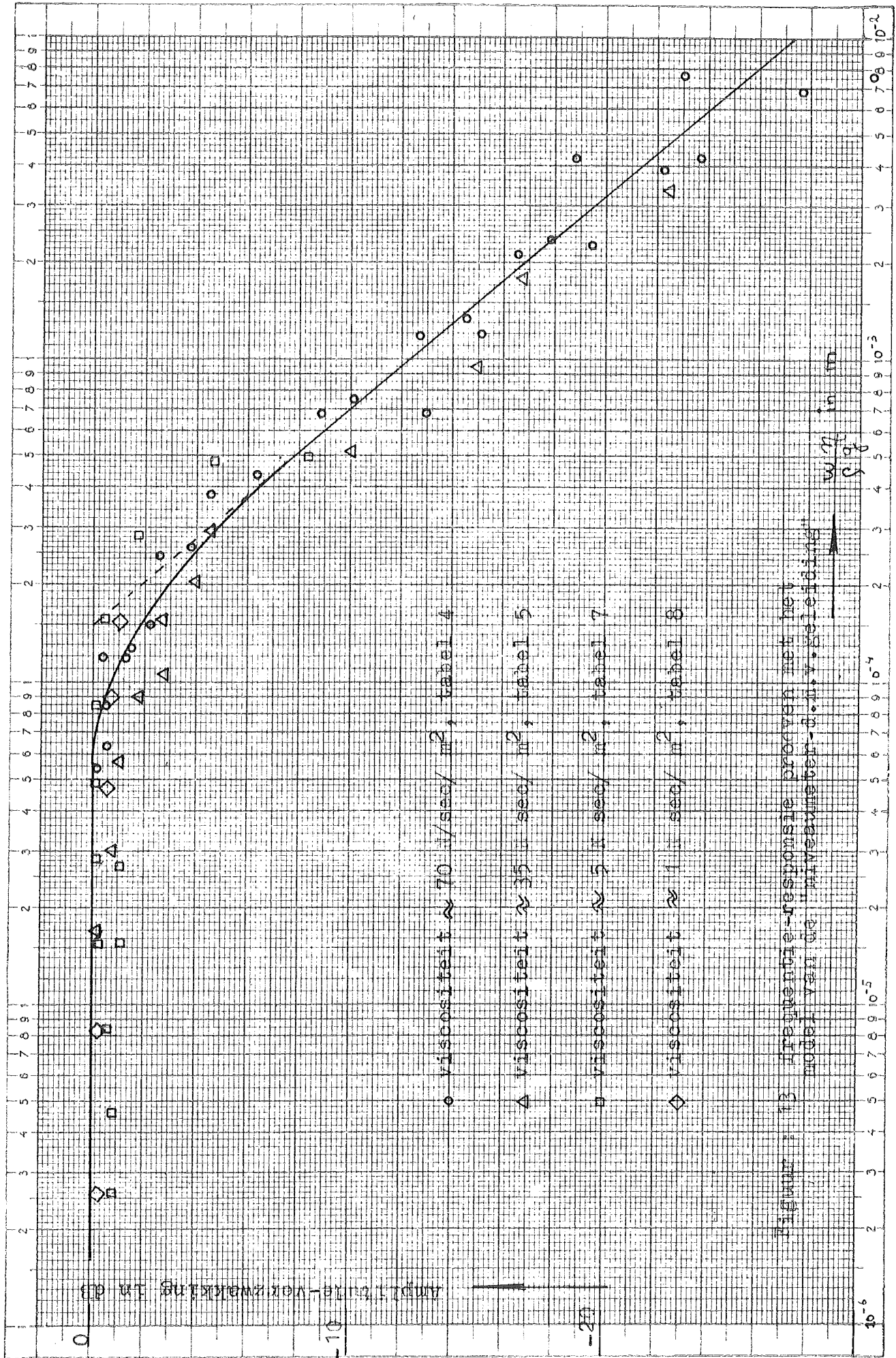
Figuur : 10

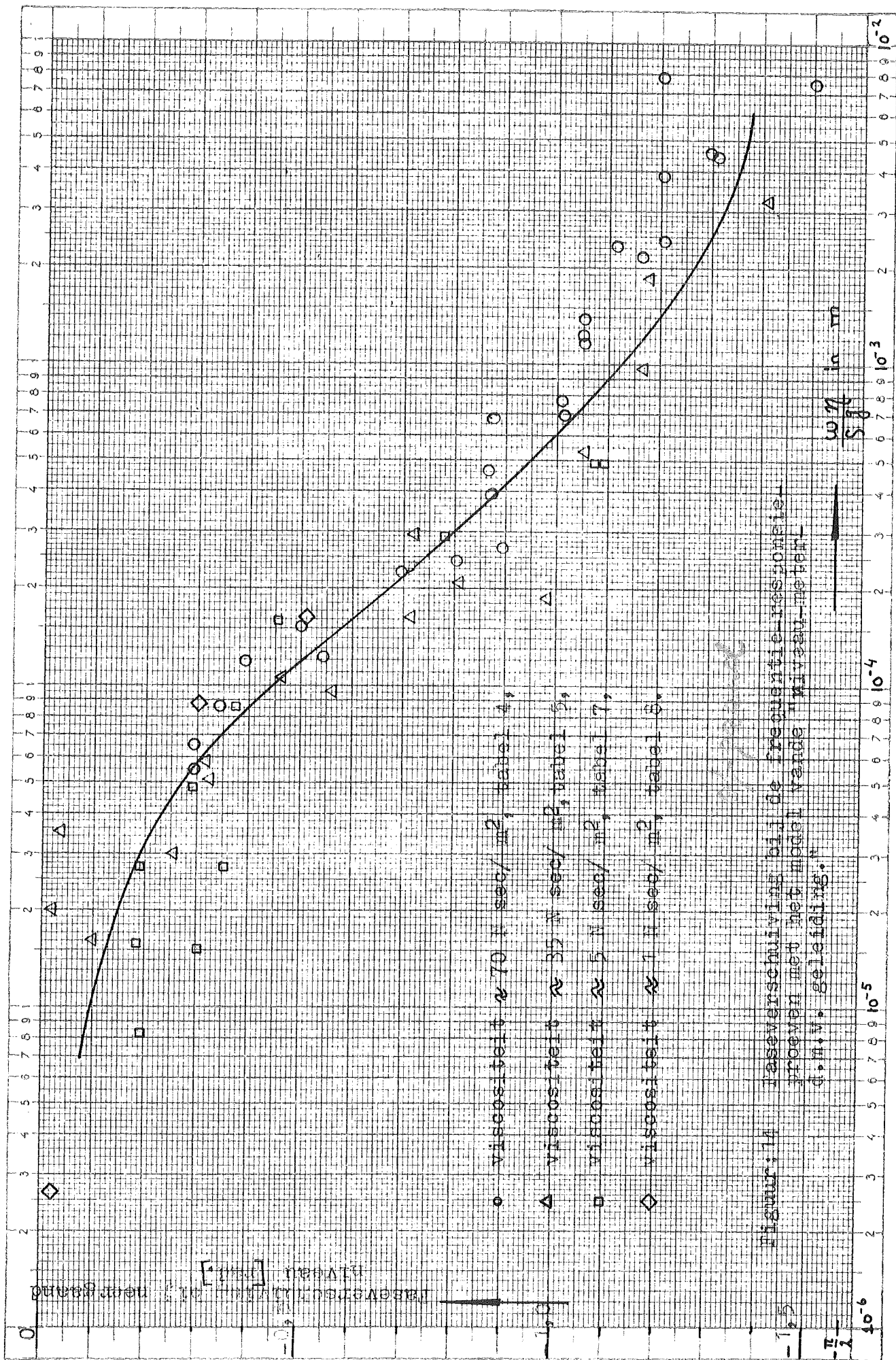




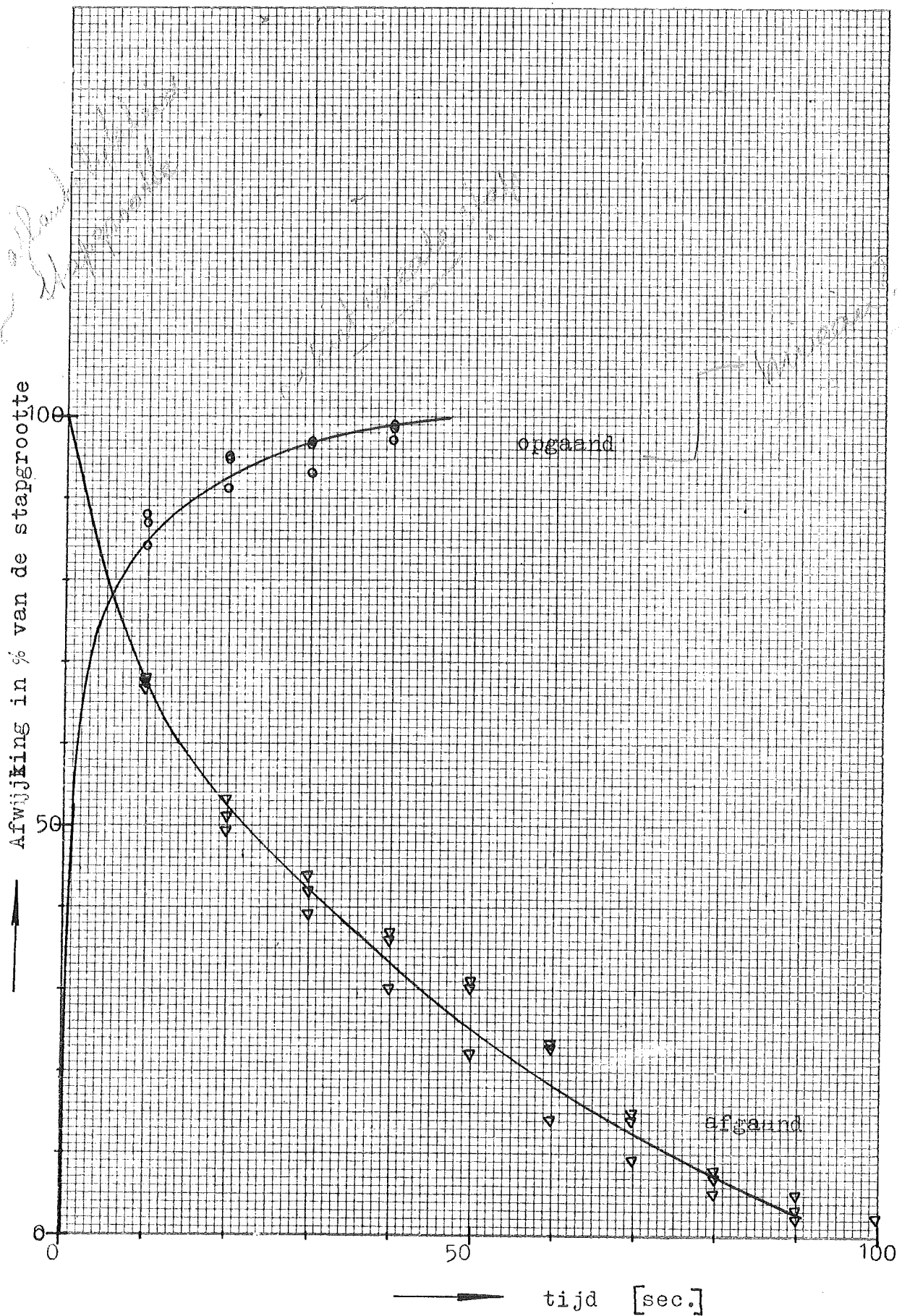
Bepaling van de statische afwijkingen van het model van de "niveau-meter-m.b.v. geleiding" bij verschillende geleidbaarheden

Figuur 12



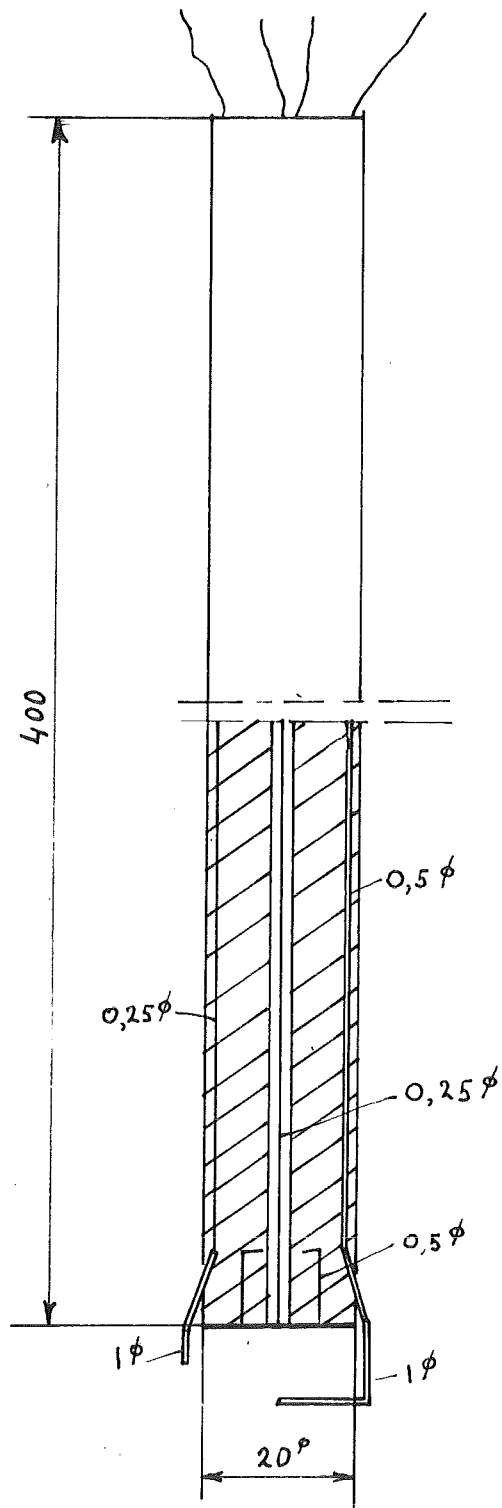


Figuur 14. Frequentie-responsie-
 proeven met het model vande "niveau-meter"
 d.m.v. geleiding.



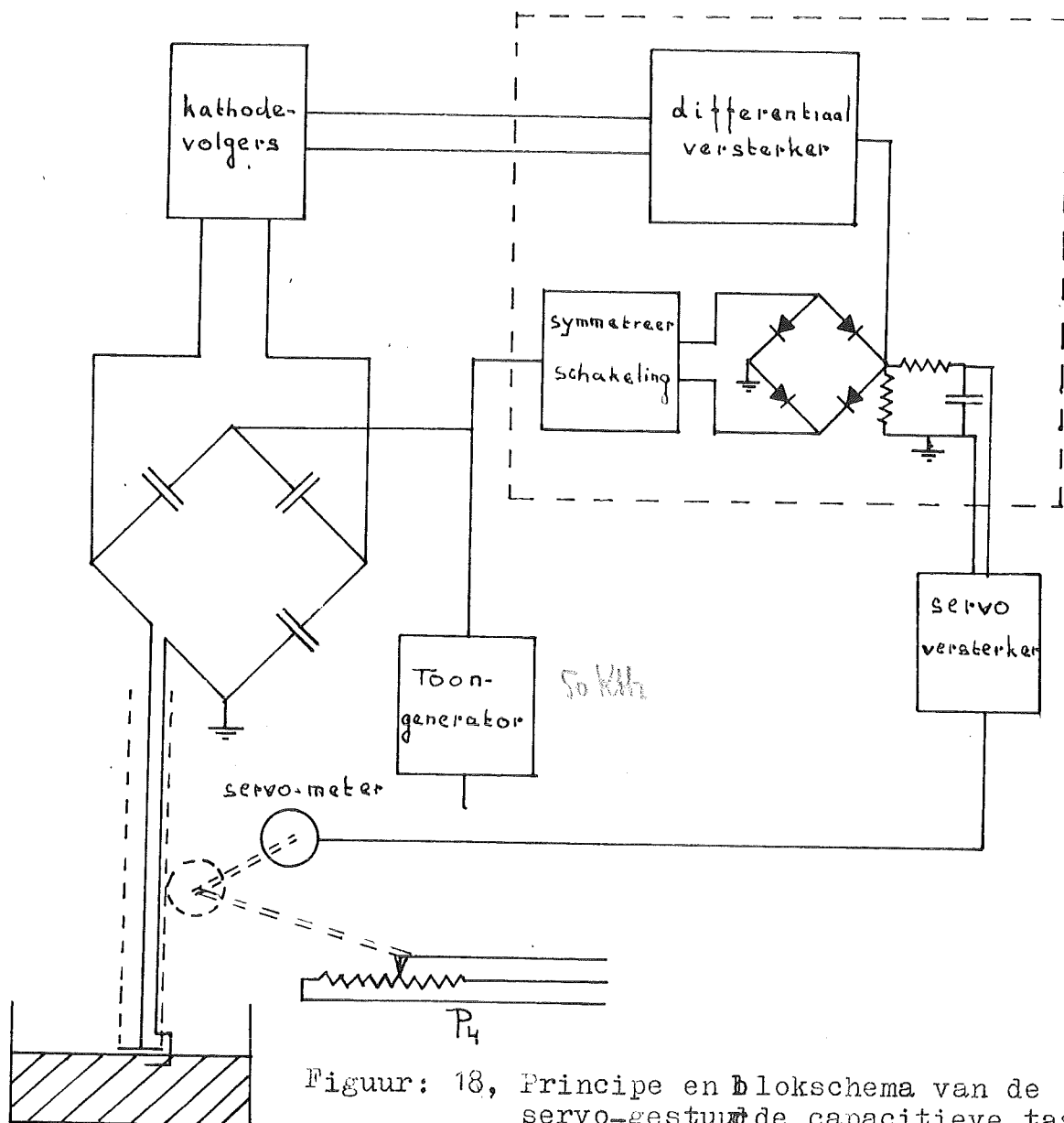
Vergelijking van de responsie op een
afgaande en opgaande stap van het model
van de "niveau-meter-m.b.v. geleiding"
stroopcharge: 1; 17,7 °C; stapgrootte: 27,5 mm

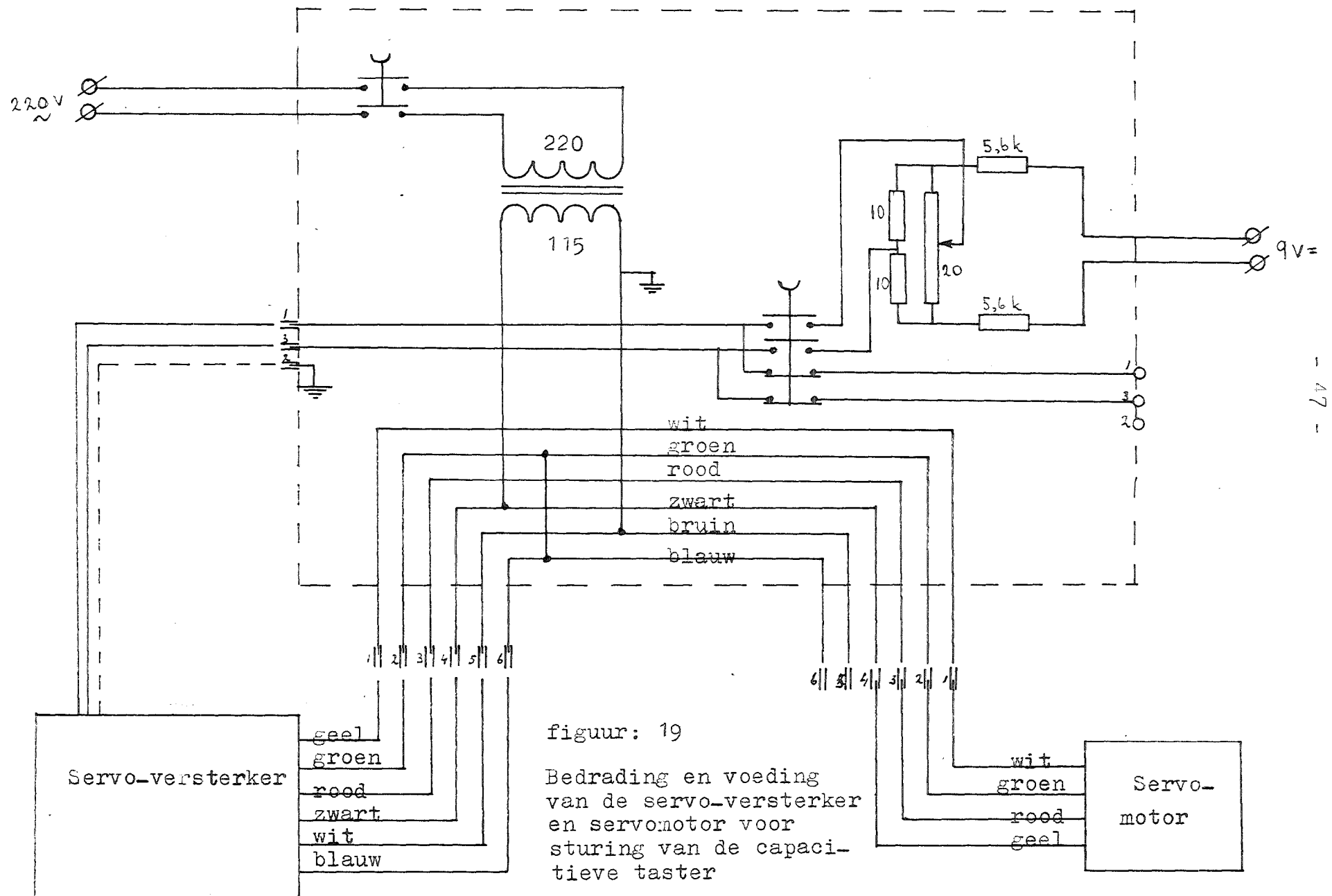
Figuur : 16

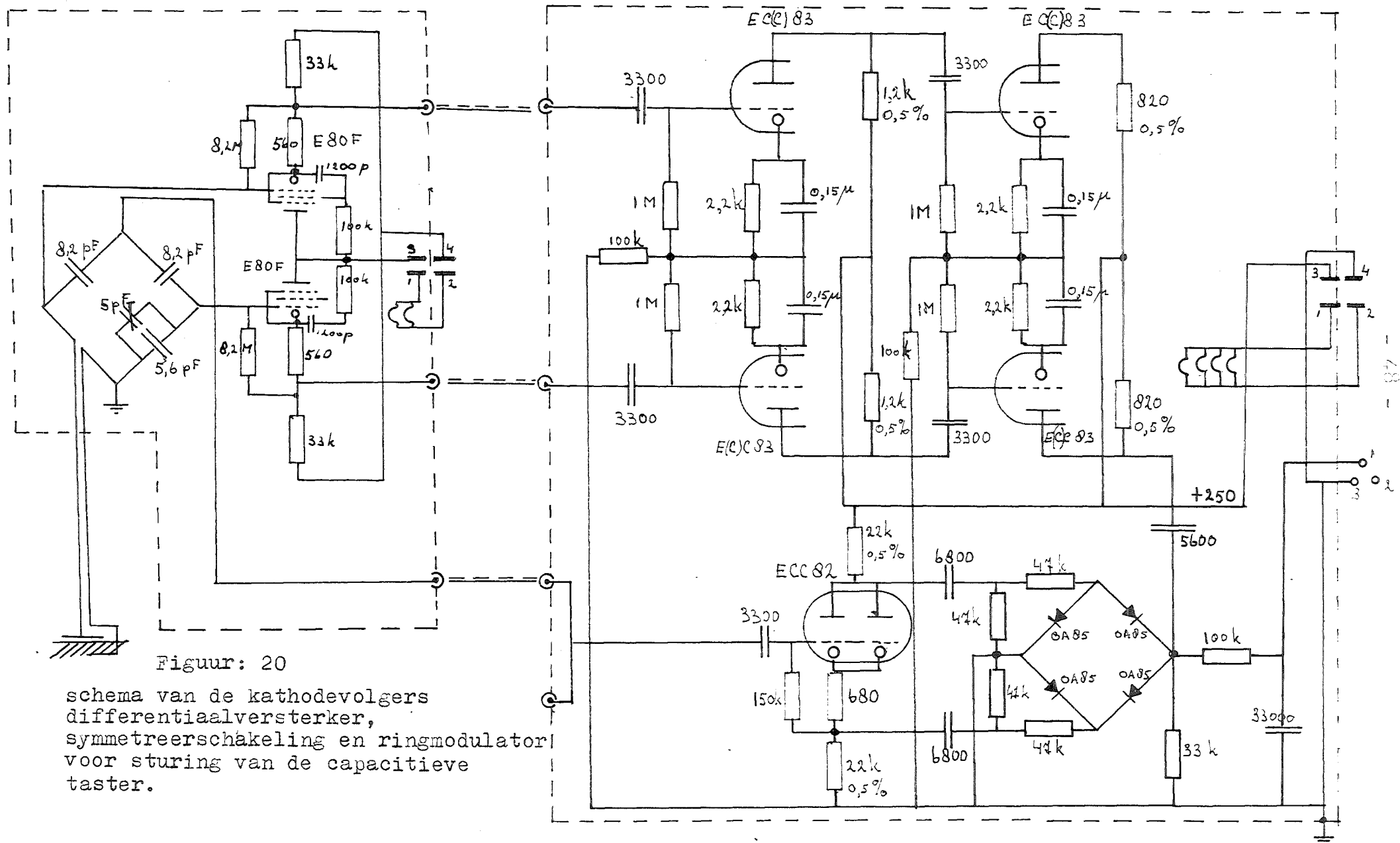


Figuur: 17

Uitvoering van de servo-
gestuurde capacitieve taster







Figuur: 20

schema van de kathodevolgers
differentiaalversterker,
symmetrischschakeling en ringmodulator
voor sturing van de capacitieve
taster.

Tabel: 1 Localisering aftakpunten potentiometer P₁ en vergelijking van theoretische en werkelijke instelling der aftakpotentiometers van het netwerk.

Aftaknummer	overeenkomende stand van Brown-recorder	theoretische instelling net- werk-potentio- meters	geijkte instelling netwerk-potentio- meters
	a in s.d.	$\frac{a}{2\alpha + 40}$ in %	in %
1	0,2	0	0
2	5,1	10,1	10,8
3	10,1	16,4	15,6
4	15,0	21,4	19,7
5	19,5	24,6	23,2
6	24,4	27,4	25,6
7	29,1	29,6	27,8
8	34,3	31,4	29,8
9	38,7	32,9	31,1
10	43,5	34,2	32,8
11	48,0	35,2	34,4
12	53,1	36,3	35,7
13	57,9	37,2	36,8
14	62,6	37,9	37,7
15	67,2	38,5	38,5
16	72,1	39,2	39,2
17	76,5	39,6	39,8
18	81,4	40,1	40,1
19	85,9		42,5
20	90,7		45,0
21	95,2		47,5
22	99,0		50,0

Tabel:2 Bepaling statische afwijking van de modelniveaumeter
bij verschillende geleidbaarheden van de vloeistof
(meetfrequentie 8 k Hz).
Meter ingesteld bij 0,1 mho/m.

h-ho in mm	Afwijking = δ in s.d.							
	geleidbaarheid in mho/m							
	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$				
	1,6	3,0	9,1	39,2	0,13	0,49	2,09	7,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	+0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	+0,5	+1,5
20	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,5	+0,2	+1,2
30	-0,6	-0,5	+0,5	-0,3	-0,3	-0,2	+0,1	0
40	-0,5	-0,5	+0,4	+0,1	0	0	+0,5	-1,0
50	-0,6	0	0	0	+0,2	0	0	-4,5
60	-1,5	0	-0,6	+0,1	-0,3	-0,5	-1,2	-9,0
70	-2,5	-0,5	+0,1	0	-0,3	-0,5	-3,0	-13
75	-4,1	-0,5	0	-0,1	-0,5	-1,5	-4,0	-15

Tabel: 3 Bepaling van de dynamische viscositeit en
dichtheid van de charges stroop.

Chargennummer	temperatuur in °C	dynamische viscositeit $\eta \times 10^{-4}$ in cP	dichtheid bij 18°C. in kg/m ³
1	17,6	10,8	1430
1	18,3	9,7	
1	19,0	8,6	
1	20,0	7,4	
1	21,4	6,1	
3	16,3	3,83	1420
3	17,0	3,50	
3	18,1	2,87	
3	19,0	2,42	
3	20,3	2,07	
3	21,6	1,79	
4	15,0	0,75	1400
4	16,4	0,60	
4	17,2	0,55	
4	18,7	0,46	
4	20,3	0,38	
5	15,7	0,190	1360
5	17,1	0,167	
5	18,4	0,146	
5	19,7	0,129	
5	21,1	0,111	

Tabel: 4 Frequentie-responsiemetingen met stroopcharge 1

Frequentie nummer	temperatuur in °C	afval in dB	fasehoek 1 in rad.	fasehoek 2 in rad.	"frequentie" $\frac{\omega \eta}{\zeta g} \times 10^4$ in m
B 5	19,4	30,6	1,4	1,5	73,2
B 4	19,4	23,7	1,2	1,31	41,8
B 3	19,6	19,5	0,83	1,16	22,5
B 2	19,8	15,1	0,71	1,05	11,9
B 1	19,7	13,0	0,70	1,01	6,84
A 5	19,8	7,7	0,610	0,86	3,86
A 4	19,8	3,8	0,35	0,89	2,60
A 3	19,9	1,21	0,15	0,54	1,18
A 2	20,0	0,05	-	0,29	0,64
B 5	20,1	27,7	1,4	1,50	66,2
B 4	20,1	22,2	1,2	1,20	37,8
B 3	20,0	16,6	0,8	1,16	21,1
B 2	20,0	12,7	0,72	1,05	11,7
B 1	19,8	8,8	0,58	0,87	6,75
A 5	19,8	4,45	0,54	0,86	3,82
A 4	19,6	1,5	0,35	0,69	2,24
A 3	19,6	0,26	0,15	0,39	1,19
B 5	19,4	23,1	0,9	1,20	75,4
B 3	19,4	17,9	0,8	1,12	23,1
B 4	19,4	18,8	1,0	1,30	42,0
B 2	19,2	14,6	0,7	1,05	13,2
B 1	19,2	10,3	0,72	1,01	7,5
A 5	19,0	6,4	0,49	0,86	4,3
A 4	19,0	2,6	0,40	0,80	2,43
A 3	18,4	1,28	0,15	0,50	1,49
A 2	18,2	0,49	-	0,34	0,85
A 1	18,0	0,08	-	0,29	0,54

Tabel: 5 Frequentie-responsiemetingen met stroopcharge 3

Frequentie nummer	temperatuur in °C	afval in dB	fasehoek in rad.	1 fasehoek 2 in rad.	"frequentie" $\frac{\omega \eta}{S g} \times 10^4$ in m
A 5	16,6	5,6	0,59	0,98	1,84
A 4	16,6	2,67	0,09	0,46	1,04
A 3	16,8	0,97	0,15	0,31	0,56
A 2	16,9	0,68	0,21	0,25	0,30
A 1	16,9	0,10	0,06	0,07	0,17
B 5	17,0	22,5	1,2	1,4	31,1
B 4	17,0	16,7	0,78	1,18	17,8
B 3	17,2	15,0	0,93	1,16	9,4
B 2	17,2	10,0	0,52	1,05	5,2
B 1	17,2	4,5	0,71	0,71	2,95
B 1	17,4	4,0	0,62	0,81	2,05
A 5	17,5	2,7	0,24	0,72	1,56
A 4	17,4	1,73	0,14	0,56	0,90
A 3	17,4	1,05	-	0,31	0,50
A 2	16,0	-	-	-	0,35
A 1	16,0	-	-	-	0,20

Tabel: 6 Stapresponsie met stroopcharge 1,
17,7°C, stapgrootte 27,5 mm.

Tijd in sec.	Afwijking in % van de stapgrootte					
	afgaand			opgaand		
0	100	100	100	100	100	100
10	68	67	68	16	12	13
20	49	51	53	9	5	5
30	39	42	44	7	3	3
40	30	36	37	3	1	1
50	22	30	31			
60	14	23	23			
70	9	14	15			
80	5	8	7			
90	2	5	3			
100		2				

*tijd van
stop*

Tabel: 7 Frequentie-responsiemetingen met stroopcharge 4

Frequentie nummer	temperatuur in °C	afval in dB	fasehoek 1 in rad.	fasehoek 2 in rad.	"frequentie" $\frac{\omega \eta}{\xi g} \times 10^4$ in m
A 1	17,6	0,8	0	0,35	0,026
A 2	17,5	0,8	0	0,28	0,046
A 3	17,5	0,5	0	0,18	0,084
A 4	17,4	0,2	0	0,18	0,153
A 5	17,4	0	0	0,18	0,271
B 1	17,4	0	0	0,29	0,48
B 2	17,4	0	0,1	0,37	0,84
B 3	17,4	0,3	0,2	0,45	1,53
B 4	17,4	1,62	0,4	0,78	2,79
B 5	17,4	4,50	0,6	1,1	4,87
B 5	17,6	8,35	0,7	1,2	4,80
A 5	17,4	1,0	0,1	0,35	0,27
A 4	17,4	1,0	0	0,30	0,153

Tabel: 8 Frequentie-responsiemetingen met stroopcharge 5

Frequentie nummer	temperatuur in °C	afval in dB	fasehoek 1 in rad.	fasehoek 2 in rad.	"frequentie" $\frac{\omega \eta}{\xi g} \times 10^4$ in m
A 5	17,4	0,17	-	-	0,084
B 5	17,4	0,85	0,1	0,5	1,52
B 4	17,4	0,57	0,1	0,3	0,87
B 3	17,4	0,48			0,47
B 3	17,4	0,05			0,026

Tabel: 9.

Bepaling statische afwijking van de servo gestuurde taster
bij verschillende temperaturen,
Hoogte niveau bij $a = 24,2$ s.d.

Temperatuur in °C	Aanwijzing recorder a in s.d.	Afwijking in s.d.	Afwijking in mm
1200	24,1	-0,1	-0,15
1215	24,3	+0,1	+0,15
1230	24,5	+0,3	+0,4
1240	24,6	+0,4	+0,55
1245	24,8	+0,6	+0,85
1250	25,0	+0,8	+1,1
1265	25,05	+0,85	+1,2
1275	25,05	+0,85	+1,2
1280	25,05	+0,85	+1,2
1295	25,0	+0,8	+1,1
1320	25,1	+0,9	+1,2
1330	25,1	+0,9	+1,2
1350	oscillaties	-	-

14K
Binné Blz 26