

150

Archiefexemplaar

"Stofoverdracht tussen een gasstroom
en geamalgameerde metaaloppervlakken".

Afstudeerverslag G. van Muiswinkel N
maart 1963

Laboratorium voor Fysische Technologie.

Laboratorium voor
PHYSISCHE TECHNOLOGIE
der Technische Hogeschool
Pr. Bernhardlaan 6 - DELFT

Stofoverdracht tussen een gasstroom en geamalgeerde
metaaloppervlakken

Afstudeerverslag

Laboratorium voor Fysische
Technologie
Technische Hogeschool
Delft.

G. van Muiswinkel
Uhlenbeckstraat 24
Voorburg.
januari 1962

Inhoud:

pag.

	<u>Samenvatting</u>	1
I. 1.	Inleiding	1
2.	Doel	2
3.	Principe	3
II.	Beschrijving van de apparatuur	3
1.	Kwikdampconcentratiemeter	3
2.	De opstelling voor de ijking van de kwikdampconcentratiemeter	6
3.	De opstelling voor de meting van de stofoverdracht	7
III.	<u>Ijkingen</u>	
1.	Rotameters	11
2.	Thermokoppels	13
3.	Kwikdampspanning als functie van de temperatuur	13
4.	Kwikdampconcentratiemeter	14
IV.	<u>De metingen</u>	
1.	Inleiding	16
2.	Gaasjes	16
3.	Meetresultaten	17
3.1	1 ^e gaasje	17
3.2	2 ^e gaasje	19
3.3	3 ^e gaasje	20
V.	<u>Berekeningen</u>	21
1.	Inleiding	
2.	Gaasjes	23
2.1	1 ^e gaasje	24
2.2	2 ^e gaasje	25
2.3	3 ^e gaasje	25
VI. 1.	Vergelijking van de uitkomsten	26
2.	Nauwkeurigheid kwikdampconcentratiemeting	28
3.	Conclusie	29
	Symbolenlijst	31
	Literatuurlijst	33

Stofoverdracht tussen een gasstroom en geamalgēerde
metaaloppervlakken.

Samenvatting:

Voor de meting van de verdampingssnelheid van kwik van geamalgēerde metaaloppervlakken naar lucht -door middel van selectieve absorptie van kwiklicht door kwikdamp- is een kwikdampconcentratiemeter geconstrueerd. Daarmee zijn in de gebouwde meetopstelling enkele metingen aan drie verschillende gaasjes (diameter draadjes: 0,28; 0,30 en 0,36 mm) gedaan in het Reynolds gebied van 1 tot 100. De gemiddelde uitkomst laat zich met de volgende relatie beschrijven:

$$\underline{Sh = 0,68 Sc^{0,20} + 0,57 Re^{0,50} Sc^{0,33}; 1 < Re < 100}$$

I. 1. Inleiding:

Bij stofoverdrachtsmetingen van vaste objecten aan fluida kan men op twee manieren te werk gaan.

- a) Bepaling van de toevoersnelheid van een verdampende stof waarbij er voor wordt gezorgd, dat de stationaire toestand wordt gehandhaafd. Dit kan alleen met vloeistoffen door oppervlakken van permeabele voorwerpen zoals bijvoorbeeld Thoenes¹⁾ beschrijft met bollen van papier maché.
- b) Bepaling van de concentratie van de verdampende stof in de gas- of vloeistofstroom. Hiervoor is een nauwkeurige concentratiemeting nodig. Een voorbeeld is het systeem naftaleen-lucht (of water), waarvan echter de beschikbare vormen beperkt zijn door de relatieve zwakheid van de naftaleen, zodat metingen aan draadjes en gaasjes niet mogelijk zijn.

In beide gevallen vindt een faseovergang (verdamping) aan het grensvlak plaats, waarvoor warmte toegevoerd moet worden. Hierbij kan de oppervlakte temperatuur een probleem worden als niet nauwkeurig vaststaat waar vandaan de warmte

1) zie literatuurlijst

wordt toegevoerd. Als dit uitsluitend via het gas moet gebeuren is de oppervlakte temperatuur gelijk aan de "natte bol temperatuur" welke we uit de volgende relatie kunnen berekenen:

$$T_g - T_w = (p_{A,w} - p_{A,g}) \frac{(\Delta H_v)_A (Le)^{-2/3}}{RT (\rho c_p)_{\text{gas}}}$$

Eist men nu bijvoorbeeld $T_g - T_w < 0,1^\circ\text{C}$, dan volgt hieruit met $(\rho c_p)_{\text{lucht}} \approx 1,3 \times 10^3 \text{ J/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$, $Le \approx 1$ en $RT \approx 2,5 \times 10^6 \text{ J/kmol}$ ($T = 300^\circ\text{K}$) dat $\Delta p_A \times (\Delta H_v)_A < 3,3 \times 10^9 \text{ (N/m}^2 \text{ J/kmol)}$ moet zijn.

Nu hebben R.W. Maxwell and J. Anderson-Storow²⁾

er enkele jaren geleden op gewezen dat kwik zeer geschikt is voor stofoverdrachtsmetingen naar gassen.

De voordelen zijn:

- a) De lage dampspanning bij kamertemperatuur, waardoor langzame verdamping en geen vrije convectie effecten optreden en geen temperatuur effect aan het oppervlak ($T_g - T_w < 0,001^\circ\text{C}$).
- b) Door middel van selectieve lichtabsorptie kan de kwikdampconcentratie in lucht zeer nauwkeurig worden gemeten.

Zij gebruikten koper en messing als dragermateriaal waarop het kwik werd aangebracht. Het oppervlak van zo'n systeem verouderde echter snel, vermoedelijk omdat het koperoppervlak werd geoxideerd door de zuurstof uit de lucht en bij het messing door zinkdiffusie naar het oppervlak.

Uit correspondentie met Mac-Leod van de Edinburgh University bleek ons dat zilver veel beter geschikt is als drager materiaal. Ook liet hij weten dat het door bovengenoemde onderzoekers gebruikt detectie instrument zeer sterk aan verloop van de instelling onderhevig was, wat zij waarschijnlijk niet opgemerkt hebben bij hun metingen.

I. 2. Het doel:

Het doel van het hier beschreven onderzoek was nu het bouwen van een goede kwikdampconcentratiemeter en het

doen van stofoverdrachtsmetingen tussen een gasstroom en geamalgemeerde metaaloppervlakken.

I.3. Principe:

Brengt men metalen zoals koper, messing en zilver in kontakt met kwik dan wordt er een amalgaam gevormd. Het opmerkelijke bij deze metalen is dat er -zoals we uit het toestandsdiagram bij kamertemperatuur kunnen zien- een ontmenging in het amalgaam optreedt, als we een voldoende grote hoeveelheid kwik gebruiken. Naast elkaar bestaan dan een metaal-kwik verbinding en vrij kwik.

Bekijken we het oppervlak van een op deze wijze behandeld metalen voorwerp, dan zien we een kwikfilm over het hele oppervlak. Aan dit oppervlak heerst dan ook de dampspanning van vrij kwik, die als functie van de temperatuur nauwkeurig bekend is³⁾.

Laten we nu een gas langs het voorwerp stromen en meten we de kwikdampconcentratie, dan hebben we een geschikt systeem voor het doen van stofoverdrachtsmetingen. Hieraan zijn de volgende voordelen verbonden:

- a) Door de lage verzadigingsconcentratie van kwik bij kamertemperatuur spelen vrije convectie effecten geen rol.
- b) Eveneens treedt er geen noemenswaardige temperatuurverlaging op aan het oppervlak waar de verdamping plaats heeft.
- c) Metaal is stevig en gemakkelijk te bewerken, zodat verschillende geometrieën bekeken worden.

II. Beschrijving van de apparatuur

1. Kwikdampconcentratiemeter:

De kwikdampconcentratiemeting berust op de selectieve absorptie van licht met golflengte $\lambda = 2537 \text{ \AA}$. Nu geldt voor de transmissie van een absorberend homogeen medium de volgende relatie:

$$\frac{\bar{I}}{\bar{I}_0} = e^{-\beta c l}$$

waarin:

$\bar{I}$ = intensiteit van het doorvallende licht bij conc. c .

$\bar{I}_0$ = intensiteit van het doorvallende licht bij conc. $c = 0$

β = constante

c = kwikdampconcentratie van het gas

l = lengte absorberende medium.

Als l vast ligt en β bekend is dan kan uit de verhouding $\bar{I}/\bar{I}_0$ de kwikdampconcentratie worden bepaald. Hiervoor hebben we een eenvoudig apparaat geconstrueerd bestaande uit de volgende onderdelen, zie figuur 1.

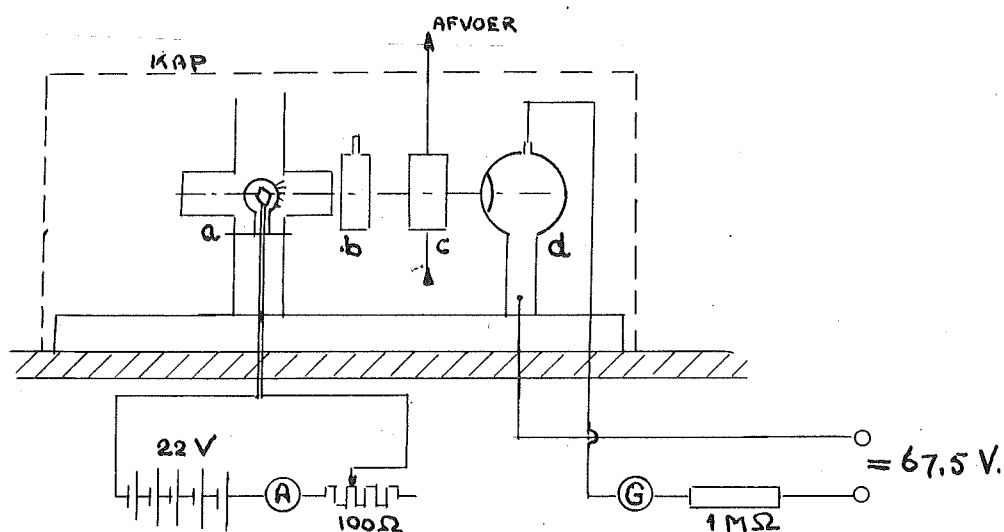


fig. 1: Schema kwikdampconcentratiemeter

- a) Een Philips TUV 4 Watt sterilisatielampje ($\bar{I}_\ell = 0,35 \text{ A}$) waaroverheen we een schoorsteentje plaatsen.
- b) Een uit kwartsglas bestaand vloeistoffilter (2 cm dik) met maximum doorlating bij $\lambda = 2537 \text{ Å}$, om de ongewenste lichtsoorten uit te doven.
De filtervloeistof bestaat uit: 3 vol% NiSO_4 + 2 vol% CoSO_4 plus een paar druppels (2n) H_2SO_4 om aanslag op de vensters te voorkomen.
- c) Een roestvrijstalen meetcuvet met opgeschroefde kwartsvensters, waardoor we het te detecteren gasmengsel leiden ($l = 2,5 \text{ cm}$).
- d) Een Cesium-Antimoon fotocel met kwartsballon waarvan de fotostroom met een microampère meter wordt gemeten;

de spanning is 67,5 V en in het circuit is een begrenzingsweerstand (1 M Ω) aanwezig. Deze is nodig om eventuele beschadiging van de fotocel door een te grote fotostroom te voorkomen.

Het lampje, het vloeistoffilter, het meetcuvet en de fotocel zijn op een stalen U-balk gemonteerd. Voorts is de fotocel verschuifbaar zodat we verschillende meetcuvetten tussen filter en fotocel kunnen plaatsen. Dit werd gedaan om bij de verschillende kwikdampconcentraties zo nauwkeurig mogelijk te kunnen meten. Over het geheel is een donkere kap geplaatst om het van buiten komende licht af te schermen.

Bij de beproeving van de kwikdampconcentratiemeter kwamen in het begin de volgende mankementen aan het licht: Als vloeistoffilter gebruikten we aanvankelijk een P.V.C.-houder met opgekitte kwartsvensters. Het bleek echter, dat de absorptie na verloop van tijd toenam. Dit komt waarschijnlijk doordat de weekmaker van het P.V.C. in de filtervloeistof oploste. Vandaar dat we bij het uiteindelijk apparaat een geheel uit kwartsglas bestaand vloeistoffilter hebben gebruikt. Voorts bleek dat het P.V.C. -waaruit alle leidingen en ook het meetcuvet bestond- sterk werd verontreinigd door de kwikdamp; vermoedelijk lost kwik in P.V.C. op. Hierdoor moesten we zeer lang (uren) wachten totdat bij spoelen met lucht geen kwik meer werd gedetecteerd (voor de bepaling van I_0). Die delen van het apparaat en de opstelling die met kwikdamp in aanraking komen of kunnen komen zijn dan ook later uit glas, perspex of roestvrij staal vervaardigd.

Verder zij opgemerkt, dat we in analogie met in de handel zijnde apparaten voor de bepaling van -voor de mens gevaarlijke- kwikdampconcentraties eerst zijn uitgegaan van een compensatiemeting met behulp van twee fotocellen. Op de ene fotocel viel daarbij de lichtbundel door het meetcuvet en op de andere een referentiebundel. Beide lichtstromen worden dan in een balans- of brugschakeling vergeleken. Het voortdurend verloop van de compensatieopstelling -door de ongelijke gevoeligheid van de fotocellen en de lekstromen- was zo, dat we de reeds beschreven eenvoudige kwikdampconcentratiemeter hebben gebouwd. Hiermee kunnen we snel en goed

meten en bovendien kan direct uit de eventueel veranderde waarde van I_0 gezien worden of het lampje, het filter, het cuvet en de fotocel goed functioneren. Voor de voeding van het lampje en de fotocel hebben we gebruik gemaakt van door accu's en batterijen geleverde gelijkspanning; en niet zoals in de handelsapparaten van gelijkgerichte wisselspanning, die nogal kan fluctueren.

II.2. De opstelling voor de ijking van de kwikdampconcentratie-meter.

De kwikdampconcentratiemeter kunnen we op twee manieren ijken, namelijk:

- a) We verzadigen lucht met kwik bij één bepaalde temperatuur, die we vervolgens kunnen mengen met verschillende hoeveelheden kwikvrije lucht.
- b) We verzadigen lucht met kwik bij verschillende temperaturen.

Aangezien men bij de eerste methode de gebruikte luchtstroom nauwkeurig moet kennen, gaan we volgens de tweede methode te werk. Hiervoor hebben we een kwikverzadiger geconstrueerd die uit een glazen buis ($D_i = 3$ cm) bestaat, waarin 8 gesinterde glasfilters (L 3) zijn aangebracht (zie figuur 2). Boven elk filter is een afsluitbaar toevoerbuisje, waardoor we op elk filter een laagje kwik (ca. 1 cm) kunnen brengen. Het bovenste filter waarop geen kwik wordt gebracht, dient om het opspattende kwik tegen te houden.

Deze kwikverzadiger dompelen we met de eronder bevestigde koelspiraal in een groot Dewarvat ($D_i = 11$ cm, holte 75 cm) dat gevuld is met spiritus, waaraan voor het bereiken van lage temperaturen vast CO_2 kan worden toegevoegd. In het vat brengen we ook een mechanische roerder aan om overal een gelijke temperatuur te verzekeren. Deze temperatuur meten we met een Chromel-Alumel thermokoppel in het bovenste laagje kwik van de kwikverzadiger. Dit thermokoppel is omgeven door een dunwandig glazen buisje, dat een kleine hoeveelheid trichlooraethaan bevat voor het betere warmtecontact tussen thermokoppel en kwik.

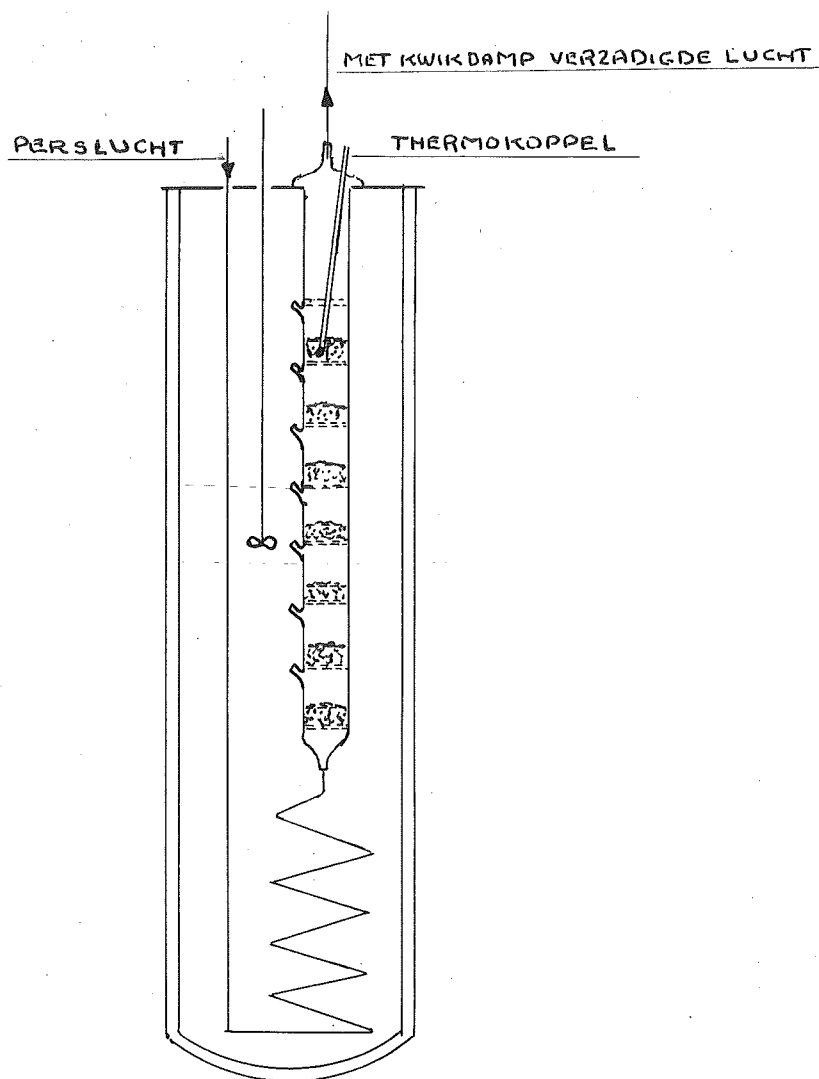


fig. 2: Kwikverzadiger met koelspiraal in Dewarvat.

De in figuur 2 geschetste en hierboven beschreven kwikverzadiger is na enig experimenteren ontstaan uit een glazen buis met maar één glasfilter met een laagje kwik erop. Door meer glasfilters te gebruiken en daarmee het aantal laagjes kwik te vergroten, bleek, dat we aan 4 à 5 laagjes kwik voldoende hadden bij een luchtsnelheid van ca. 1 à 5 l/min. Voor de zekerheid hebben we er zeven genomen. In een later stadium hebben we een uit filter kroezen bestaande kwikverzadiger, werkend bij lage temperatuur, voor de beschrevene geplaatst. Dit gaf geen verschil in de ijkingsresultaten.

II. 3. De opstelling voor het meten van de stofoverdracht:

(Zie fig. 3)

De meetmethode werd oorspronkelijk opgezet voor de bestudering van stofoverdracht van gepakte bedden naar stromende lucht. Niet alleen was in de loop van de tijd de nieuwsgierigheid naar dit verschijnsel afgenomen, maar ook leverde dit object enkele praktische moeilijkheden op. Het was een groot probleem om de kwikfilm enige tijd op het boloppervlak in stand te houden. We gingen namelijk uit van roestvrijstalen bollen waarop door het Metaalinstituut T.N.O. een dikke zilverlaag electrolytisch was aangebracht (ca. 0,5 mm). Deze dikke laag bleek een zeer grote handicap te zijn omdat er voor het in stand houden van de kwikfilm op het oppervlak geen overmaat zilver aanwezig mag zijn (zie I.3). Bovendien trok zich op de contactplaatsen tussen twee geamalgeerde bollen de kwikfilm samen. We zijn toen overgegaan op de bestudering van de stofoverdracht van gaasjes naar lucht. Dit gebeurde mede in verband met stofoverdrachtsmetingen van gaasjes naar een vloeistof door P. Vogtländer in ons laboratorium.

Hiervoor hebben we de volgende opstelling gebouwd (zie fig. 3, waarin we ook de ijkopstelling en de kwikdampconcentratiemeter hebben opgenomen).

Perslucht komt bij 1 en afsluiter 2 in het wattenfilter. Het wattenfilter dient om eventuele stof en olie-deeltjes uit de lucht te verwijderen.

Nu kunnen we met de leidingsystemen E of E' de stofoverdracht aan de gaasjes meten; met de leiding D de nulstand van het detectieapparaat bepalen en met leidingsysteem C het detectieapparaat ijken.

Het volgende moeten we bij deze opstelling nog vermelden wat betreft de aan deze opstelling te stellen eisen:

- 1^o) De gaasjes waaraan we de stofoverdracht willen meten, moeten aangestroomd worden met een vlak snelheidsprofiel.
- 2^o) Het benodigde volumedebiet wordt bepaald door de wens dat we in het Re gebied van 1 - 100 ten opzichte van de gaasjes willen meten.

- 3^o) De minimale hoeveelheid lucht met kwikdamp, die we door het detectieapparaat moeten sturen om een goede bepaling van de kwikconcentratie te krijgen, is ca. 1 l/mm.
- 4^o) Alle leidingen waar kwikdamp doorheen stroomt moeten van glas, perspex of staal zijn.

De opstelling is in een kast geplaatst met afzuiging naar buiten om de kwikdampen af te voeren. De kast wordt op 25°C gehouden in verband met de invloed van de temperatuur op de detectieresultaten. Vooral het detectieapparaat is hier gevoelig voor; voorts moeten we er zorg voor dragen dat er geen condensatie van kwik in de leidingen optreedt. Zie verder het schema van de opstelling in fig. 3 en de verklaring der onderdelen.

- 1) = perslucht
 2) = afsluiter in persluchtleiding
 3) = wattenfilter
 4) = naaldafsluiter
 5) grote regelkraan
 6 en 7) = glazen driewegkraan om rotameters I of II in te stellen
 8 en 9) = roestvrijstalen afsluiter
 10) = roestvrijstalen aanstroomsectie van de gaasjeshouder 11 met twee roestvrijstalen gazen ($D_i = 10$ cm), met een trechtervormig verloop naar de gaasjeshouder
 11) = gaasjeshouder bestaande uit twee in elkaar passende perspex buizen, (fig. 4)

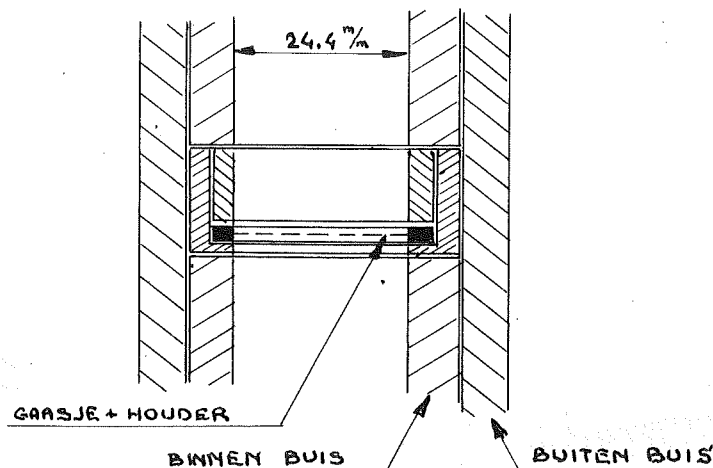


fig. 4

- 12) = knijpkraan van grote bypass
- 13) = roestvrijstalen afsluiter
- 14) = glazen kraan in schoonspoelleiding voor de bepaling van I_0
- 15) = kleine bypass met glazen afsluitkraan
- 16) = glazen afsluitkraan van ijkopstelling

I en II rotameters voor $1 < Re < 10$

III rotameter ter controle op het volumedebiet door het detectieapparaat

IV rotameter voor $10 < Re < 100$

A = Chromel-Alumel thermokoppel (0,2 mm)

B = Chromel-Alumel thermokoppel (0,3 mm) met roestvrijstalen mantel om de temperatuur van de lucht bij de gaasjes te meten en daarmee de verzadigings dampspanning van kwik bij die temperatuur.

C = leidingsysteem van de ijkopstelling

D = schoonspoelleiding ter bepaling van de nulstand (I_0) van het detectieapparaat

E = leidingsysteem voor kleine volumedebieten ($0 < Re < 10$)

E' = leidingsysteem voor grote volumedebieten ($10 < Re < 100$)

F = detectieapparaat

G = kwikverzadiger; met een "extra" kwikverzadiger ervoor.

Voordat we nu kunnen gaan meten, moeten we eerst de Rotameters, de thermokoppels en het detectieapparaat ijken. De rotameters zijn in de opstelling geijkt met een natte gasmeter. De thermokoppelspanning meten we met een compensatiebank.

III. IJkingen:1. IJking rotameters

Rotameter I F & P CO Tube no. 2-F 1/4-20-5/36

zie grafiek I.

temperatuur 21,5°C, druk $\approx$ 760 mm Hg

Rotameterstand	$m^3 \cdot 10^{-3}$	sec	$\varnothing_v \times 10^{-6}$ in m^3/sec
1	1	102,8	9,73
2	2	85,5	23,20
3	1	26,8	37,30
4	2	39,3	50,90
5	2	30,9	64,75
6	5	62,9	79,50
7	5	52,7	95,00
8	5	45,5	110,00
9	9,8	78,5	124,80
10	10	71,5	140,00
11	10	63,1	158,50
12	10	57,1	175,00
13	10	52,0	192,3
14	10	47,6	210,0
15	10	43,5	230,0
16	10	40,7	246,0
17	10	37,4	267,0
18	20	69,8	286,7
19	20	65,3	306,5
20	20	61,2	327,0

We hebben geijkt in volgorde van de Rotameterstanden

1, 3, 5, ---- 19, 20, 18, 16, ---- 4, 2.

Rotameter II bleek een te klein volumedebiet te geven
voor het doen van geschikte metingen $(0 - 46) \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$.

Rotameter III F & P CO Tube no. 0,2 F 1/8-20-5/36

zie grafiek 2.

temperatuur $21,5^\circ\text{C}$, druk $\approx 760 \text{ mm Hg}$

Rotameterstand	$\text{m}^3 \cdot 10^{-3}$	sec	l/min	$\phi_v \times 10^{-6} \text{ in } \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$
11,9	1,0	61,2	0,981	0,05880
9,9	1,0	79,4	0,757	0,04540
7,8	0,5	58,6	0,512	0,03070
6,0	0,5	89,0	0,337	0,02020
4,0	0,3	112,3	0,160	0,00960
1,9	0,1	152,5	0,039	0,00234
3,1	0,1	65,2	0,092	0,00552
5,0	0,3	76,8	0,235	0,01410
7,0	0,5	69,8	0,430	0,02580
9,2	0,5	44,6	0,673	0,04030
10,8	0,5	34,8	0,863	0,05180

Rotameter IV F & P CO Tube no. B5A-25-A G-17170-0

zie grafiek 2^a

temperatuur $21,5^\circ\text{C}$, druk $\approx 760 \text{ mm Hg}$

Rotameterstand	$\text{m}^3 \cdot 10^{-3}$	sec	$\phi_v \times 10^{-6} \text{ in } \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$
4,94	10	20,7	483
8,16	10	14,2	704
12,30	10	9,9	1010
16,93	20	14,7	1360
22,42	60	33,2	1807
25,10	60	29,9	2002
19,17	60	38,7	1550
14,00	30	26,5	1133
9,94	30	35,9	836
5,95	10	18,4	543
3,80	9,7	24,2	400

III. 2. IJking thermokoppels A en B:

Zie grafiek 3.

In grafiek 3 is uitgezet de thermokoppelspanning als functie van de temperatuur. De gevonden waarden voor de thermokoppels A en B bleken minder dan $\frac{1}{2}\%$ van elkaar te verschillen, zodat we volstaan met het geven van één serie waarnemingen.

Koude las temperatuur 0°C

Temperatuur in $^{\circ}\text{C}$ mV x 0,025 Temperatuur in $^{\circ}\text{C}$ mV x 0,025

-0,50	-0,63	0,47 ⁵	0,84
-0,60	-0,77	1,03 ⁵	1,72
-1,55	-2,44	1,73	2,93
-1,70	-2,56	2,65	4,42
-1,85	-2,72	3,87 ⁵	6,19
-2,65	-4,10	5,25	8,54
-3,55	-5,56	6,47	10,50
-4,50	-7,06	7,55	12,36 ⁵
-5,50	-8,52	9,15	14,94
-6,80	-10,68	10,55	17,12
-8,05	-12,84	11,45	18,44
-8,65	-13,63	13,15	21,30
-10,00	-16,00	14,20	23,10
-11,95	-18,94	15,90	25,78
-12,90	-20,34	17,60	28,71
-14,00	-22,08	19,10	31,09
-15,00	-23,61	20,38	33,10
-15,45	-24,13	22,00	35,77
		23,57	37,97
		25,60	41,12

III. 3. De dampdruk van kwik als functie van de temperatuur:

zie grafiek 4.

Uit: Handbook of Chemistry and Physics - 14th Edition.

Deze hebben we nodig voor het ijken van de meetapparaatuur. Voor het gemak van het aflezen van de dampdruk van

van kwik bij de waarnemingen zijn grafiek 3 en 4 samengevat in grafiek 5. Hierin is uitgezet de partiële dampspanning van kwik als functie van de thermokoppelspanning.

III. 4. IJking kwikdampconcentratiemeter:

Zie grafiek 6.

De ijking gaat als volgt (fig. 3). We openen naaldventiel 4 en kraan 14 in leiding D en houden alle overige kranen gesloten. De nulstand van het meetapparaat wordt aangegeven door I_0 . Nu sluiten we de leiding D af en openen naaldventiel 4 en kraan 16 in leiding C. De lucht, die in kwikverzadiger G met kwik verzadigd wordt, stroomt door rotameter III naar het meetapparaat-. De afgelezen stroomsterkte I gedeeld door I_0 is nu een maat voor de kwikdampconcentratie in de lucht. Zie hiervoor pag. 4 de kwikdampconcentratiemeter. Hierbij merken we op, dat met de fotocel de lichtstroom (lichtintensiteit) wordt gemeten met de fotostroom. Bij onze metingen zetten we I/I_0 uit tegen de partiële dampspanning van kwik. Dit is toegestaan, aangezien voor onverzadigde gassen $c = p/RT$.

In verband met de ionisatie van de kwikdamp door ultraviolette straling en de instelsnelheid van de kwikdampconcentratiemeter hebben we de volumestroom door het meetcuvet 1 l/min. genomen.

IJkresultaten van de kwikdampconcentratiemeter:

I in μA	I_0 in μA	I/I_0	Thermokoppel spanning in mV x 0,025	Part. dampspanning kwik in 10^{-6} Hg
--------------------	------------------------	---------	---	--

1^e dag

7,04	2,37	0,336	29,67	1026
7,04	3,08	0,438	23,67	740

2^e dag

7,04	2,87 ⁵	0,408	25,10	800
7,02 ⁵	2,37	0,337	29,68	1027
7,02	1,99	0,2835	33,20	1243
7,01 ⁵	1,87	0,2665	34,45	1332
7,01	1,70	0,2425	36,68	1491

3^e dag

7,07	2,44	0,345	28,92	985
7,08	3,23	0,456	22,24	685
7,07	3,82	0,541	17,60	529
7,06	4,51 ⁵	0,638	11,30	366
7,12 ⁵	4,43	0,622	12,43	392
7,12 ⁵	5,08 ⁵	0,714	6,23	272
7,13	5,67	0,795	0,00	185
7,08 ⁵	5,61	0,792	0,20	186
7,11	6,00	0,844	-4,74	133
7,11 ⁵	6,57	0,924	-16,73	56,3
7,11	6,26	0,881	-8,08	105
7,11 ⁵	5,64	0,793	0,00	185
7,08	4,91 ⁵	0,694	7,55	292
7,11	4,17	0,586	14,50	443
7,12	3,46	0,486	20,62	626
7,12 ⁵	2,62	0,386	27,42	908
7,11 ⁵	2,20	0,309	31,60	1140

4^e dag

7,11	2,37 ⁵	0,334	29,60	1023
7,12 ⁵	2,17 ⁵	0,306	31,58	1139
7,10	1,82	0,257	35,20	1378

Deze ijkingen, die op verschillende dagen uitgevoerd zijn, tonen aan dat we een wel zeer goed werkend en reproduceerbaar detectieapparaat hebben.

IV. De metingen:

1. Inleiding:

De metingen gaan als volgt. We plaatsen het geamalgemeerde gaasje in de gaasjeshouder (11) en bevestigen deze in de opstelling. Eerst bepalen we de nulstand van het meetapparaat door naaldventiel (4) en kraan 14 in de leiding D te openen, terwijl we de overige kranen gesloten houden. Dit geeft I_0 . Na leiding D te hebben afgesloten, stellen we met driewegkraan 6 en 7 in op rotameter I of II. We openen de kranen 8 en 13, waarna we met naaldventiel 4 in leiding E het volumedebiet instellen. Bypass 15 openen we zover tot er 1 l/min door het meetapparaat gaat. De stand van de galvanometer geeft ons dan I. Tevens meten we met thermokoppel B de temperatuur van de lucht bij de gaasjes, waarna we uit grafiek 5 de verzadigings dampspanning van het kwik aflezen. Uit de ijkgrafiek voor het meetapparaat (grafiek 6), bepalen we de werkelijke partiële dampspanning van de lucht.

De gemeten waarden voor het volumedebiet, de verzadigings- en de werkelijke kwikdampspanning zijn voldoende om uit de formule

$$\dot{V}''_{\text{mol}} = k_g (p_{\text{Hg},w} - p_{\text{Hg},f})$$

de over het actieve oppervlak gemiddelde stofoverdrachtscoëfficiënt k_g te berekenen.

2. Metingen aan gaasjes:

Aanvankelijk werd uitgegaan van zilvergaas waarop we kwik aanbrachten door de gaasjes in een kwikbad onder te dompelen en het teveel aan kwik eraf te tikken. De metingen hieraan leverden geen reproduceerbare resultaten op, wat veroorzaakt wordt door het oplossen van het zilver in het

kwikbad (het actieve oppervlak verandert. Bovendien is na korte tijd, evenals bij de bollen met de dikke zilverlaag (zie hoofdstuk II.3,) het oppervlak niet geheel meer met kwik bevochtigd.

Na deze ervaring zijn we overgegaan op roestvrij staal gaas, waarop een dunne laag zilver electrolytisch is aangebracht (10 - 20 μm). De metingen met geamalgemde verzilverde roestvrijstalen gaasjes leverden, na enig experimenteren, geschikte meetobjecten op met een levensduur van ongeveer één uur. Daarna is regeneratie niet meer mogelijk doordat het oppervlak vuil geworden is.

De werkwijze is nu als volgt: we dompelen een verzilverd gaasje dat op een roestvrijstalen ringetje (dikte 1 mm) gepuntlast is, 's avonds in het kwikbad. De volgende dag halen we het gaasje uit het kwik, tikken het teveel aan kwik eraf en plaatsen het in de gaasjeshouder voor het doen van een meetserie op de reeds bovenbeschreven wijze.

We hebben gemeten aan drie gaasjes 1, 2 en 3, waarvan het volgende bekend is:

	gaasje 1	gaasje 2	gaasje 3
draaddikte d_u in m	$0,2835 \cdot 10^{-3}$	$0,3081 \cdot 10^{-3}$	$0,3591 \cdot 10^{-3}$
draadopp. in m^2/m^2	2,42	1,86	1,73
draadopp. F_g in m^2 gebruikt bij bepaling k_g	$11,3 \times 10^{-4}$	$8,7 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-4}$
aantal mazen/ m^2	$184 \cdot 10^4$	$92,6 \cdot 10^4$	$58,7 \cdot 10^4$
$A_{\text{vrij}}/A_{\text{tot.}}$	0,379	0,494	0,525

3. Meetresultaten:

3.1 1^e gaasje

Metingen aan een geamalgemd gaasje (bij $0,5 < \text{Re} < 8$).

I_0 in μA	I in μA	I/I_0	Thermokoppel spanning B in mV x 0,025	Verzadigings- dampspanning kwik in 10^{-6} mm Hg	Werkelijke dampspanning kwik in 10^{-6} mm Hg	Rot. I	ϕ_v in 10^{-6} m ³ /sec
7,08	1,80	0,2535	36,28	1460	1415	1,5	16,6
7,08	1,93	0,272	36,32	1465	1300	3,0	37,3
7,08	2,20	0,311	36,34	1465	1113	5,0	65,0
7,08	2,48	0,350	36,40	1471	967	7,0	94,7
7,08	2,81	0,397	36,22	1455	833	9,0	125,0
7,08	3,04	0,428	36,43	1473	753	11,0	157,7
7,08	3,22	0,455	36,80	1501	693	12,6	185,0
7,08	3,33	0,471	36,92	1510	657	13,6	203,0
7,08	2,82	0,398	36,50	1477	830	9,0 ⁵	125,6

Metingen aan twee geamalgeerde R.V.S. gaasjes op 1 mm afstand van elkaar in de gasstroom
($0,5 < Re < 8$).

7,06	1,79	0,2535	35,76	1420	1415	1,5	16,6
7,06	1,84	0,2605	35,40	1395	1370	3,0	37,3
7,06	1,93	0,2735	35,23	1382	1295	5,1	66,6
7,06	2,04	0,2890	35,28	1386	1210	7,0	94,7
7,06	2,16	0,3060	35,52	1403	1135	9,0	125,0
7,06	2,28	0,3220	35,87	1428	1070	11,0	157,7
7,06	2,38	0,3360	36,15	1450	1015	12,6	185,0
7,06	2,48	0,3505	36,25	1458	965	13,9 ⁵	209,5
7,06	2,14	0,3020	35,87	1428	1150	8,9 ⁵	124,5

3.2 Meetresultaten 2^e gaasje:

tussen $1 < Re < 90$

I_0 in μA	I in μA	I/I_0	Thermokoppel spanning in mV $\times 0,025$	Verzadigings dampspanning kwik in mm Hg. 10^{-6}	Werkelijke dampspanning kwik in mm Hg. 10^{-6}	Stand rotameters I en IV (tussen haken)	$\emptyset$ in $m^3/sec.$ 10^{-6}	$Re = \frac{\bar{v} d_u}{\nu}$
6,93	2,44	0,353	32,62	1205	955	2,50 (I)	30	1,33
6,98	3,53	0,506	32,97	1227	587	7,35 (I)	100	4,36
6,99	4,39	0,628	33,45	1260	382	15,05 (I)	230	10,04
6,95	4,39	0,631	33,78	1281	378	15,20 (I)	233	10,18
7,01	5,18	0,739	32,21	1174	243	4,82 (IV)	477	20,90
7,06	5,01	0,709	34,17	1307	277	5,06 (IV)	493	21,57
7,05	5,33	0,756	34,07	1300	225	8,30 (IV)	715	31,30
7,04	5,58	0,793	34,00	1296	185	12,20 (IV)	1000	43,80
7,03	5,93	0,844	32,36	1188	134	17,50 (IV)	1406	61,50
7,02	6,18	0,866	31,64	1145	113	24,35 (IV)	1960	85,70

3.3 Meetresultaten 3^e gaasje

1 < Re < 100

I_0 in μA	I in μA	I/I_0	Thermokoppel spanning in mV x 0,025	Verzadigings dampspanning kwik in mm Hg x 10^{-6}	Werkelijke dampspanning kwik in mm Hg x 10^{-6}	Stand rotameters I en IV (tussen haken)	$\varnothing_3$ in $m^3/sec.$ 10^{-6}	Re = $\left(\frac{\bar{v} d_u}{\nu} \right)$
7,12	2,57	0,3615	33,13	1238	930	2,50 (I)	30	1,53
7,12	3,67	0,5165	33,68	1275	568	7,40 (I)	100	5,06
7,12	4,51	0,6340	34,13	1304	374	15,00 (I)	229	11,54
7,12	4,53	0,6370	34,15	1305	370	15,10 (I)	230	11,62
7,12	5,20	0,7315	34,56	1333	252	5,07 (IV)	493	24,87
7,12	5,32	0,7470	33,12	1238	234	5,17 (IV)	500	25,25
7,12	5,48	0,7710	34,18	1307	208	8,10 (IV)	704	35,55
7,12	5,74	0,8070	33,67	1275	171	12,18 (IV)	1000	50,50
7,12	5,97	0,8390	33,08	1231	139	17,20 (IV)	1386	69,90
7,12	6,17	0,8670	32,66	1208	112	24,03 (IV)	1935	97,70

V. 1. Berekeningen:

De berekening van de stofoverdrachtscoëfficiënt gaat met de formule

$$\phi_{\text{mol,Hg}} = \frac{kF_g}{RT} (p_{\text{Hg,w}} - p_{\text{Hg,f}}) \quad \text{-----} \quad (1)$$

waarin: $\phi_{\text{mol,Hg}}$ = kwik molenstroom per tijdseenheid
 k = stofoverdrachtscoëfficiënt (in m/sec)
 F_g = oppervlak van alle draadjes van één gaasje (m^2)
 $p_{\text{Hg,w}}$ = partiële dampspanning kwik aan het gaasje
 $p_{\text{Hg,f}}$ = partiële dampspanning kwik van de lucht bij de gaasjes
 T = absolute temperatuur in $^{\circ}\text{K}$
 R = ideale gasconstante

We nemen aan dat $p_{\text{Hg,f}}$ gelijk is aan de partiële dampspanning aan de aanstroomzijde. Dit is voor lage Reynoldsgetallen zeker niet juist, maar voor hogere Reynolds getallen acceptabel, zoals later besproken zal worden.

$$\text{Ook is: } \phi_{\text{mol,Hg}} = \frac{\phi_v}{RT} p_{\text{Hg,f}_u} \quad \text{-----} \quad (2)$$

waarin: $p_{\text{Hg,f}_u}$ = partiële dampspanning kwik achter het gaasje (mm Hg)

Uit (1) en (2) volgt: $\phi_v p_{\text{Hg,f}_u} = k F_g (p_{\text{Hg,w}} - p_{\text{Hg,f}})$.

We krijgen nu voor één gaasje:

$$k = \frac{\phi_v}{F_g} \cdot \frac{p_{\text{Hg,f}_u}}{p_{\text{Hg,w}}} \quad \text{-----} \quad (3)$$

Voor twee gaasjes is:

De totale molenstroom = bijdrage 1^e gaasje plus bijdrage 2^e gaasje

$$\phi_v p_{\text{Hg,f}_u} = k F_g p_{\text{Hg,w}} + k F_g (p_{\text{Hg,w}} - p'_{\text{Hg,f}})$$

$$\text{of } \phi_v p_{\text{Hg},f_u} = k F_g (2p_{\text{Hg},w} - p'_{\text{Hg},f}) \Rightarrow (p'_{\text{Hg},f} = p_{\text{Hg},f_u} \text{ voor één gaasje})$$

$$\Rightarrow K = \frac{\phi_v}{F_g} \frac{p_{\text{Hg},f_u}}{2p_{\text{Hg},w} - p'_{\text{Hg},f}} \quad \text{-----} \quad (4)$$

Opmerking:

Bij metingen aan twee gaasjes moeten we $p'_{\text{Hg},f}$ berekenen met

$$p'_{\text{Hg},f} = \frac{k F_g}{\phi_v} p_{\text{Hg},w} \quad \text{-----} \quad (3a)$$

Er zijn nog twee bijzonderheden te bespreken:

1) Bij zeer lage Re komt het gas verzadigd uit het gaas:

$$p_{\text{Hg},f_u} = p_{\text{Hg},w}$$

zodat als men (3) zou gebruiken volgt " k " = $\frac{\phi_v}{F_g}$ ----- (5)

Tekent men dit in grafiek als $Sh = f(Re)$, dan moeten de meetpunten rechts van deze grens liggen, anders is er iets mis.

2) De wederzijds beïnvloeding van de concentraties.

Aan de voorkant van een draadje vindt de meeste stofoverdracht plaats. Als de concentratie in het midden van een gat in het vlak van het gaas nog nul is, kunnen we ^{er} praktisch zeker van zijn dat de veronderstelling $p_{\text{Hg},f} = 0$ nog goed is. Veronderstellen we een vlak snelheidsprofiel, een parabolisch concentratie profiel en een rond gat, dan kunnen we concluderen, dat bij een relatieve verzadiging

$$p_{\text{Hg},f_u} / p_{\text{Hg},w} < 0,25$$

de zaak zeker goed is en vermoedelijk voor

$$p_{\text{Hg},f_u} / p_{\text{Hg},w} < 0,50 \text{ ook al.}$$

In de literatuur worden vaak de resultaten van stof-overdrachtsmetingen aan cilinders weergegeven door relaties van de vorm:

$$Sh = C_1 Sc^{0,20} + C_2 Re^{0,50} Sc^{0,33}$$

In deze vorm zullen wij ook onze resultaten weergeven waarin Sh, Re en Sc dimensieloze variabelen zijn, gedefinieerd door:

$$Sh = \frac{k d_u}{D} ; Re = \frac{\bar{v} d_u}{\nu} \text{ en } Sc = \frac{\nu}{D}$$

Sh en Re zijn op de draadjes diameter betrokken.

Verder is: k = stofoverdrachtscoëfficiënt in m/sec

d_u = draadjesdiameter in m

D = diffusiecoëfficiënt Hg in lucht in m^2/sec

$\bar{v}$ = gemiddelde snelheid over de doorsnede van de gaasjes

ν = kinematisch viscositeit in m^2/sec

Voor de diffusie coëfficiënt van kwik in lucht staat ons alleen de coëfficiënt van kwik in stikstof ter beschikking bij $0^\circ C$ en 760 mm Hg ⁵⁾.

Hieruit kunnen we met de formule $D = D_0 \left(\frac{I}{I_0} \right)^2 \frac{p_0}{p}$

de diffusiecoëfficiënt berekenen, als we aannemen dat we inderdaad de bovengenoemde waarde mogen gebruiken.

V. 2. Berekeningen aan gaasjes.

We hebben slechts enkele metingen aan drie verschillende gazen kunnen doen, waarvan we de uitkomsten hieronder in tabelvorm weergegeven.

V. 2.1 1^e gaasje

Zie grafiek 7, waarin $Sh/Sc^{1/3}$ is uitgezet als functie van $\sqrt{Re}$. Tevens hebben we daarin de grenzen "k" =

$$\frac{\phi_v}{F_g} \text{ en "k" = } 0,5 \frac{\phi_v}{F_g} \text{ uitgezet.}$$

Twee gaasjes op 1 mm van elkaar in de gasstroom.

Re	Sh	Sc	$Sc^{1/3}$	$Sh/Sc^{1/3}$	$\sqrt{Re}$
0,65	0,31	1,158	1,05	0,29	0,81
1,49	0,63	"	"	0,60	1,22
2,66	0,96	"	"	0,92	1,63
3,78	1,18	"	"	1,12	1,94
4,96	1,34	"	"	1,28	2,23
4,98	1,36	"	"	1,29	2,23
6,28	1,52	"	"	1,45	2,51
7,37	1,61	"	"	1,54	2,72
8,35	1,70	"	"	1,62	2,89

Een gaasje

0,66	0,31	1,158	1,05	0,29	0,81
1,48	0,63	"	"	0,60	1,22
2,59	0,95	"	"	0,90	1,61
3,77	1,19	"	"	1,13	1,94
4,97	1,37	"	"	1,30	2,23
4,99	1,35	"	"	1,28	2,23
6,26	1,54	"	"	1,47	2,50
7,36	1,63	"	"	1,56	2,71
8,08	1,69	"	"	1,61	2,84

Aan deze gaasjes hebben we geen metingen kunnen doen bij hogere Reynolds getallen (tussen 10 en 100). We kunnen wel zien dat de resultaten onderling zeer weinig verschillen. Ook kunnen we uit grafiek 7 zien dat de fout in de aanname van $Re \approx 0,5 - 6$ voor de $p_{Hg,f}$ van belang wordt.

V. 2.2 2^e gaasje

Zie grafiek 8, waarin $Sh/Sc^{1/3}$ is uitgezet als functie van $\sqrt{Re}$. Tevens zijn de grenzen

"k" = $\frac{v}{F_g}$ en "k" = $0,5 \frac{v}{F_g}$ daarin uitgezet.

Re	Sh	Sc ^{1/3}	Sh/Sc ^{1/3}	$\sqrt{Re}$
1,33	0,64	1,05	0,61	1,15
4,36	1,28	"	1,21	2,09
10,04	1,86	"	1,78	3,17
10,18	1,84	"	1,75	3,19
20,90	2,65	"	2,52	4,58
21,57	2,80	"	2,67	4,64
31,30	3,31	"	3,15	5,59
43,80	3,82	"	3,64	6,62
61,50	4,24	"	4,04	7,84
85,70	5,18	"	4,93	9,26

Uit grafiek 8 kunnen we de betrekking opstellen:

$$Sh = 0,63 Sc^{0,20} + 0,55 Re^{0,5} Sc^{0,33} \quad (1 < Re < 100)$$

Opmerking:

Aangezien $Sc \approx 1$, mogen we voor de eerste term rechts van het gelijkteken $Sc^{0,20}$ in plaats van $Sc^{0,33}$ zetten.

V. 2.3 3^e gaasje

Zie grafiek 8.

Re	Sh	Sc ^{1/3}	Sh/Sc ^{1/3}	$\sqrt{\text{Re}}$
1,53	0,84	1,05	0,80	1,24
5,06	1,53	"	1,45	2,25
11,54	2,23	"	2,13	3,40
11,62	2,23	"	2,12	3,41
24,87	3,18	"	3,03	4,99
25,25	3,22	"	2,97	5,03
35,55	3,83	"	3,65	5,96
50,50	4,58	"	4,36	7,11
69,90	5,34	"	5,08	8,36
97,70	6,12	"	5,83	9,88

Uit grafiek 8 kunnen we de volgende betrekking opstellen:

$$\text{Sh} = 0,73 \text{ Sc}^{0,20} + 0,59 \text{ Re}^{0,50} \text{ Sc}^{0,33} \quad (1 < \text{Re} < 100).$$

VI. 1.1 Vergelijking van de uitkomsten met die van anderen.

Vergelijken we nu deze uitkomsten met die welke P. Vogtländer gevonden heeft voor de stofoverdracht van gaasjes naar een vloeistof⁵⁾, dan zien we dat de orde van grootte van de gevonden constanten -in hetzelfde Reynolds gebied- aardig met elkaar in overeenstemming zijn. Zie onderstaande tabel.

Vogtländer vindt⁵⁾

$$1 < \text{Re} < 100$$

$$\text{Sh} = 0,64 \text{ Sc}^{0,20} + 0,52 \text{ Re}^{0,50} \text{ Sc}^{0,33}$$

$$A_{\text{vrij}}/A_{\text{tot}} = 0,56$$

$$\text{Sh} = 1,03 \text{ Sc}^{0,20} + 0,61 \text{ Re}^{0,50} \text{ Sc}^{0,33}$$

$$A_{\text{vrij}}/A_{\text{tot}} = 0,66$$

Wij vinden

$$1 < \text{Re} < 100$$

$$Sh = 0,63 Sc^{0,20} + 0,55 Re^{0,50} Sc^{0,33}$$

$$A_{vrij}/A_{tot} = 0,49$$

$$Sh = 0,73 Sc^{0,20} + 0,59 Re^{0,59} Sc^{0,33}$$

$$A_{vrij}/A_{tot} = 0,53$$

VI. 1.2

Vergelijken we de gevonden relatie (met Reynolds betrokken op de draadjes en de snelheid tussen de draadjes Re_m), dan vinden we het volgende (zie tabel).

Vogtländer vindt

$$1 < Re < 100$$

$$Sh = 0,64 Sc^{0,20} + 0,42 Re_m^{0,50} Sc^{0,33}$$

$$A_{vrij}/A_{tot} = 0,56$$

$$Sh = 1,03 Sc^{0,20} + 0,45 Re_m^{0,50} Sc^{0,33}$$

$$A_{vrij}/A_{tot} = 0,66$$

Wij vinden

$$1 < Re < 100$$

$$Sh = 0,44 Sc^{0,20} + 0,38 Re_m^{0,50} Sc^{0,33}$$

$$A_{vrij}/A_{tot} = 0,49$$

$$Sh = 0,52 Sc^{0,20} + 0,42 Re_m^{0,50} Sc^{0,33}$$

$$A_{vrij}/A_{tot} = 0,53$$

Onze relaties zijn bepaald uit grafiek 9 door de Reynoldswaarden betrokken op de draadjesdiameter en de doorsnede van de gaasjes te vermenigvuldigen met $1/A_{vrij}/A_{tot}$.

VI. 2. Nauwkeurigheid van de kwik^{damp}concentratiemeting.

Uit de formule Lambert: $I/I_0 = e^{-\beta c \ell}$ volgt:

$$c = -\frac{1}{\beta \ell} \quad \text{en} \quad \frac{I}{I_0} \Rightarrow \text{differentieren geeft:}$$

$$\frac{dc}{dI} = -\frac{1}{I} \cdot \frac{1}{\beta \ell} \rightarrow \Delta c = -\frac{1}{I} \frac{1}{\beta \ell} \Delta I = -\frac{1}{\beta \ell} \frac{\Delta I}{I}$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{1}{\ln I/I_0} \frac{\Delta I}{I} \quad \text{Stel } I/I_0 = \varphi \text{ (transmissie)}$$

$$\text{dan is: } \frac{\Delta c}{c} = \frac{1}{\ln \varphi} \frac{\Delta \varphi}{\varphi} \quad \text{differentieren geeft:}$$

$$\frac{d(\frac{\Delta c}{c})}{d\varphi} = \frac{-\Delta \varphi}{\ln^2 \varphi \cdot \varphi^2} - \frac{\Delta \varphi}{\ln \varphi} \cdot \frac{1}{\varphi^2}$$

$$\text{Een extreem wordt bereikt als } \frac{d(\frac{\Delta c}{c})}{d\varphi} = 0 \Rightarrow$$

$$\ln \varphi = -1 \rightarrow \varphi = \frac{1}{e} \quad I/I_0 = \frac{1}{e} \rightarrow I = 0,37 I_0$$

$$\text{dan is: } \frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta \varphi}{\varphi}$$

Als de transmissie met een absolute nauwkeurigheid van 1/2% afgelezen kan worden, dan bedraagt de minimale fout $\frac{\Delta c}{c} = \frac{0,005}{0,37} = 0,014 = 1,4\%$.

Gaan we nu na wat de onnauwkeurigheden zijn bij de verschillende transmissies als $\Delta \varphi = 1/2\%$, dan vinden we uit $\frac{\Delta c}{c} = \frac{1}{\ln \varphi} \frac{\Delta \varphi}{\varphi}$

φ	$\Delta c/c$ in %
0,1	2,17
0,2	1,55
0,3	1,38
1/e	1,36
0,4	1,37
0,5	1,44
0,6	1,63
0,7	2,00
0,8	2,81
0,9	5,32

Voor een nauwkeurige meting moet φ dus tussen 0,3 en 0,5 liggen. Uit onze waarnemingen zien we dat alleen bij het 1^e gaasje nauwkeurig is gemeten en dat we voor de metingen bij het 2^e en 3^e gaasje een groter meetcuvet hadden moeten gebruiken. De lengte van dit grotere cuvet kan berekend worden door β uit de ijkgrafiek van het detectieapparaat te bepalen. Toch lijkt het niet verstandig om tijdens de metingen van cuvet te wisselen, omdat er dan gevreesd moet worden voor een niet reproduceerbare ijkgrafiek. Dit wordt veroorzaakt door verandering in de opstelling der onderdelen van het detectieapparaat.

VI. 3. Conclusie:

Met de nu gebouwde kwikdampconcentratie meter, de ijk- en de meetopstelling kunnen op -zij het enigszins tijdrovende- maar nauwkeurige wijze stofoverdrachtsmetingen worden gedaan. Hierbij kan de nauwkeurigheid hoog zijn door steeds het juiste cuvet in het detectieapparaat te plaatsen.

Bij voortgezette metingen is het echter aanbevelenswaardig ook eens naar de stofoverdracht van een enkel draadje te kijken. Dit om de invloed na te gaan van de bij de gaasjes aanwezige overlappingspunten. Tevens zal van elk draadje of gaasje het oppervlak moeten worden opgemeten, daar deze van

geval tot geval verschilt. Ook moet de druk bij de gaasjes gemeten worden om daardoor de diffusiecoëfficiënt nauwkeuriger te kunnen berekenen.

Dat de resultaten van dit onderzoek redelijk overeenstemmen met die van anderen, bevestigt de waarde van de gebezigde methode waarbij stofoverdracht van vaste voorwerpen naar gassen gemeten wordt met behulp van de selectieve absorptie van kwiklicht door kwikdamp.

Symbolenlijst.

- A_{tot} = oppervlak van de lege doorsnede van de gaasjeshouder (m^2)
- A_{vrij} = vrije doorstroom oppervlak van de gaasjes (m^2)
- c = kwikdampconcentratie in de lucht (mol/m^3)
- c_1 = constante
- c_2 = constante
- d_u = diameter draadjes van de gaasjes (mm)
- d_i = inwendige diameter (cm)
- $\mathcal{D} = \mathcal{D}_0 \left(\frac{I}{I_0} \right)^2 \frac{p_0}{p}$ = diffusiecoëfficiënt van kwik naar lucht (m^2/sec) bij temp. T en druk p
- $\mathcal{D}_0$ = diffusiecoëfficiënt van kwik naar lucht bij temp. T_0 en druk p_0
- F_g = oppervlak van de gaasjes waaraan de stofoverdracht plaatsvindt
- I = een maat voor het door het meetcuvet vallende licht bij concentratie c (μA)
- I_0 = een maat voor het doorvallende licht bij concentratie $c = 0$ (μA)
- k_g = stofoverdrachtscoëfficiënt (m/sec)
- $k_g = \frac{\phi''_{\text{mol, Hg}}}{(p_{\text{Hg, w}} - p_{\text{Hg, f}})}$
- ℓ = lengte absorberende medium (= lengte meetcuvet $\approx 2,5$ cm)
- p = druk in atmosfeer
- p_0 = 1 atmosfeer
- $p_{\text{Hg, f}}$ = gemiddelde partiële dampspanning kwik van de lucht bij het gaasje
- $p_{\text{Hg, w}}$ = partiële dampspanning kwik aan de gaasjes
- $p_{\text{Hg, f, u}}$ = " " " na de gaasjes
- $p'_{\text{Hg, f}}$ = " " " na één gaasje, voor de tweede
- R = Ideale gasconstante ($\text{N} \cdot \text{m}/^\circ\text{K}$)

$Re = \frac{\bar{v} d_u}{\nu}$ kengetal van Reynolds betrokken op de draadjes-
diameter en de snelheid in de lege doorsnede.

$Re_m = \frac{\bar{v}_m d_u}{\nu}$ kengetal van Reynolds betrokken op de draadjes-
diameter en de snelheid in de mazen van de draadjes.

$Sh = \frac{k d_u}{D}$ kengetal van Sherwood, betrokken op de draadjes-
diameter

$S_c = \frac{\nu}{D}$ kengetal van Schmidt

T = absolute temperatuur in $^{\circ}K$

$T_0 = 273^{\circ}K$

$\bar{v}$ = gemiddelde snelheid lucht, betrokken op de lege
doorsnede van de gaasjeshouder (m/sec) -doorsnede gaasjes-.

Griekse letters:

β = constante

η = dynamische viscositeit ($\bar{N}$ sec/m²)

λ = golflengte licht ($\text{\AA}$)

ν = kinematische viscositeit (m²/sec)

ρ = soortelijke massa lucht (kg/m³)

$\varphi = I/I_0$ = transmissie

$\phi_{\text{mol,Hg}}$ = molenstroom kwik per tijdseenheid (mol/sec)

$\phi''_{\text{mol,Hg}}$ = molenstroom dichtheid kwik per tijdseenheid (mol/m²sec)

ϕ_v = volumestroom lucht (m³/sec).

Literatuurlijst:

1. Thomas, D. Stofoverdracht bij stroming door een vast bed van korrelig materiaal, dissertatie, Delft 1957.
2. Maxwell, R.W. and Anderson-Storow, J. Mercury vapour transfer studies I, Chem.Eng.Sci., 1957, 6, 204.
3. Handbook of Chemistry and Physics -----
4. International Critical Tables, vol. 3, 62
5. Vogtländer, P.H. Voltametrische bepaling van stofoverdrachts coëfficiënten aan draadjes en gaasjes. Afstudeerverslag, oktober 1962.

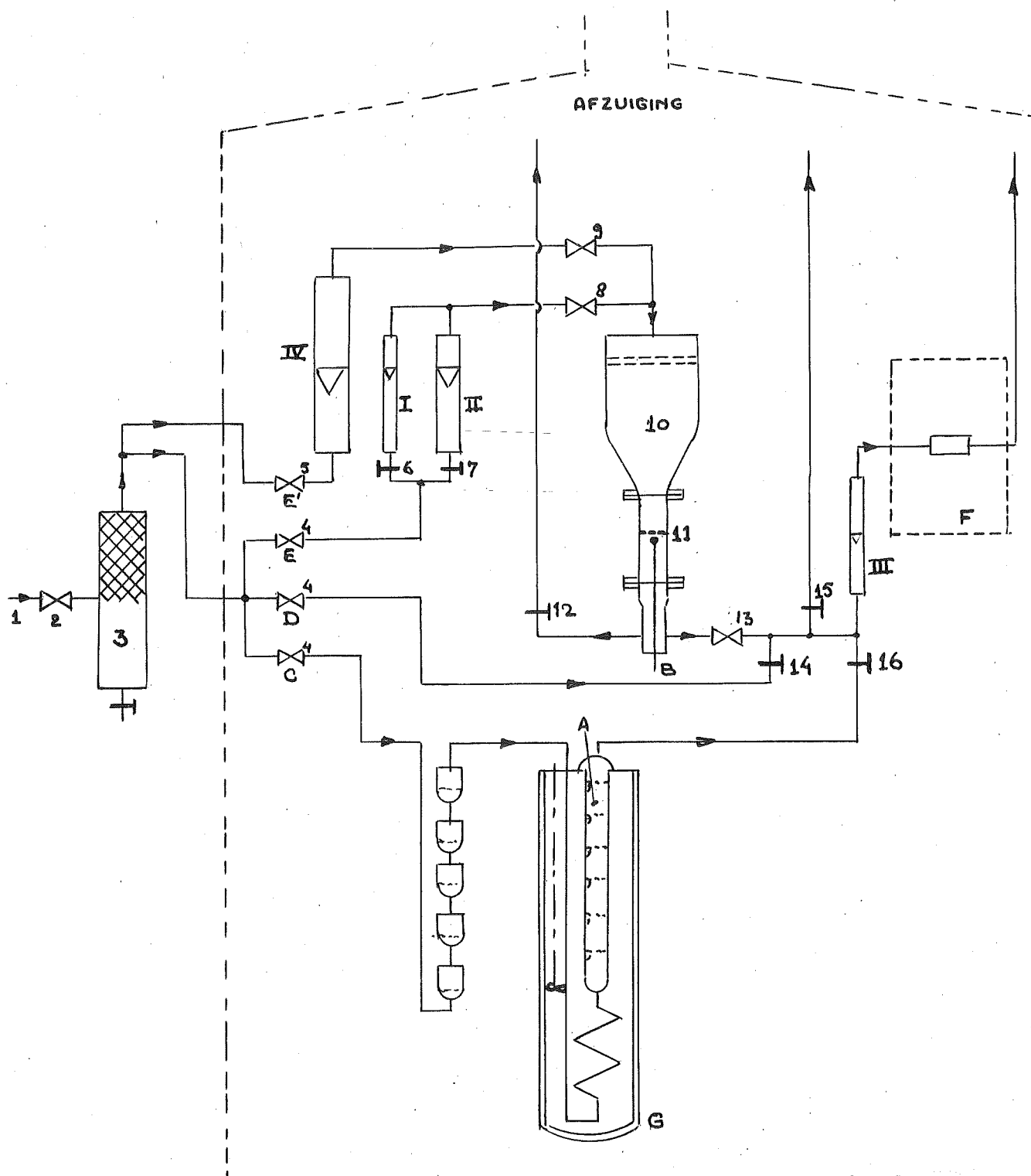
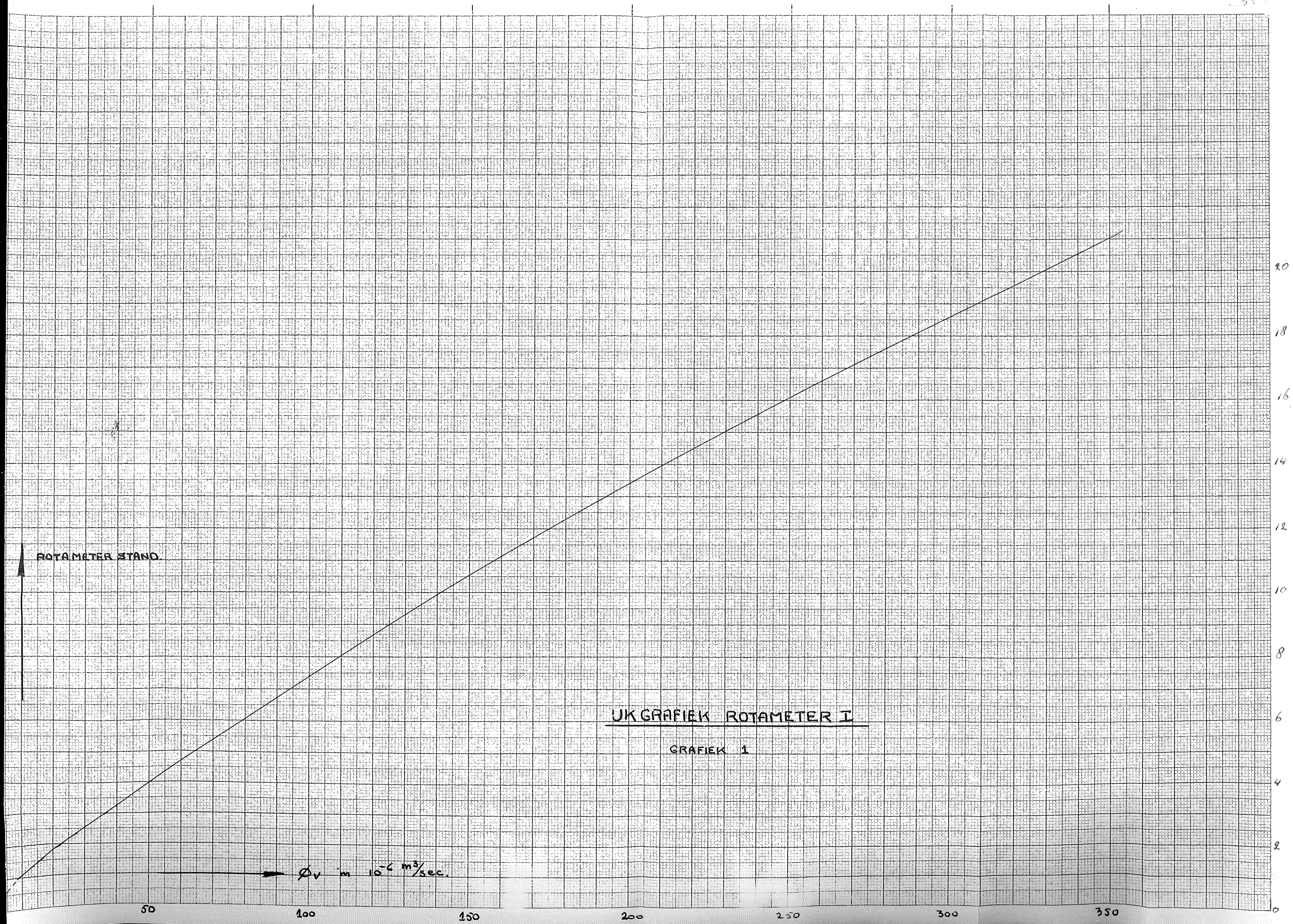
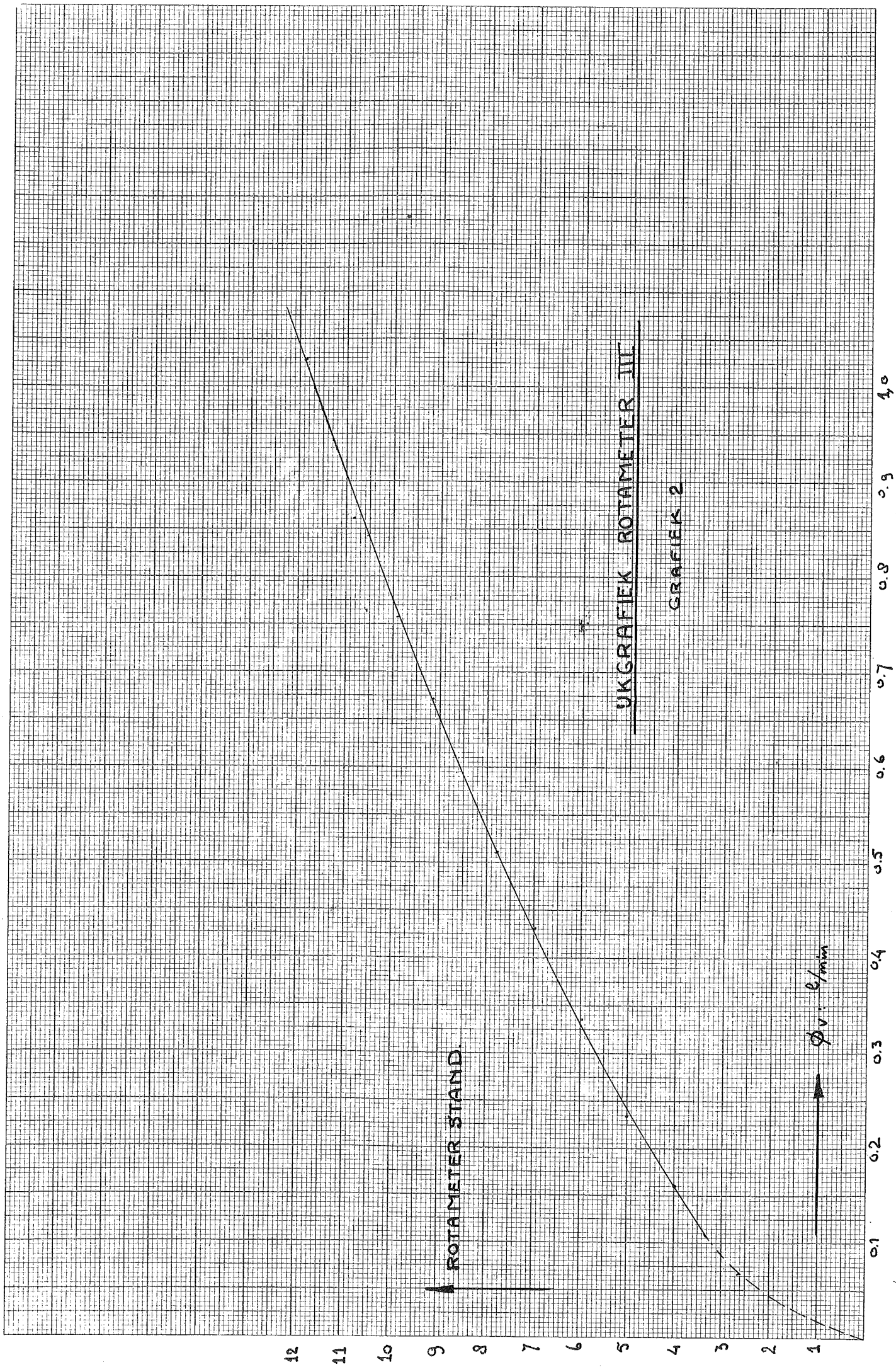
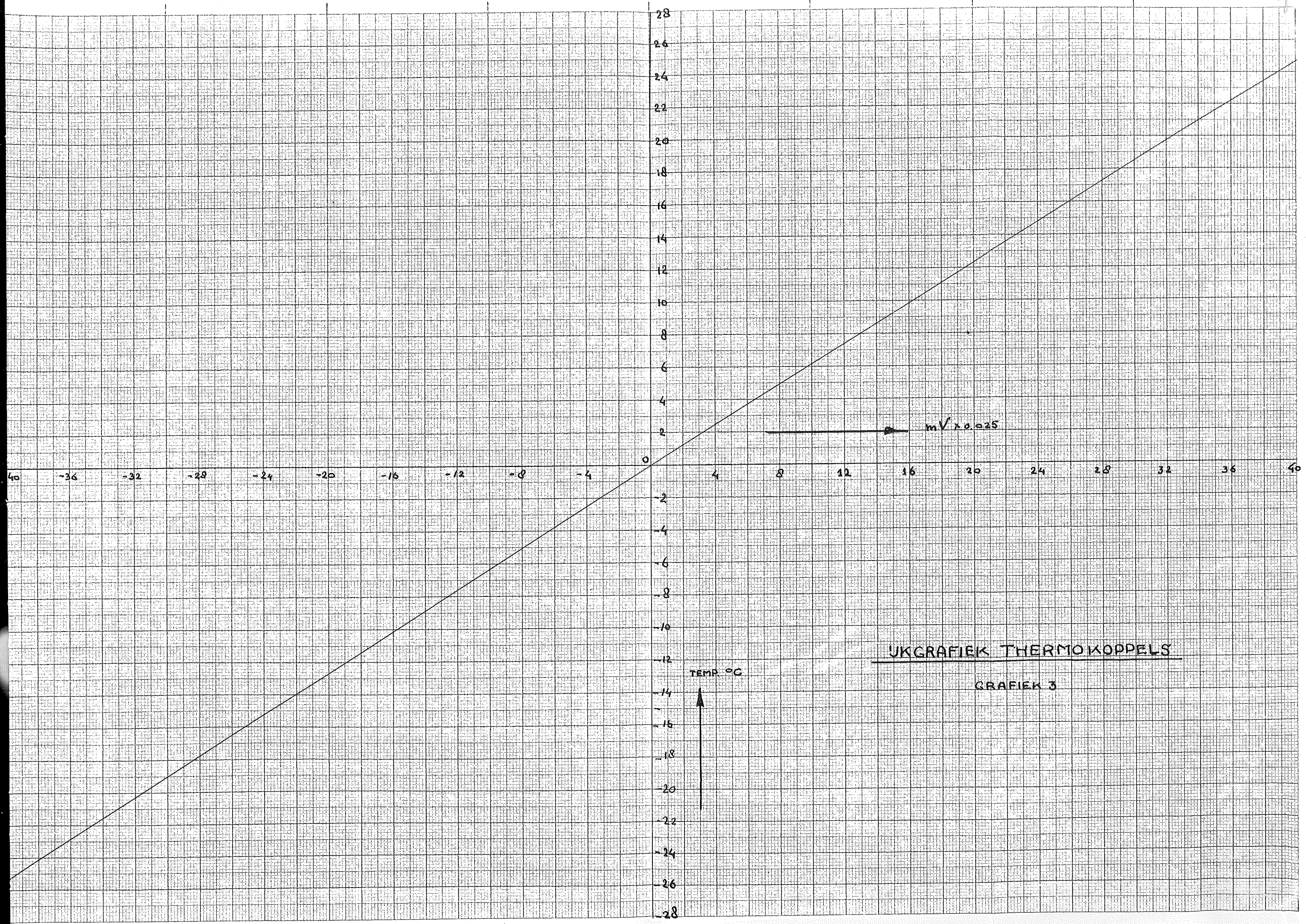


fig 3

SCHEMA OPSTELLING.

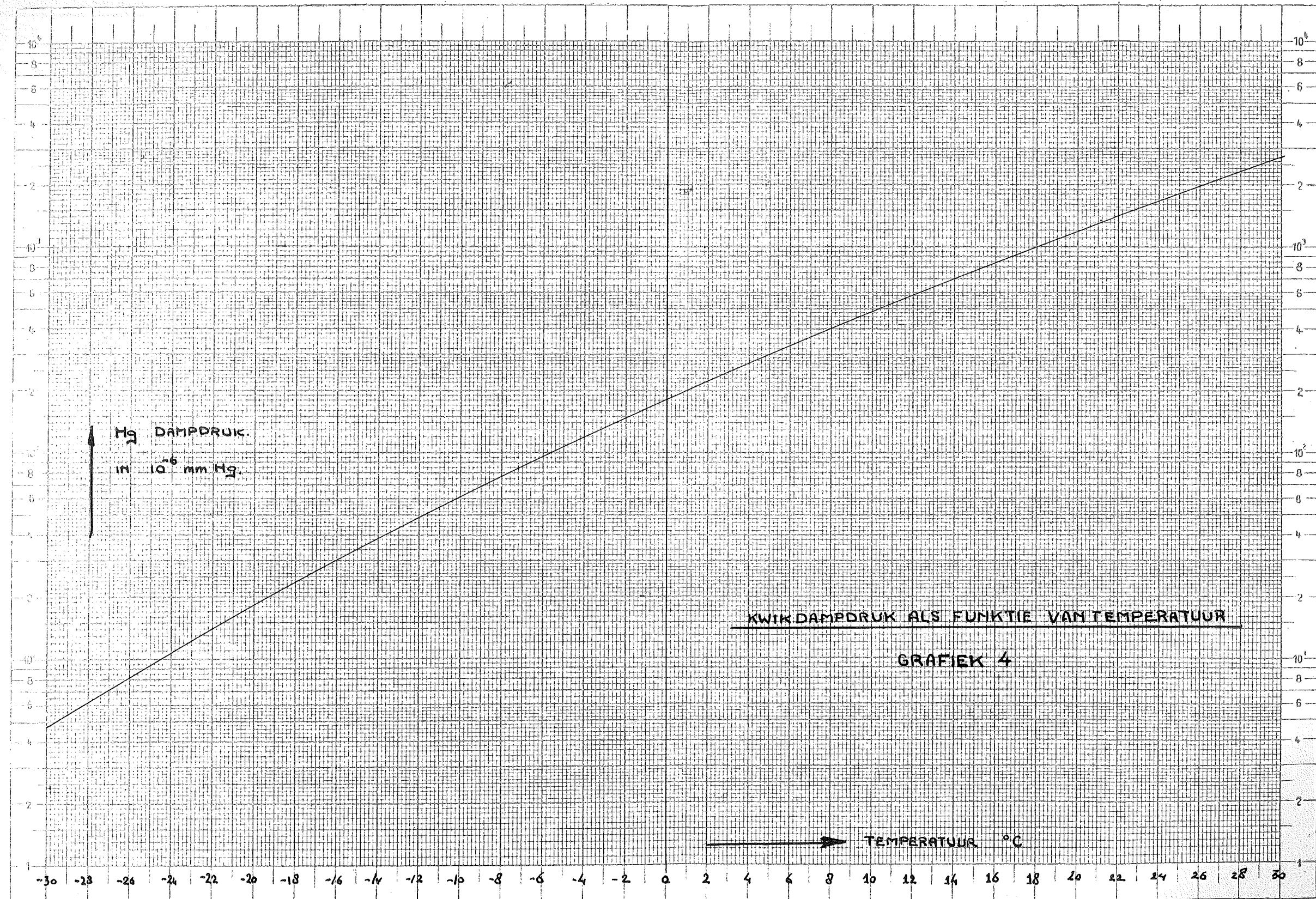






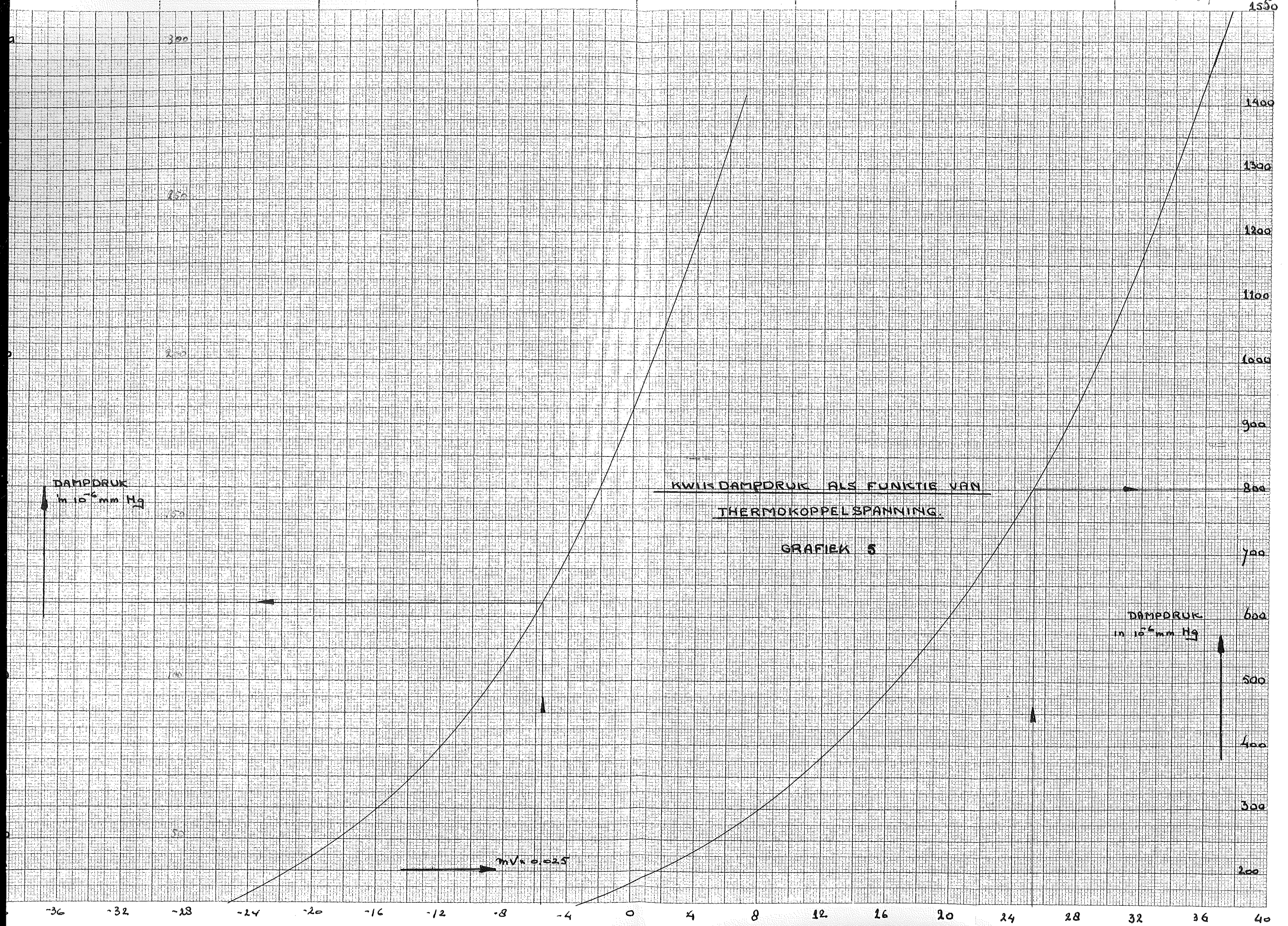
UKGRAFIK THERMOKOPPELS

GRAFIK 3



KWIK DAMPDRUK ALS FUNKTIE VAN TEMPERATUUR

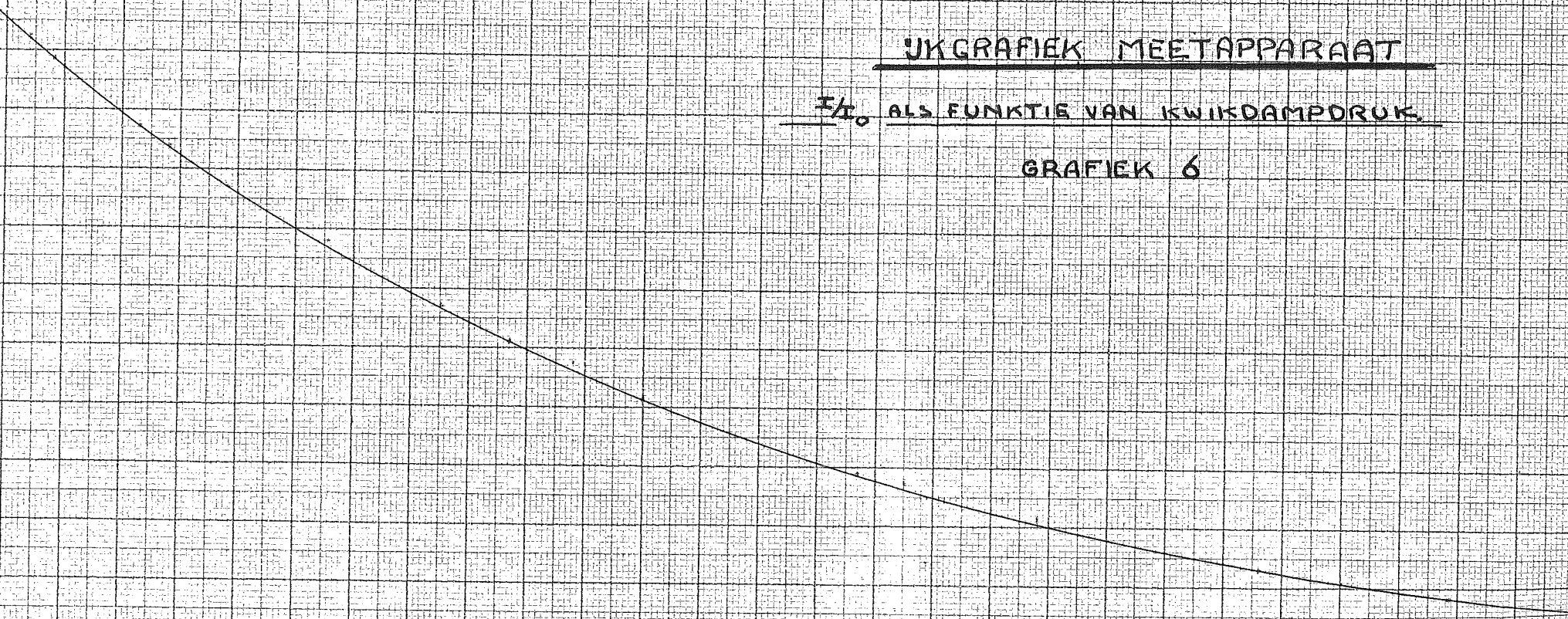
GRAFIEK 4

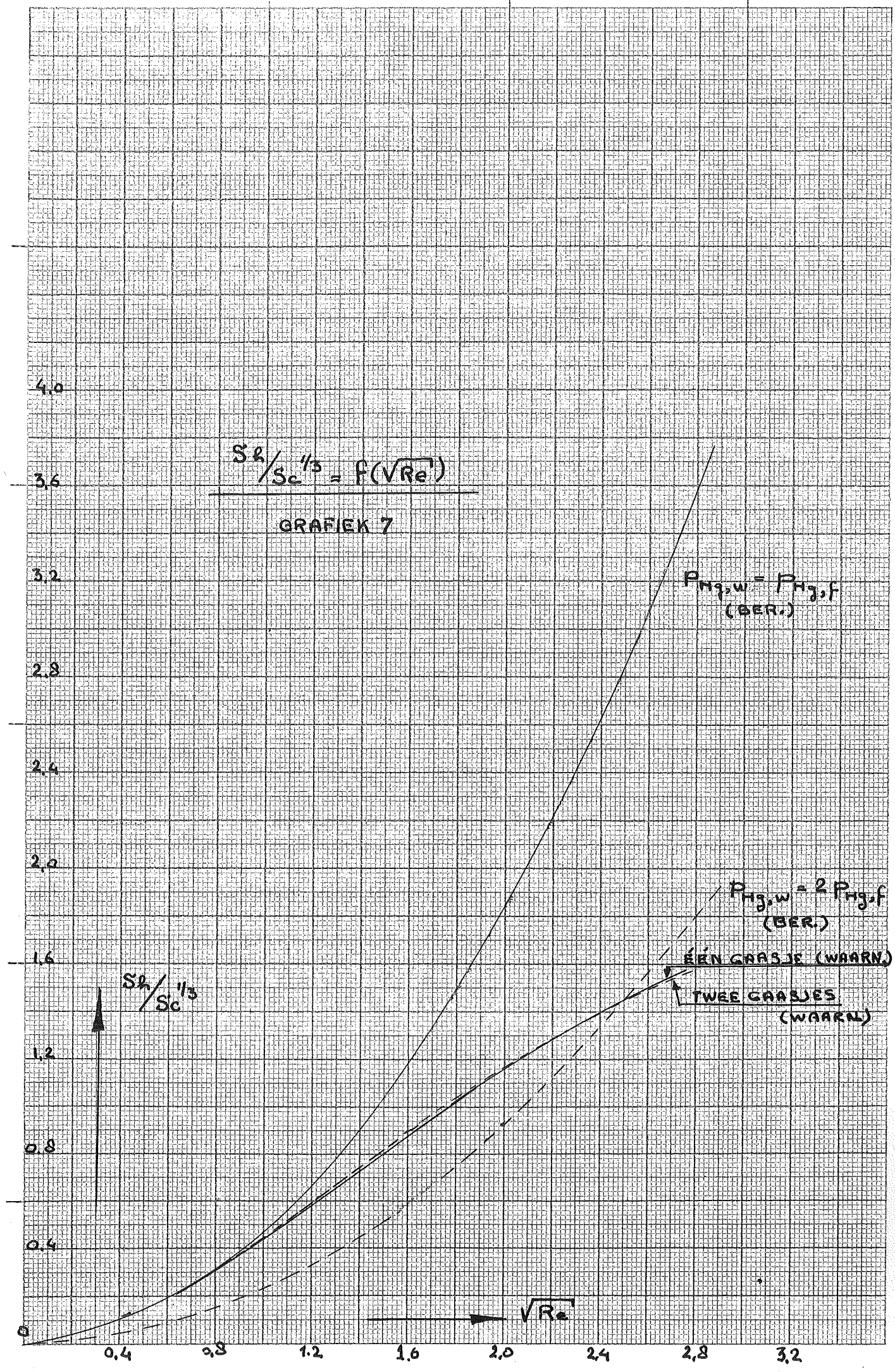


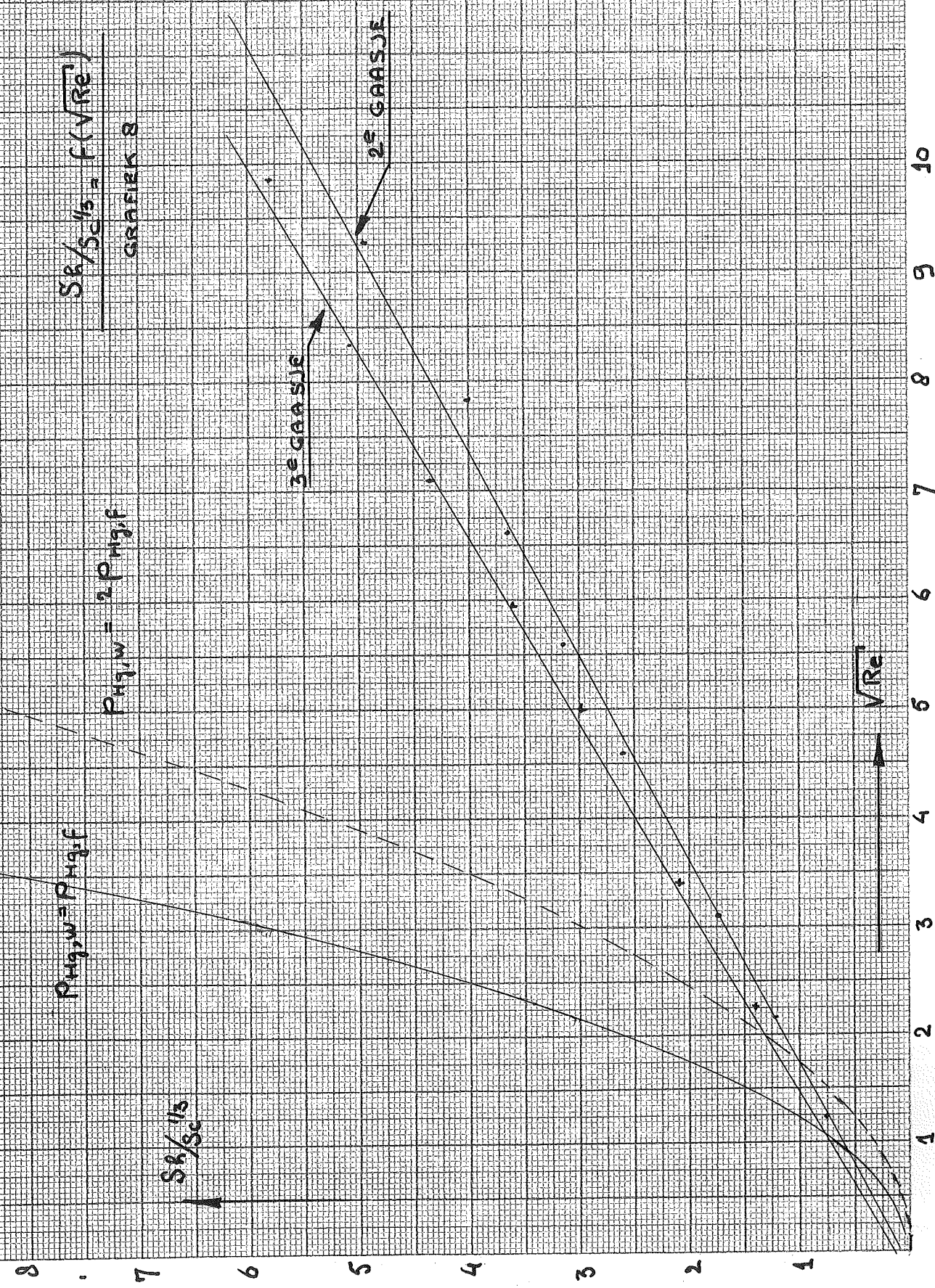
JKGRAFIEK MEETAPPARAAT

I_{H_0} ALS FUNKTIE VAN KWIKDAMPDRUK

GRAFIEK 6







$$\frac{Sh}{Sc^{1/3}} = f(\sqrt{Re})$$

GRAFIK 8

$$P_{H_2, w} = 2 P_{H_2, f}$$

$$P_{H_2, w} = P_{H_2, f}$$

$Sh/Sc^{1/3}$

$\sqrt{Re}$

$$\frac{S_R}{S_C^{1/3}} = f(\sqrt{Re_m})$$

GRAFIK 9

$\frac{S_R}{S_C^{1/3}}$

6

5

4

3

2

1

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

$\sqrt{Re_m}$

3^o GAASJE

2^o GAASJE

