

De temperatuurmeting in het laboratorium voor lengtemeting

Citation for published version (APA):

Timmermans, C. J. (1969). *De temperatuurmeting in het laboratorium voor lengtemeting*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek : WT rapporten; Vol. WT0224). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1969

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



technische hogeschool eindhoven

laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek

blz. 1 van 73 blz.

rapport nr. 0224

rapport van de sectie: Lengtemeting

titel:

De temperatuurmeting in het Laboratorium
voor Lengtemeting.

codering:

M5

M8a

auteur(s):

C.J. Timmermans

trefwoord:

sectieleider:

drs. J. Koning

streepstan-
daard

hoogleraar:

prof. dr. P.C. Veenstra

temperatuur-
meting

samenvatting

Na een inleiding over de bestaande temperatuur-
schalen en in 't bijzonder de "International
Practical Temperature Scale 1968" wordt een analyse
gegeven van de temperatuurinvloeden bij het meten
van 1 meter lange streepstandaarden tegen een golf-
lengtestandaard.

Hieruit volgende eisen waaraan de temperatuurmeting
voor dit soort ijkingen moet voldoen. Verder wordt
besproken hoe in ons laboratorium de temperatuur-
meting m.b.v. platina weerstandthermometers en ge-
bruik makende van de I.P.T.S.-68 voorschriften,
binnen het traject van 0 - 60°C is gerealiseerd.

prognose

datum:

december 1969

aantal blz. 73

geschikt voor
publicatie in:

Verantwoording:

Dit rapport is mede tot stand gekomen door de vele vruchtbare discussies die ik mocht hebben met mijn collega's in de groep Lengtemeting.

Vooraf de ideeën van drs. J. Koning hebben zowel voor het onderzoek als voor de verslaglegging ervan stimulerend gewerkt.

Langs deze weg spreek ik hiervoor mijn dank uit.

Ook de heer P. Bergman van de IJk- en Controle Groep van de C.T.D. wil ik bij deze dank betrekken voor de ijkingen die hij met grote nauwgezetheid heeft uitgevoerd.

Tevens wil ik mijn dank uitspreken voor de prettige samenwerking met drs. N.A.L. Touwen die voor mij de rekenprogramma's verzorgd heeft.

de auteur.

| | | |
|----|---|------|
| 0 | INHOUD . | Blz. |
| | 1. Motivering | 4 |
| 5 | 2. Algemeen gedeelte | 7 |
| | 2.1. Kort historisch overzicht van de "International Practical Temperature Scale". | 7 |
| 10 | 2.2. Beschrijving van IPTS-68. | 10 |
| | 3. De beperking tot het gebied rondom 20 °C. | 13 |
| 15 | 3.1. Analyse van de lengtemeting i.v.m. de eisen te stellen aan de temperatuursmeting. | 13 |
| | 3.2. De temperatuurmeting in het laboratorium voor Lengtemeting. | 18 |
| 20 | 3.3. De praktische aanpassing van IPTS-60 aan IPTS-68 in het gebied van 0-60 °C. | 26 |
| | 3.4. Het ijken van weerstandthermometers. | 36 |
| 25 | 3.5. Bespreking van de onnauwkeurigheid van de constanten R_0 , A en B. | 42 |
| 30 | 4. Literatuur. | 45 |
| | 5. Appendices (overzicht) | 47 |
| 35 | | |
| 40 | | |
| 45 | | |
| 50 | | |

1. Motivering

Dat lengtemeting en temperatuurmeting gekoppeld zijn, zal een ieder duidelijk zijn.

Dan moeten er ook eisen gesteld worden aan de temperatuurmeting indien er hoge eisen gesteld worden aan de lengtemeting.

Bij "routinematige" lengtemetingen in een professionele meetkamer heeft men meestal te maken met stalen werkstukken en met stalen meetapparatuur. In deze gevallen is het verschil in uitzettingscoëfficiënten tussen werkstuk en meetapparatuur klein. Omdat tevens er wel gezorgd is, dat het temperatuurverschil tussen werkstuk en toegepaste meetstandaard $\leq 0,5$ K is, zal een meetnauwkeurigheid van $1 \mu\text{m}$ wel te realiseren zijn.

Geheel anders wordt dit bij het meten van bv. streepstandaarden van 1 m . lengte tegen de primaire golflengte standaard of wél tegen een secundaire golflengte standaard bv. een He-Ne-laser, waarvan de relatie met de primaire standaard met voldoende nauwkeurigheid bekend moet zijn. Immers de invloed van de temperatuur op de golflengte standaard is ca. $1 : 10^6$ terwijl de uitzettingscoëfficiënt van bv. staal ca. $10 \cdot 10^{-6}$ bedraagt.

Het grote verschil in temperatuurcoëfficiënten tussen golflengte standaard en streepstandaard zal van relatief grote invloed zijn. De eisen die gesteld moeten worden bij deze metingen aan temperatuurmeting en-beheersing zullen stringenter moeten zijn, daar bij dit soort metingen een grotere nauwkeurigheid dan $1 \mu\text{m}$, bv. $0,1 \mu\text{m}$, nagestreefd zal worden.

In het laboratorium van lengtemeting, Afdeling der Werktuigbouwkunde van deze Hogeschool, bevindt zich in ontwikkeling een linealen-interferometer en linealen - verdeelmachine, geschikt voor het meten

0
5
en verdelen van 1 meter lange linealen. De hier toegepaste golflengtestandaard is een zg. "single-mode" gestabiliseerde He-Ne-laser met een golflengte in vacuum $\lambda_v = 632,99147$ nm, gemeten door het "National Bureau of Standards".¹⁾

10
Door de toepassing van elektronische schakelingen wordt het oplossend vermogen van deze interferometer $\lambda/8 \approx 80$ nm, zodat een onnauwkeurigheid $\leq 0,1$ μm bereikt kan worden.

15
Indien we er nu van uitgaan dat ongeveer de helft hiervan ($\leq 0,05$ μm) door de temperatuuronnauwkeurigheid mag worden veroorzaakt, resulteert dit in:

20
1: De temperatuur gemeten dient te worden met een onnauwkeurigheid $\leq 0,005$ K.

25
2: De uitzettingscoëfficiënt van de te meten streepstandaarden minstens bekend moeten zijn $\leq 10^{-7} \frac{\text{m}}{\text{m.K}}$.

30
De hierboven genoemde eisen worden nader besproken in hoofdstuk 3.1.

35
Dit rapport behandelt in het algemene gedeelte de bestaande temperatuurschalen en in het bijzonder de "International Practical Temperature Scale 1968" en waarom deze is ingevoerd.

40
Daarna beperken wij ons tot het gebied rondom de 20°C , zg. kamertemperatuur, dat voor de lengtemeting het meest interessant is.

45
Hierin wordt geanalyseerd, zoals boven reeds is aangegeven, de eisen die te stellen zijn aan de temperatuurmeting en hoe dit is gerealiseerd in ons laboratorium.

50
1) Spectra-Physics
Model 119 Gas Laser.

0

De praktische verwerking van de onlangs ingevoerde IPTS-68, uitgaande van de IPTS-48 (Amended Edition of 1960) in het gebied van 0 - 60°C wordt nader toegelicht.

5

Het hiervoor gebruikte computerprogramma wordt gegeven.

10

Ook zal worden besproken hoe door het modificeren van de weerstand-temperatuurrelatie van de toegepaste platina weerstandthermometers de berekening kan plaats vinden zonder gebruik te maken van een computerprogramma.

15

Aan het eind van het rapport wordt vermeld het ijken van deze weerstandthermometers in samenwerking met de IJk- en Controle Groep van de Centrale Technische Dienst van deze Hogeschool.

20

25

30

35

40

45

50

2. Algemeen gedeelte

2.1. Kort historisch overzicht van de "International Practical Temperature Scale".

Het mag bekend verondersteld worden dat in principe iedere fysische grootheid die een éénduidige functie is van de temperatuur, toegepast kan worden voor de temperatuurmeting.

De praktische bezwaren tegen het invoeren van een willekeurige grootheid als temperatuurschaal is, dat deze schaal afhankelijk is van de aard van de toegepaste eigenschap van de materie, waarmee deze schaal verwezenlijkt wordt.

Dit betekent dat gezocht moest worden naar een medium waarvan de condities om temperaturen te meten zo goed als mogelijk bekend moeten zijn.

Door invoering van de zgn. Avogrado-schaal of ideale gasschaal werd deze willekeur al gedeeltelijk ondervangen.

N.l. voor alle gassen in verdunde toestand, blijkt dezelfde wet ($P \cdot V_m = RT$) te gelden, waarin als criterium voor de temperatuur de druk bij constant volume is ingevoerd.

Praktisch moeten er voor het toegepaste gas in de gasthermometer correcties worden toegepast omdat het verschil tussen een verdund gas en ideaal gas niet te verwaarlozen is.

Daarbij blijft nog de moeilijkheid bestaan dat deze temperatuurschaal afhankelijk is van de aard van het medium, zeker bij zeer lage en hoge temperaturen.

Om praktische redenen wordt voor lage temperaturen een magnetische temperatuurschaal toegepast, welke is gebaseerd op de wet van Curie en boven de ca. 1300 K wordt gebruik gemaakt van de stralingswet van Planck.

In 't midden van de vorige eeuw stelde W. Thomsen (Lord Kelvin) voor de wet van Carnot-Clausius als uitgangspunt te nemen voor een temperatuurschaal.

Het blijkt, op grond van deze wet mogelijk een universele temperatuurschaal in te voeren die niet van enige stoffeigenschap afhankelijk is.

Het berust hierop, dat het relatieve temperatuurverschil $\Delta T/T$ tussen twee warmtereservoirs R en R' gelijk is aan het quotiënt van de arbeid W, die nodig is om een hoeveelheid warmte (= energie) Q, d.m.v. een quasie-statisch kringproces van R naar R' te brengen, met die hoeveelheid warmte Q.

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{W}{Q}$$

Hierbij is het meten van temperaturen teruggebracht tot het meten van energieën.

Echter bij het uitvoeren van zo'n dergelijk Carnot-proces, stuit men op de moeilijkheid, dat het Carnot-proces quasi-statisch moet verlopen.

Men kan nu aantonen, dat de op deze wijze ingevoerde thermodynamische temperatuurschaal identiek is met de ideale gasschaal. Ook de stralings-temperatuurschaal en de magnetische temperatuurschaal blijken identiek te zijn met de thermodynamische schaal.

De thermodynamische temperatuurschaal TTS, ook wel Kelvin-schaal genoemd, wordt nu vastgelegd door het absolute nulpunt en het goed reproduceerbare triple punt van water van wel omschreven samenstelling. Dit triple punt van water is per definitie in 1960 vastgesteld op 273,16 K exact.

Aangezien er praktische bezwaren bestaan om de temperatuur te meten

0

door middel van gasthermometers, werd in 1927 door de "Seventh General Conference of Weight and Measures" de "International Temperature Scale" aangenomen.

5

Deze temperatuurschaal was gebaseerd op een aantal vaste punten zg. "fixed points", welke vastgelegd waren op de Kelvinschaal m.b.v. gasthermometrie.

10

Deze I.T.S. had tot doel te voorzien in een praktische temperatuurschaal welke gemakkelijk en nauwkeurig reproduceerbaar te hanteren was en binnen de toen bereikbare nauwkeurigheid overeen kwam met de thermodynamische temperatuurschaal.

15

De I.T.S. werd herzien in 1948. Dit betrof vooral een van de "fixed points", nl. het stolpunt van zilver, de stralingsconstante c_2 (voorkomend in de stralingswet van Planck) en de nomenclatuur

20

In 1960 werd de I.T.S. weer herzien door de "Eleventh General Conference of Weight and Measures" en kreeg de naam "International Practical Temperature Scale of 1958. Amended edition of 1960".

25

De numerieke waarde van de fixed points bleven dezelfde als in 1948 was voorgesteld.

30

In de I.P.T.S.-1948 (Amended edition 1960) werd vastgelegd dat de thermodynamische temperatuur van het triple punt van water per definitie 273.16 K is.

35

Met de huidige stand van de techniek is het triple punt van water experimenteel beter reproduceerbaar dan het smeltpunt van water. (zie lit. 8). In verband hiermee is vastgesteld dat het smeltpunt van water 0,0100 K onder het triple punt van water ligt.

40

45

Er werd ook onderkend dat de I.P.T.S. niet langer meer de thermodynamische temperatuurschaal representeerde zo nauwkeurig als mogelijk was. Daartoe waren correctietabellen vereist welke periodiek herzien

zouden moeten worden.

De I.P.T.S.-1948 (Amended edition 1960) werd in 1968 vervangen door de I.P.T.S.-1968. Dit werd bekrachtigd door de "Thirteenth General Conference of Weight and Measures".

2.2. Beschrijving van I.P.T.S.-1968.

De basistemperatuur is de thermodynamische temperatuur, symbool T, met als eenheid de Kelvin, symbool K.

De Kelvin is het $1/273,16$ deel van de thermodynamische temperatuur van het triple punt van water.

Het verband tussen de Celsius-temperatuur, symbool t, en de thermodynamische temperatuur is $t_{68} = T_{68} - 273,15 \text{ K}$.

De I.P.T.S.-1968 is zo gekozen dat de verschillen met de thermodynamische temperatuur binnen de huidige grenzen van de nauwkeurigheid van de meettechniek liggen.

Deze temperatuurschaal is natuurlijk nu ook weer gebaseerd op de zg. "fixed points", dat zijn een aantal reproduceerbare fasenovergangen van zuivere stoffen.

Voor het gebied dat ons het meest interesseert zijn dat:

| | K | $^{\circ}\text{C}$ |
|------------------------------------|--------|--------------------|
| 1: Triplepunt van water (per def.) | 273,16 | 0,01 |
| 2: Stoompunt van water | 373,15 | 100 |
| 3: Stolpunt van zink | 692,73 | 419,58 |

(zie ook appendix A).

In het gebied van 13,81 K tot 903,89 K (d.i. $-259,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $630,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$) is de platina weerstandthermometer het standaard meetinstrument binnen de I.P.T.S.-1968.

Ann de zuiverheid en fysische conditie van het platina dat in de weerstandthermometer gebruikt wordt, dienen bepaalde eisen gesteld te worden. In de I.P.T.S.-1968 gebeurt dit door een minimum waarde voor de verhouding van de weerstandswaarde bij 373,15 K en die bij 273,15 K voor te schrijven, door de relatie

$$W(T_{68}) = \frac{R(373,15 \text{ K})}{R(273,15 \text{ K})} \geq 1,392 50$$

Dit is een zwaardere eis dan in I.P.T.S.-1968. (Amended edition 1960) werd gesteld, nl.

$$W(T_{60}) = \frac{R(373,15 \text{ K})}{R(273,15 \text{ K})} \geq 1,3920$$

In het gebied van 0 °C tot 630,74 °C is t_{68} gedefinieerd door:

$$t_{68} = t' + 0,045 \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{419,58^{\circ}\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{630,74^{\circ}\text{C}} - 1 \right) ^{\circ}\text{C} \quad (2.2.1)$$

met

$$t' = \frac{1}{\alpha} \{ W(t') - 1 \} + \delta \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} - 1 \right) ^{\circ}\text{C} \quad (2.2.2)$$

hierin is

$$W(t') = \frac{R(t')}{R(0^{\circ}\text{C})} \quad (2.2.3)$$

Hierin is $R(t')$ de weerstand bij t' °C van de platina weerstandthermometer. Voor praktische berekeningen is de volgende meer bekende formule gegeven

$$W(t') = \frac{R(t')}{R(0^{\circ}\text{C})} = 1 + A t' + B t'^2 \quad (2.2.4)$$

waarbij

$$A = \alpha \left(1 + \frac{\delta}{100^{\circ}\text{C}} \right) ^{\circ}\text{C}^{-1} \quad (2.2.5)$$

$$B = - 10^{-4} \alpha \delta ^{\circ}\text{C}^{-2}$$

0

De constanten $R(0^{\circ}\text{C})$, α en δ (c.q. A en B) worden vastgelegd door de weerstandmeting bij het triple punt van water, het stoompunt van water en het stolpunt van zink, al eerder genoemd.

5

We zien uit bovenstaande correctie term (2.2.1) dat voor 0°C ; 100°C ; $419,58^{\circ}\text{C}$ en $630,74^{\circ}\text{C}$ (het stolpunt van antimon). t_{68} identiek is aan t' , zodat voor deze punten I.P.T.S.-1968 overeenkomt met I.P.T.S.-1960, aangezien de "fixed points" dezelfde waarden hebben behouden.

10

15

Voor meer gedetailleerde verschillen tussen I.P.T.S.-1960 en I.P.T.S.-68 zie men appendix B.

20

25

30

35

40

45

50

3. De beperking tot het gebied rondom 20°C.

3.1. Analyse van de lengtemeting i.v.m. de eisen te stellen aan de temperatuurmeting.

Zoals in de motivering reeds is aangegeven zijn er eisen aan de temperatuurmeting te stellen, indien een bepaalde onnauwkeurigheid in lengtemeting gerealiseerd wil worden.

Beperken we ons eerst tot die eisen die voortvloeien uit het meten in een professionele meetkamer, dan kan de volgende relatie elementair worden afgeleid.

Zie hiervoor appendix C - 1.

$$l_{w.o} = l_{s.o} \{1 + \alpha_w \Delta t + \Delta\alpha(t_w - 20) + \Delta\alpha\Delta t\} \quad (3.1)$$

Hierin zijn:

$l_{w.o}$ = lengte van het werkstuk bij 20°C.

$l_{s.o}$ = lengte van de standaard bij 20°C,

d.i. de afleeswaarde van de standaard in de toegepaste meetapparatuur.

α_w = uitzettingscoëfficiënt van het werkstuk.

$\Delta\alpha$ = verschil in de uitzettingscoëfficiënt tussen meetstandaard en werkstuk.

De aanname is gemaakt $\Delta\alpha \ll \alpha_w$.

Δt = temperatuurverschil tussen meetapparatuur (t_s) en werkstuk (t_w)

$t_w - 20$ = verschil van werkstuk-temperatuur met 20°C.

Verder stellen we dat als de onnauwkeurigheid bij het meten van een ca. 1 meter lang werkstuk $\leq 1 \mu\text{m}$ moet zijn, er ongeveer de helft ($\leq 0,5 \mu\text{m}$) voor rekening van de onzekerheid in de temperatuur mag komen, immers er zijn nog andere foutenbronnen die invloed hebben,

0
 5
 10
 15
 20
 25
 30
 35
 40
 45
 50

bv. instabiliteit van de meetapparatuur.

Te realiseren in 'n industriële meetkamer is, bij het meten van stalen werkstukken ($\alpha_w \approx 10 \cdot 10^{-6} \frac{m}{m \cdot K}$) op een eveneens van staal zijnde meetmachine, en standaardlineaal:

$$\Delta t = t_s - t_w \approx 0,5 \text{ K.}$$

$$t_w - 20 \approx 1 \text{ à } 2 \text{ K.}$$

Dan volgt uit formule (3.1):

$$a: \quad \delta(\alpha_w \cdot \Delta t) \leq 0,5 \cdot 10^{-6} \quad \text{met} \quad \alpha_w \cdot \Delta t \approx 5 \cdot 10^{-6}$$

waarbij $\delta(\alpha_w \cdot \Delta t)$ is de toegelaten onnauwkeurigheid in de term $\alpha_w \Delta t$.

$$\frac{\delta(\alpha_w \cdot \Delta t)}{\alpha_w \cdot \Delta t} = \frac{\delta(\alpha_w)}{\alpha_w} + \frac{\delta(\Delta t)}{\Delta t} = 0,1 = 10\%$$

a 1: Voor de temperatuurmeting resulteert dat in de eis, dat bij $\Delta t = t_s - t_w \approx 0,5 \text{ K}$ de onnauwkeurigheid $\leq 0,05 \text{ K}$.

a 2: De uitzettingscoëfficiënt van het werkstuk op minstens 10% nauwkeurig bekend moet zijn.

Voor staal betekent dit $\pm 1 \cdot 10^{-6}$.

$$b: \quad \delta(\Delta\alpha(t_w - 20)) \leq 0,5 \cdot 10^{-6} \quad \text{met} \quad \Delta\alpha(t_w - 20) \approx 2 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{\delta(\Delta\alpha(t_w - 20))}{\Delta\alpha(t_w - 20)} = \frac{\delta(\Delta\alpha)}{\Delta\alpha} + \frac{\delta(t_w - 20)}{t_w - 20} = 0,25$$

b.1: Dat bij verschil in temperatuur van het werkstuk van 20°C van $\approx 2 \text{ K}$, de absolute temperatuur van het werkstuk bekend moet zijn op $\leq 0,5 \text{ K}$.

c: De term $\Delta\alpha \cdot \Delta t \approx 0,5 \cdot 10^{-6}$ in de meetkamerpraktijk niet vaak in

rekening gebracht dient te worden, behalve wanneer het gaat om het meten van bv. non-ferro-materialen, die een grotere uitzettingscoëfficiënt hebben dan staal.

We gaan nu over tot het bespreken van de eisen die voortkomen uit het meten van een bv. 1 meter lange streepstandaard tegen een golflengtestandaard.

Voor dit geval laat zoals in Appendix C-2 is uitgevoerd, de volgende relatie zich afleiden:

$$l_{w.o} = l_{ps.o} \{1 - \alpha_w (t_w - 20) + \alpha_{ps} (t_w - 20) + \alpha_{ps} \Delta t\} \quad (3.2)$$

Hierin zijn:

$l_{w.o}$ = lengte van de streepstandaard bij 20°C.

$l_{ps.o}$ = Lengte van de golflengtestandaard bij 20°C.

α_w = uitzettingscoëfficiënt van de streepstandaard,
ca. $10 \cdot 10^{-6}$ m/m.K.

α_{ps} = temperatuurcoëfficiënt van de golflengtestandaard,
ca. $1 \cdot 10^{-6}$ m/m.K.

$t_w - 20$ = verschil in temperatuur tussen streepstandaard en 20°C.

$\Delta t = t_{ps} - t_w$ = temperatuurverschil tussen golflengte- en streepstandaard.

Zoals in de motivering is aangegeven, is met de in ontwikkeling zijnde linealen-interferometer een oplossend vermogen van ca. 0,1 μ m mogelijk. Nu wordt weer gesteld dat voor rekening van de onnauwkeurigheid in de temperatuurmeting ongeveer de helft (ca. 0,05 μ m) mag komen.

Uitgaande van de eis dat $(t_w - 20) \leq 0,5$ K, hetgeen bij metingen met de linealen-interferometer als maximale waarde is opgetreden, resulteren de volgende overwegingen:

$$a: \quad \delta(\alpha_w (t_w - 20)) \leq 0,05 \cdot 10^{-6}, \quad \text{met} \quad \alpha_w (t_w - 20) \approx 5 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{\delta(\alpha_w(t_w-20))}{\alpha_w(t_w-20)} = \frac{\delta(\alpha_w)}{\alpha_w} + \frac{\delta(t_w-20)}{t_w-20} = 0,01 = 1\%$$

a.1: Voor de temperatuurmeting volgt dan dat bij $(t_w-20) \leq 0,5$ K gemeten dient te worden met een onzekerheid $\leq 0,005$ K.

a.2: Uit $\delta(\alpha_w) = 0,01 \cdot \alpha_w$ met $\alpha_w \approx 10 \cdot 10^{-6}$ m/m.K. volgt, dat de uitzettingscoëfficiënt minstens bekend moet zijn tot op $0,1 \cdot 10^{-6}$ m/m.K.

Opmerking 1:

Uit dit laatste zien we dan ook de noodzaak tot het bepalen van de uitzettingscoëfficiënt van iedere lineaal individueel, aangezien deze coëfficiënten vaak niet bekend zijn in deze nauwkeurigheid.

In het laboratorium voor lengtemeting is in ontwikkeling een dilatometer, zie rapport WT 0225,

"De dilatometer van het laboratorium voor lengtemeting".

b: $\delta(\alpha_{ps}(t_w-20)) \leq 0,05 \cdot 10^{-6}$, met $\alpha_{ps}(t_w-20) \approx 0,5 \cdot 10^{-6}$.

$$\frac{\delta(\alpha_{ps}(t_w-20))}{\alpha_{ps}(t_w-20)} = \frac{\delta(\alpha_{ps})}{\alpha_{ps}} + \frac{\delta(t_w-20)}{(t_w-20)} = 0,1 = 10\%$$

b.1: Voor de temperatuur is hieraan zeker voldaan gezien a.1.

b.2: De temperatuurcoëfficiënt van de toegepaste golflengtestandaard zal op $< 10\%$ nauwkeurig bekend moeten zijn.

c: $\delta(\alpha_{ps} \cdot \Delta t) \leq 0,05 \cdot 10^{-6}$ met $\alpha_{ps} \approx 1 \cdot 10^{-6}$.

Dit resulteert in ^{de eis} dat het temperatuurverschil tussen streepstandaard en golflengtestandaard $\leq 0,05$ K moet zijn.

Het is in het gesloten meetsysteem van de lihealen-interferometer gebleken dat aan deze voorwaarde voldaan is.

Opmerking 2:

We zien uit de analyse onder b, omdat $\alpha_{ps} \ll \alpha_w$, formule (3.2) over kan gaan in:

$$l_{w.o} = l_{ps.o} \{1 - \alpha_w (t_w - 20) + \alpha_{ps} \Delta t\} \quad (3.3)$$

Natuurlijk gelden voor (3.3) de identieke voorwaarden bij a en c uit (3.2), afgeleid.

3.2. De temperatuurmeting in het laboratorium voor Lengtemeting.

Op grond van de analyse in vorig hoofdstuk uitgevoerd, moet dan ook van de in het laboratorium in ontwikkeling zijnde linealen-interferometer de temperatuur gemeten worden met een onzekerheid $\leq 0,005$ K.

In fig. 3.2.1 is deze interferometer globaal aangegeven. Door de wagen die de lineaal draagt te verplaatsen, worden de te meten strepen na elkaar onder het microscoop gebracht.

De verplaatsing van de spiegel S, die zich op de wagen bevindt wordt met de interferometer bepaald. Meestal gebruikt men zowel voor de waarneming met de microscoop als met de interferometer fotocellen.

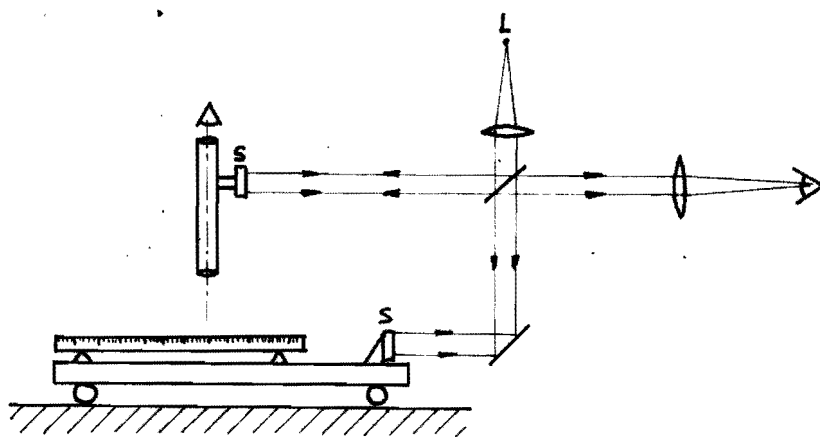
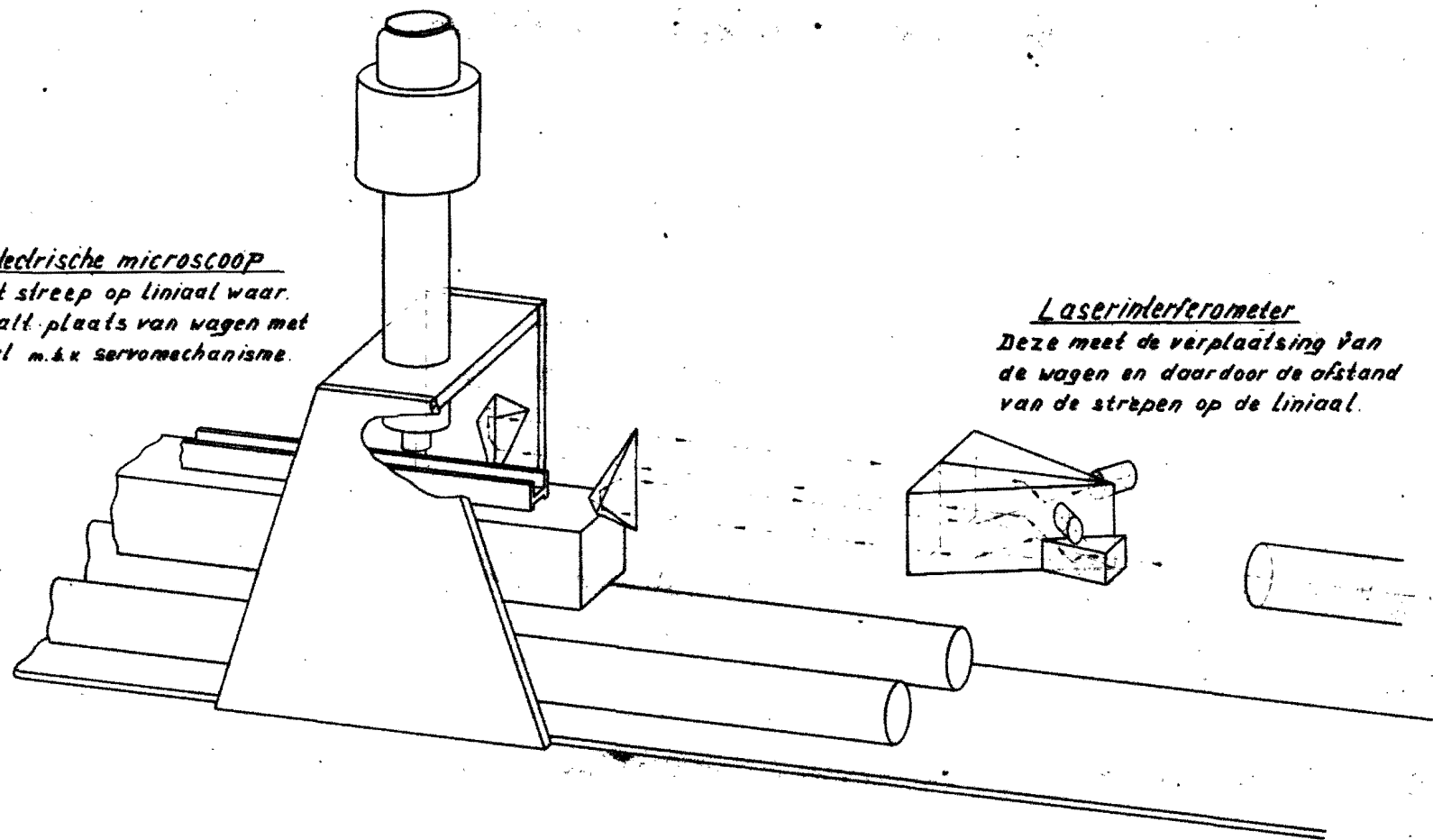


fig 3.2.1.

Schema van interferometer voor het meten van linealen.

Fotoelectrische microscoop
of neemt streep op liniaal waar.
by bepaalt plaats van wagen met
liniaal m.k.v servomechanisme.



Laserinterferometer
Deze meet de verplaatsing van
de wagen en daardoor de afstand
van de strepen op de liniaal.

fig. 3.2.2

| | | | |
|----------------------------------|------------|------------|------------|
| TECHNISCHE HOOGESCHOOL Eindhoven | | AM | |
| APPLICANT | APPLICATIE | APPLICATIE | APPLICATIE |
| APPLICANT | APPLICATIE | APPLICATIE | APPLICATIE |

0

In fig. 3.2.2 is een meer gedetailleerde schets van de interferometer gegeven.

5

Bij de uitvoering van deze linealen interferometer is geen Michelson toegepast, zoals in fig. 3.2.1 is getekend, maar een zg. Kösters-prisma.

10

De gehele interferometer is geïsoleerd met 4 cm. dik Tempex-plaat en staat bovendien in een air-conditioned ruimte.

15

In bovenstaande interferometer en ook in de al eerder genoemde verdeelmachine zijn in een Aluminium houder platina weerstand-thermometers aangebracht, zo dicht als mogelijk bij de lineaal.

20

De reden dat een aluminium houder voor de weerstandsthermometer is gekozen, wordt besproken in rapport WT 0225. "De Dilatometer van het laboratorium voor Lengtemeting"

25

De door ons gebruikte weerstandthermometers zijn van het fabrikaat Heraeus, zg. Wetenschappelijke thermometers, model P.T.B.

30

Meetweerstand 10-11 Ohm, geschikt tot 630°C. De spektraal zuivere platinadraad is bifilair op een keramisch lichaam gewikkeld.

35

De thermometers zijn voorzien van 2 spannings- en 2 stroomklemmen. Omdat van deze thermometers door ijking de constanten van de temperatuur-weerstandrelatie bekend zijn, kan nu door de weerstand te meten de temperatuur van bovengenoemde opstellingen bepaald worden.

40

Deze weerstand wordt gemeten door spanningsmeting met behulp van een compensator.

45

De hiervoor bekende standaardmethoden berusten allen op het principe dat de verhouding van de spanning over de onbekende thermometerweerstand en een bekende weerstand -door dezelfde stroom doorlopen- bepaald wordt. (zie Appendix D).

50

0

Het grote voordeel van het meten met een compensator boven de bekende brugmethode, is de ongevoeligheid voor weerstandsverschillen in de toevoerleidingen naar de thermometer.

5

10

Omdat weerstandsthermometers laagohmig zijn en vanwege de warmteontwikkeling kleine stromen (≈ 1 mA) toegepast moeten worden, moet een compensator gekozen worden die vrij van thermokrachten en laagohmig is.

15

Aan deze eisen beantwoordt een Dieselhorstcompensator, die voor dit soort temperatuurmeting in ons laboratorium aanwezig is.

20

Deze compensator is praktisch vrij van parasitaire thermokrachten omdat er geen contacten in het galvanometercircuit voorkomen. Bij gebruik van lange leidingen naar de weerstandthermometer kunnen nog andere thermokrachten optreden. Door commuteren en het nemen van de gemiddelde waarden kunnen deze geëlimineerd worden.

25

30

Strikt genomen moet om een eventuele warmteontwikkeling in de weerstandthermometer te elimineren bij verschillende stroomsterkten gemeten worden en naar stroom "nul" geëxtrapoleerd worden.

35

Aangezien de warmteontwikkeling in orde van grootte ca. 10^{-6} W is, is deze extrapolatie niet toegepast.

40

Als "nuldetector" is een Fluke μ V-meter toegepast. Model 845 A. Fabrikaat John Fluke MFG.Co. Inc. De ingangsimpedantie bij 100 μ V en lager is $10 \cdot 10^6$ Ohm.

45

Dit meetinstrument is voorzien van een "recorderoutput", zodat het verloop van de temperatuur tijdens de metingen met de interferometer geregistreerd kon worden.

50

Tevens is het mogelijk om met de "Dieselhorst-compensator" op meerdere plaatsen in de meetkamer temperaturen te meten.

Hiertoe is op de spanningsklemmen van de compensator een 6-standen schakelaar aangebracht, zodat van een zestal opstellingen de temperatuur gemeten kon worden.

Voor een overzicht van deze meetpunten, zie in Appendix E de plattegrond van het laboratorium.

'n Voorlopig resultaat van de linealen interferometer is de meting van een 1-meter lange SGIP-lineaal, eigendom van het Meetinstituut Bemetel-TNO te Amsterdam. (no. 555).

Op deze lineaal zijn een aantal dubbele (heen en weer) metingen bij 2 posities van de microscoop uitgevoerd.

Hieruit volgde voor

microscoop positie 1, $\sigma_1 = 0,085 \mu\text{m}$

microscoop positie 2, $\sigma_2 = 0,144 \mu\text{m}$

Dit is in verband met de nagestreefde onnauwkeurigheid van $\leq 0,1 \mu\text{m}$ hoopvol te noemen.

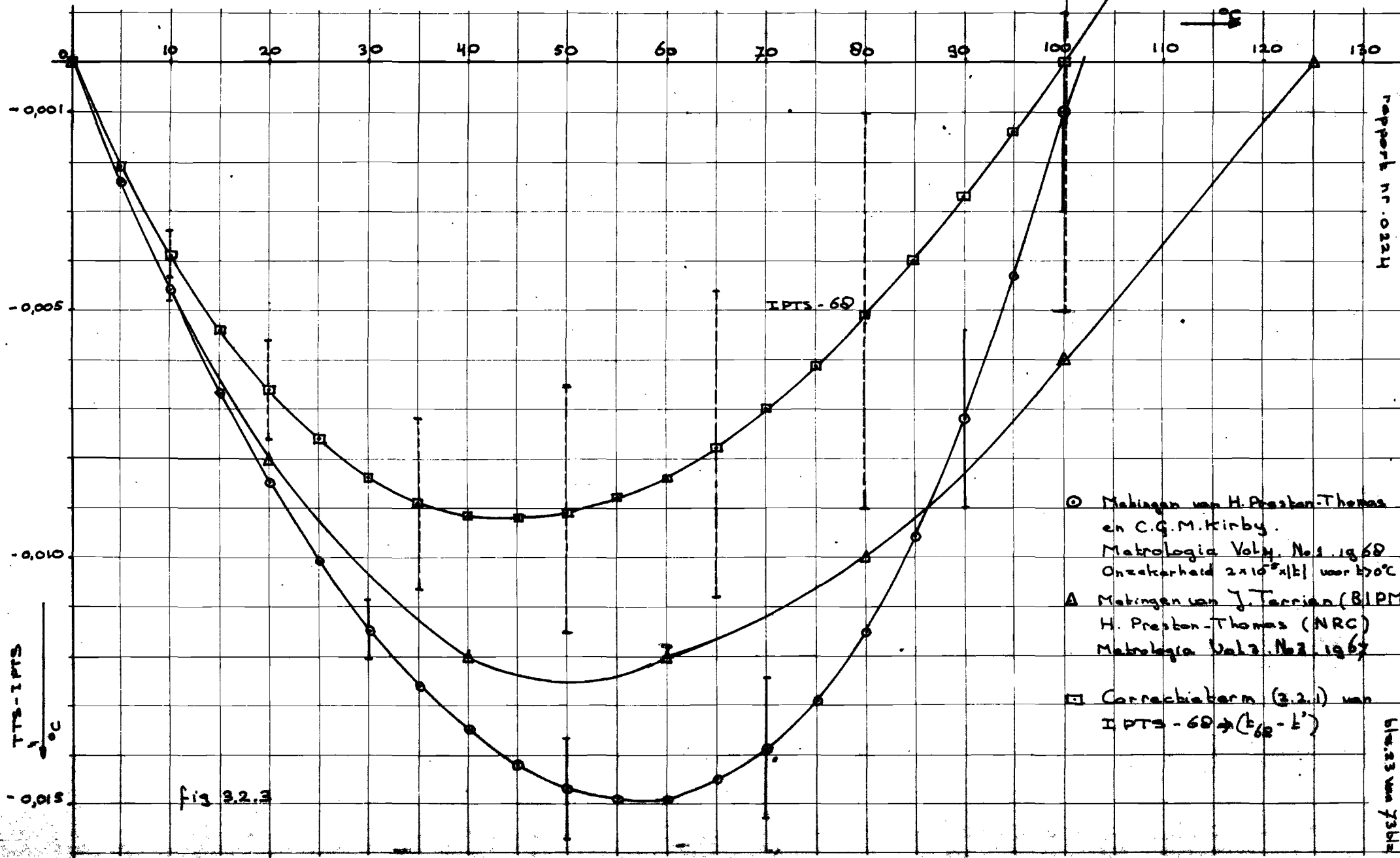
Voor nadere beschrijving van deze metingen, zie rapport WT 0226, van P.H.J. Schellekens en E.A. Khokhar.

Zoals al is opgemerkt in het Algemene gedeelte van dit rapport was het temperatuurtraject van 0°C tot $630,74^\circ\text{C}$ met de vòòr 1968 gedefinieerde IPTS niet meer binnen de meetonnauwkeurigheid in overeenstemming met de thermodynamische temperatuurschaal.

Deze afwijking bleek bij 20°C een voor ons significant verschil te zijn, nl. uit metingen van H. Preston-Thomas en J. Terrien (zie fig. 3.2.3) volgde $\approx 8 \text{ mK}$.

Het is duidelijk dat gezien deze metingen de noodzaak bestond om correcties in de temperatuur aan te brengen, zeer zeker op grond

VERGELIJKING VAN TTS MET IPTS



○ Metingen van H. Preston-Thomas en C.G.M. Kirby.
 Metrologia Vol. 4, No. 1, 1967
 Onzekerheid $2 \times 10^{-4} |t|$ voor $t > 0^\circ\text{C}$
 ▲ Metingen van J. Taccian (BIPM),
 H. Preston-Thomas (NRC)
 Metrologia Vol. 3, No. 2, 1967

□ Correctie term (3.2.1) van
 IPTS - 60 $(t_{60} - t')$

Fig 32.3

rapport nr. 0224

blz. 3 van 7392

van de voorlopige resultaten van de metingen met de linealen interferometer.

Omstreeks begin 1969 bleek dat van de "International Practical Temperature Scale of 1968" de publicatie te verwachten was, daarom werden nog geen correctietabellen op grond van de metingen van H. Preston-Thomas en J. Terrien berekend en ingevoerd voor onze temperatuurmetingen.

Nadat de I.P.T.S.-1968 in ons bezit was gekomen werd een aanvang gemaakt om m.b.v. deze I.P.T.S.-1968 de noodzakelijke temperatuurcorrecties door te voeren. Het een en ander wordt besproken in hoofdstuk 3.3.

In fig. 3.2.3 is ook aangegeven de correctie die I.P.T.S.-1968 heeft ingevoerd t.o.v. de I.P.T.S.-1948 (Amended edition 1960).

De onnauwkeurigheden aangegeven in fig. 3.2.3 voor de correctieterm ($t_{68} - t'$) zijn afkomstig op grond van de volgende overweging.

De in I.P.T.S.-1968 gedefinieerde "Fixed points" hebben de volgende onnauwkeurigheden:

| | | |
|------------------------|-----------|----------------|
| Triple point van water | 0,01°C | exact per def. |
| Stoompunt van water | 100°C | $\pm 0,005$ °C |
| Stolpunt van tin | 231,968°C | $\pm 0,015$ °C |
| Stolpunt van zink | 419,58 | $\pm 0,030$ °C |

We nemen nu aan dat er een lineair verband bestaat, weergegeven in fig. 3.2.4.

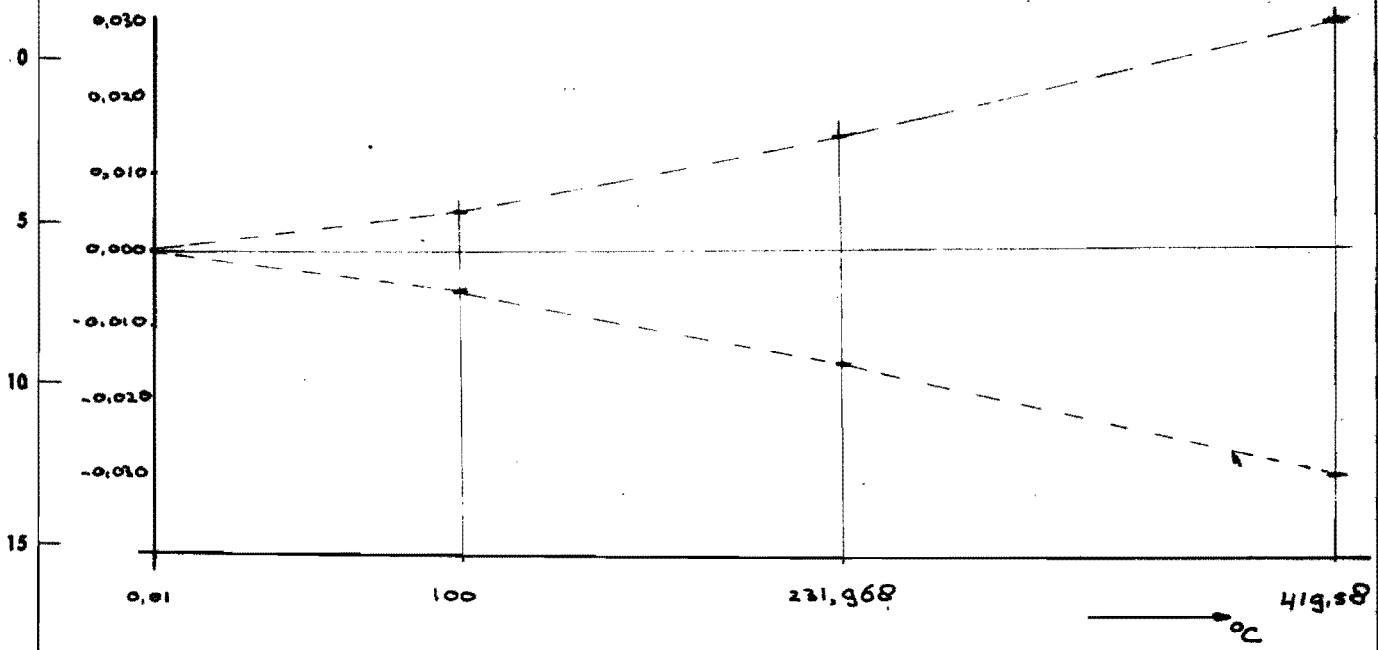


fig 3.2.4.

Onnauwkeurigheden "fixed point" I.P.T.S.-1968.

Dit geeft op eenvoudige wijze de onnauwkeurigheid, besloten in I.P.T.S.-1968.

De hieruit af te leiden onnauwkeurigheden voor het traject van 0 - 100°C zijn in fig. 3.2.3 aangegeven.

3.3. De praktische aanpassing van I.P.T.S.-1960* aan I.P.T.S.-1968 in het gebied van 0 - 60°C.

Aan het werken met de correctieformule (2.2.1) zoals gegeven in I.P.T.S.-1968 voor het traject van 0 - 630,74°C kleven wat praktische bezwaren.

Het betekent immers dat 2 berekeningen zouden moeten worden uitgevoerd.

Nl. uit de weerstandmetingen zou volgen met de wat gemakkelijker te hanteren formule (2.2.4), $R_{t_{68}} = R_0 (1 + At' + Bt'^2)$ de waarde van t' .

(De constanten A en B zijn door ijking bij de "fixed points" verkregen).

Dan moet met behulp van formule (2.2.1)

$$t_{68} = t' + 0,045 \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{419,58^{\circ}\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{630,74^{\circ}\text{C}} - 1 \right)$$

de waarde van t_{68} worden berekend, behorende bij de meting $R_{t_{68}}$.

Dit is wat omslachtig en leidt natuurlijk al gauw tot tabellering, weliswaar voor elke toegepaste thermometer aparte tabellen vanwege de verschillen in R_0, A, B voor de diverse thermometers.

Gedacht is nu om de formule

$$R_{t_{68}} = R_0 (1 + At' + Bt'^2) \text{ voor elk van onze}$$

thermometer zodanig te modificeren, dat uit tabellen direct de weerstandtemperatuur (68) relatie volgt voor het temperatuursgebied dat voor de lengtemeting het meest interessant is, nl. rondom de 20°C.

* De I.P.T.S.-1948 (Amended edition of 1960) wordt in dit rapport aangeduid als I.P.T.S.-60.

Daartoe werden voor het traject van 0 - 60°C om de 5 K, met behulp van de correctie-formule (2.2.1) de waarden van $t_{68} - t'$ berekend.

Van 0 - 60°C werd gekozen in verband met het feit dat de thermometers ook gebruikt moesten worden voor de in ontwikkeling zijnde dilatometer.

(zie rapport WT 0225).

Met behulp van het door Drs. N.A.L. Touwen beschikbaar gestelde rekenprogramma A-2080 - 1 werd in dit gebied (0 - 60°C) en kwadratische aanpassing gemaakt, nl.

$$t_{68} - t' = p t_{68}^2 + q t_{68} + r \quad (3.3.1)$$

Uit dit rekenprogramma volgde:

$$p = + 4,6434 \cdot 10^{-6} \quad K^{-1}$$

$$q = - 0,41333 \cdot 10^{-3}$$

$$r = - 0,14286 \cdot 10^{-3} \quad K$$

De verschillen van deze kwadratische aanpassing en de correctieterm (2.2.1) van I.P.T.S.-1968 ziet U in tabel 1. Appendix F.

Deze verschillen liggen allen binnen de $\pm 0,1$ mK, hetgeen voor ons doel ruimschoots verantwoord is.

Nu werd met behulp van het rekenprogramma A-3283 - 7 (auteur drs. N.A.L. Touwen) de volgende relatie berekend:

$$R_{t_{68}} = R_0 (1 + At' + Bt'^2)$$

met
$$t' = t_{68} - pt_{68}^2 - qt_{68} - r$$

Hierin zijn A, B, p, q en r bekende constanten.

Dit werd nu getabelleerd met vertikaal het traject van 0 - 60°C in 0,1°C oplopend en horizontaal in stappen van 0,01°C.

De tabellen werden in 0,01°C uitgevoerd omdat in de eerste plaats de interpolatie voor de laatste decade van de Dieselhorstcompensator, 10^{-4} abs. Ohm, gemakkelijk uit te voeren is. Deze 10^{-4} abs. Ohm komt bij de door ons gebruikte Hereaus thermometers overeen met $\approx 2,5$ mK.

En in de tweede plaats bleef de omvang van het aantal bladen voor deze tabellen per thermometer voor het traject van 0-60°C beperkt tot ca. 18.

Voor 0,001°C oplopend was dit aantal ca 180 geworden.

De tabellen werden wel berekend met een decimaal meer dan afgelezen kan worden van de Dieselhorstcompensator. De reden hiervoor is dat het rekentechnisch geen bezwaar was en de interpolatie vergemakkelijkte en dat bovendien binnen afzienbare tijd door de aanschaf van een 7-decaden Dieselhorstcompensator deze decimaal toch bekend moet zijn.

Omdat voor de linealen-interferometer het gebied van 18 - 22°C het meest van belang is kan natuurlijk in dit traject de tabellen worden uitgevoerd in 0,001°C oplopend als de 7-decaden bank in bedrijf wordt genomen. Hier door blijft de omvang van het aantal bladen per tabel per thermometer toch nog wel beperkt.

Het rekenprogramma A-3283-7 en een voorbeeld van de uitvoering hiervan vindt U op de pagina's 32,33,34.

In Appendix D.2 zal gedetailleerd worden besproken dat de met de Dieselhorstcompensator gemeten weerstandwaarden R_{t68} tot stand komen via de relatie

$$R_{t68} = \frac{R_{N1}}{R_{N2}} R_b \quad (3.3.2)$$

Hierin is R_b de afgelezen weerstandwaarde en de verhouding R_{N1}/R_{N2} 'n

bekende in te stellen grootheid.

De waarde R_{N_1}/R_{N_2} , de stroomverhoudingsfactor, is geschikt gekozen i.v.m. R_0 -waarde van de gebruikte weerstandthermometer en het bereik van de Dieselhorstcompensator.

Bij de door ons gebruikte Heraeus-thermometers is deze stroomverhoudingsfactor voor allen dezelfde. Om nu de vermenigvuldiging bij elke meting van R_b met R_{N_1}/R_{N_2} te vermijden, is met behulp van hetzelfde rekenprogramma I = 13283-7, deze verhouding R_{N_1}/R_{N_2} aan $R_{t_{68}}$ toegevoegd, zodanig dat nu de afgelezen weerstandwaarden R_b getabelleerd zijn tegen de temperatuur t_{68} .

Op pagina 35 ziet U hiervan een voorbeeld.

Voor de 5 in ons laboratorium aanwezige weerstandthermometers zijn dergelijke tabellen vervaardigd.

Het werken in de praktijk met deze tabellen is bijzonder handig gebleken bij de temperatuurmetingen uitgevoerd ten behoeve van de linealen-interferometer en -verdeelmachine.

Door deze procedure is het voor 'n ieder mogelijk, zonder voorkennis van bovengenoemde ontwikkeling, nauwkeurige temperatuurmetingen te verrichten.

In het hier volgende wordt besproken een methode om de weerstandtemperatuur relatie $R_{t_{68}} = R_0 (1 + At' + Bt'^2)$ met behulp van de kwadratische aanpassing, $(t_{68} - t^*) = p t_{68}^2 + q t_{68} + r$ zodanig te modificeren dat met een eenvoudige tafelrekenmachine gewerkt kan worden.

Daartoe schrijven we $t' = t_{68} - p t_{68}^2 - q t_{68} - r$ en substitueren dit in

$$R_{t_{68}} = R_0 (1 + At' + Bt'^2)$$

Hierdoor ontstaat een 4^e graads polynoom uiteraard alleen geldig voor het gebied waarvoor de kwadratische aanpassing geldt.

Na enig rekenen, uitgevoerd in Appendix G volgt:

$$R_{t_{68}} = R_0 \{1 + A_1 t_{68} + B_1 t_{68}^2 + C_1 t_{68}^3 + D_1 t_{68}^4 + E_1\} \text{ abs. Ohm} \quad (3.3.3)$$

waarin

$$A_1 = (A - 2Br)(1-q)$$

$$B_1 = -A \cdot p + B(1-q)^2 + 2Bpr$$

$$C_1 = -2B(1-q)p$$

$$D_1 = Bp^2$$

$$E_1 = -Ar + Br^2$$

Het zal duidelijk zijn dat van bovenstaande constanten A_1 , B_1 , C_1 , D_1 , E_1 , afhankelijk van de waarden van de coëfficiënten p , q en r van de kwadratische aanpassing termen verwaarloosd kunnen worden.

Daar deze constanten voor iedere aanpassing die gemaakt kan worden in het gebied van $0-630^\circ\text{C}$, éénmalig te berekenen, bespaard men zich veel rekenwerk bij het toepassen van de gemodificeerde formule (3.3.3).

Men kan er bv. van uitgaan dat de termen die verwaarloosd mogen worden een invloed $\leq 0,1 \text{ K}$ mogen hebben t.o.v. de oorspronkelijke vergelijking.

In Appendix G is dit proces uitgevoerd voor de thermometer Heraeus 489.988, met

$$R_0 = 10,7794 \text{ abs. Ohm}$$

$$A = 3,985 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$B = -0,5870 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$$

en de coëfficiënten van de door ons gebruikte kwadratische aanpassing voor het traject van $0 - 60^\circ\text{C}$ waren

$$p = 4,6434 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$q = -0,41333 \cdot 10^{-3}$$

$$r = -0,14286 \cdot 10^{-3} \text{ K}$$

Er volgt dan voor de Heraeus 489988

$$R_{t_{68}} = R_0 \{ 1 + A_2 t_{68} + B_2 t_{68}^2 + C_2 t_{68}^3 + D_2 t_{68}^4 + E_2 \} \text{ abs. Ohm} \quad (3.3.4)$$

met

$$\begin{aligned} A_2 &= A (1-q) && = 3,98684 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \\ B_2 &= - A p + B (1-2q) && = - 0,6060 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2} \\ C_2 &= - 2 B p && = 5,451 \cdot 10^{-12} \text{ K}^{-3} \\ D_2 &= 0 && = \\ E_2 &= - A r && = 0,56932 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Duidelijk zal zijn dat bovenstaande relaties voor weerstandthermometers met ongeveer dezelfde R_0 waarden, toegepast kan worden, alléén voor het gebied van 0-60 C.


```

BEGIN COMMENT 05563283, TOUWEN, BEREKENING TABEL VOOR PLATINA VEERSTANDSTHERMOMETERS
VOLGENS  $RT = RO * (1 + A * T + B * (T + 2))$  (GRAAD C), COT, 130269 / 021069
MET  $T = T68 - 0.46434 * 10^{-5} * (T68 + 2) + 0.41333 * 10^{-3} * T68 + 0.14286 * 10^{-3}$ 
(DEZE BENADERING GELDT VAN 0 T/M 60 GRAAD C, OP 0.0001 GRAAD NAUWKEURIG);
INTEGER S, SS; SS := READ; COMMENT SS = AANTAL MALEN PROGRAMMA;
EQB S := 1 STEP 1 UNTIL SS DO
BEGIN INTEGER G1, JAAR, U, V, W;
REAL A, B, HOOGT, LAAGT, LGT, RO, RT, T, T68, TEMP, TIMFAK, WK;

PROCEDURE TABELHOOFD;
BEGIN NLCR; PRINTTEXT(<< T68 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05>>;
PRINTTEXT(<< 0.06 0.07 0.08 0.09 T68>>;
NLCR
END TABELHOOFD;

PROCEDURE TEKST;
BEGIN NLCR; NLCR;
AAA: WK := RESYM; COMMENT AFSLUITTEKEN TEKST IS ?, HEEFT SYMW 122
(N.B. BINNEN TEKST GEEN CR TOEGESTAAN);
IF WK # 122 THEN BEGIN PRSYM(WK); GOIQ AAA END; NLCR
END TEKST;

PROCEDURE UITVOER;
BEGIN IF U = 1 THEN ABSFIXT(3, 2, T/100); ABSFIXT(4, 5, RT);
IF U = 10 THEN BEGIN ABSFIXT(4, 2, (T - 9)/100); NLCR; U := 1;
IF V = 5 THEN BEGIN NLCR; V := 1;
IF W = 2 THEN BEGIN NLCR; W := 1 END
ELSE W := W + 1
END
ELSE V := V + 1;
IF LINENUMBER > 59 THEN BEGIN NEWPAGE; TABELHOOFD END
END
ELSE U := U + 1
END UITVOER;

PRINTTEXT(<<TABEL VOOR PLATINA VEERSTANDSTHERMOMETER >>; NLCR; SPACE(19));
JAAR := READ;
PRINTTEXT(<<BEREKEND VOLGENS  $RT = RO * (1 + A * T + B * (T + 2))$  (GRAAD C, IPTS)>>;
ABSFIXT(4, 0, JAAR); PRINTTEXT(<< PROGR A-3283-7>>; NLCR; SPACE(41));
PRINTTEXT(<<MET  $T = T68 - 0.46434 * 10^{-5} * (T68 + 2) + 0.41333 * 10^{-3} * T68 + 0.14286 * 10^{-3}$ >>;
NLCR; SPACE(41);
PRINTTEXT(<<(DEZE BENADERING GELDT VAN 0 T/M 60 GRAAD C, OP 0.0001 GRAAD NAUWKEURIG)>>;
TEKST;

```

```

RO := READ; A := READ; B := READ;
TIMFAK := READ; COMMENT TIMFAK = STROOM VERHOUDINGSFAKTOR WEGENS DIESELHORST KOMPARTOR;
LAAGT := LGT := READ; HOOGT := READ; COMMENT LAAGT EN HOOGT IN HELE GRADEN C;
G1 := READ; COMMENT ALS G1 = 1 WORDT TWEDE DEEL MET TIMFAK UITGEVOERD, ANDERS NIET;
NLCR: PRINTTEXT(← RO=→); ABSFIXT(3, 6, RO); PRINTTEXT(←ABS.OHM→);
PRINTTEXT(← A =→); FIXT(0, 10, A); PRINTTEXT(← B =→); FLOT(8, 2, B);
U := 1; V := 5; W := 2;
NLCR: TABELHOOFD;
LAAGT := 100 * LAAGT; HOOGT := 100 * HOOGT + 9;

```

```

BEGIN REAL ARRAY ERTEE(LAAGT : HOOGT);
FOR T := LAAGT STEP 1 UNTIL HOOGT DO
  BEGIN T68 := T / 100 ;
    TEMP := (-0.46434E-5 * T68 + 1.00041333) * T68 + 0.14286E-3;
    RT := ((R * TEMP + A) * TEMP + 1) * RO; ERTEE[T] := RT;
  UITVOER

```

181 - 5563283 CUT7

2

```

END;
IE G1 = 1 IHEN NEVPAGE ELSE GOTO BBB;
PRINTTEXT(←TABEL VOOR PLATINA WEERSTANDSTHERMOMETER Aangepast voor Dieselhorst-kompensator→);
NLCR: SPACE(19);
PRINTTEXT(←BEREKEND VOLGENS DRT = RO * (1 + A * T + B(T + 2))/TIMFAK (GRAAD C, IPTS→);
ABSEIXT(4, 0, JAAR); PRINTTEXT(← PROGR. A-3283-7→); NLCR: SPACE(41);
PRINTTEXT(←MET T = T68 - 0.46434E-5 * (T68 + 2) + 0.41333E-3 * T68 + 0.14286E-3→);
NLCR: SPACE(41);
PRINTTEXT(←(DEZE BENADERING GELDT VAN 0 T/M 60 GRAAD C, OP 0.0001 GRAAD NAUWKEURIG)→);
TEKST;

```

```

NLCR: PRINTTEXT(← RO=→); FLOT(6, 1, RO); PRINTTEXT(←ABS.OHM→);
PRINTTEXT(← A =→); FLOT(8, 2, A); PRINTTEXT(← B =→); FLOT(8, 2, B);
PRINTTEXT(← TIMFAK=→); ABSEIXT(2, 2, TIMFAK);
U := 1; V := 5; W := 2;
NLCR: TABELHOOFD;
FOR T := LAAGT STEP 1 UNTIL HOOGT DO
  BEGIN RT := ERTEE[T]/TIMFAK;
  UITVOER

```

END;

BBB: END; IE S# SS IHEN NEW PAGE

END

END

TABEL VOOR PLATINA WEERSTANDSTHERMOMETER

BEREKEND VOLGENS $R_T = R_0 * (1 + A * T + B * (T + 2))$

(GRAAD C. IPTS 1968)

PROGR A-3283-7

MET $T = \frac{R - R_0}{A + B * (R + R_0)}$

(DEZE BENADERING GELDT VAN 0 T/M 60 GRAAD C. OP 0.0001 GRAAD NAUWKEURIG)

HERAEUS 489988 : TUKING CTD EN LAB.V. LENGTEMETING - MEI 1969

| R0= | 10.779400 | ABS.OHM | A = +.0039851900 | B = -.58700000E-6 | | | | | | | | T68 |
|------|-----------|----------|------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|-----|
| T68 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | T68 | |
| .00 | 10.77941 | 10.77984 | 10.78027 | 10.78070 | 10.78113 | 10.78155 | 10.78198 | 10.78241 | 10.78284 | 10.78327 | .00 | |
| .10 | 10.78370 | 10.78413 | 10.78456 | 10.78499 | 10.78542 | 10.78585 | 10.78628 | 10.78671 | 10.78714 | 10.78757 | .10 | |
| .20 | 10.78800 | 10.78843 | 10.78886 | 10.78929 | 10.78972 | 10.79015 | 10.79058 | 10.79101 | 10.79144 | 10.79187 | .20 | |
| .30 | 10.79230 | 10.79273 | 10.79316 | 10.79359 | 10.79402 | 10.79445 | 10.79488 | 10.79531 | 10.79574 | 10.79617 | .30 | |
| .40 | 10.79660 | 10.79703 | 10.79746 | 10.79788 | 10.79831 | 10.79874 | 10.79917 | 10.79960 | 10.80003 | 10.80046 | .40 | |
| .50 | 10.80089 | 10.80132 | 10.80175 | 10.80218 | 10.80261 | 10.80304 | 10.80347 | 10.80390 | 10.80433 | 10.80476 | .50 | |
| .60 | 10.80519 | 10.80562 | 10.80605 | 10.80648 | 10.80691 | 10.80734 | 10.80777 | 10.80820 | 10.80863 | 10.80906 | .60 | |
| .70 | 10.80949 | 10.80992 | 10.81035 | 10.81077 | 10.81120 | 10.81163 | 10.81206 | 10.81249 | 10.81292 | 10.81335 | .70 | |
| .80 | 10.81378 | 10.81421 | 10.81464 | 10.81507 | 10.81550 | 10.81593 | 10.81636 | 10.81679 | 10.81722 | 10.81765 | .80 | |
| .90 | 10.81808 | 10.81851 | 10.81894 | 10.81937 | 10.81980 | 10.82023 | 10.82066 | 10.82109 | 10.82152 | 10.82195 | .90 | |
| 1.00 | 10.82238 | 10.82280 | 10.82323 | 10.82366 | 10.82409 | 10.82452 | 10.82495 | 10.82538 | 10.82581 | 10.82624 | 1.00 | |
| 1.10 | 10.82667 | 10.82710 | 10.82753 | 10.82796 | 10.82839 | 10.82882 | 10.82925 | 10.82968 | 10.83011 | 10.83054 | 1.10 | |
| 1.20 | 10.83097 | 10.83140 | 10.83183 | 10.83226 | 10.83269 | 10.83312 | 10.83355 | 10.83397 | 10.83440 | 10.83483 | 1.20 | |
| 1.30 | 10.83526 | 10.83569 | 10.83612 | 10.83655 | 10.83698 | 10.83741 | 10.83784 | 10.83827 | 10.83870 | 10.83913 | 1.30 | |
| 1.40 | 10.83956 | 10.83999 | 10.84042 | 10.84085 | 10.84128 | 10.84171 | 10.84214 | 10.84257 | 10.84300 | 10.84343 | 1.40 | |
| 1.50 | 10.84386 | 10.84428 | 10.84471 | 10.84514 | 10.84557 | 10.84600 | 10.84643 | 10.84686 | 10.84729 | 10.84772 | 1.50 | |
| 1.60 | 10.84815 | 10.84858 | 10.84901 | 10.84944 | 10.84987 | 10.85030 | 10.85073 | 10.85116 | 10.85159 | 10.85202 | 1.60 | |
| 1.70 | 10.85245 | 10.85288 | 10.85331 | 10.85373 | 10.85416 | 10.85459 | 10.85502 | 10.85545 | 10.85588 | 10.85631 | 1.70 | |
| 1.80 | 10.85674 | 10.85717 | 10.85760 | 10.85803 | 10.85846 | 10.85889 | 10.85932 | 10.85975 | 10.86018 | 10.86061 | 1.80 | |
| 1.90 | 10.86104 | 10.86147 | 10.86190 | 10.86232 | 10.86275 | 10.86318 | 10.86361 | 10.86404 | 10.86447 | 10.86490 | 1.90 | |
| 2.00 | 10.86533 | 10.86576 | 10.86619 | 10.86662 | 10.86705 | 10.86748 | 10.86791 | 10.86834 | 10.86877 | 10.86920 | 2.00 | |
| 2.10 | 10.86963 | 10.87006 | 10.87049 | 10.87091 | 10.87134 | 10.87177 | 10.87220 | 10.87263 | 10.87306 | 10.87349 | 2.10 | |
| 2.20 | 10.87392 | 10.87435 | 10.87478 | 10.87521 | 10.87564 | 10.87607 | 10.87650 | 10.87693 | 10.87736 | 10.87779 | 2.20 | |
| 2.30 | 10.87822 | 10.87865 | 10.87907 | 10.87950 | 10.87993 | 10.88036 | 10.88079 | 10.88122 | 10.88165 | 10.88208 | 2.30 | |
| 2.40 | 10.88251 | 10.88294 | 10.88337 | 10.88380 | 10.88423 | 10.88466 | 10.88509 | 10.88552 | 10.88595 | 10.88638 | 2.40 | |
| 2.50 | 10.88680 | 10.88723 | 10.88766 | 10.88809 | 10.88852 | 10.88895 | 10.88938 | 10.88981 | 10.89024 | 10.89067 | 2.50 | |
| 2.60 | 10.89110 | 10.89153 | 10.89196 | 10.89239 | 10.89282 | 10.89325 | 10.89368 | 10.89410 | 10.89453 | 10.89496 | 2.60 | |
| 2.70 | 10.89539 | 10.89582 | 10.89625 | 10.89668 | 10.89711 | 10.89754 | 10.89797 | 10.89840 | 10.89883 | 10.89926 | 2.70 | |
| 2.80 | 10.89969 | 10.90012 | 10.90055 | 10.90098 | 10.90140 | 10.90183 | 10.90226 | 10.90269 | 10.90312 | 10.90355 | 2.80 | |
| 2.90 | 10.90396 | 10.90441 | 10.90484 | 10.90527 | 10.90570 | 10.90613 | 10.90656 | 10.90699 | 10.90742 | 10.90785 | 2.90 | |
| 3.00 | 10.90827 | 10.90870 | 10.90913 | 10.90956 | 10.90999 | 10.91042 | 10.91085 | 10.91128 | 10.91171 | 10.91214 | 3.00 | |
| 3.10 | 10.91257 | 10.91300 | 10.91343 | 10.91386 | 10.91429 | 10.91471 | 10.91514 | 10.91557 | 10.91600 | 10.91643 | 3.10 | |
| 3.20 | 10.91686 | 10.91729 | 10.91772 | 10.91815 | 10.91858 | 10.91901 | 10.91944 | 10.91987 | 10.92030 | 10.92073 | 3.20 | |
| 3.30 | 10.92115 | 10.92158 | 10.92201 | 10.92244 | 10.92287 | 10.92330 | 10.92373 | 10.92416 | 10.92459 | 10.92502 | 3.30 | |
| 3.40 | 10.92545 | 10.92588 | 10.92631 | 10.92674 | 10.92717 | 10.92759 | 10.92802 | 10.92845 | 10.92888 | 10.92931 | 3.40 | |
| 3.50 | 10.92974 | 10.93017 | 10.93060 | 10.93103 | 10.93146 | 10.93189 | 10.93232 | 10.93275 | 10.93318 | 10.93360 | 3.50 | |

TABEL VOOR PLATINA WEERSTANDSTHERMOMETER AANGEPAST VOOR DIESELHORST-KOMPENSATOR

BEREKEND VOLGENS $R(T) = R_0 * (1 + A * T + B(T + 2)^2) / T \text{IMFAK}$

(GRAAD C, IPTS 1968)

PROGR. A-3283-7

MET $T = T_{68} - 0.46434_{-5} * (T_{68} + 2) + 0.41333_{-3} * T_{68} + 0.14286_{-3}$

(DEZE BENADERING GELDT VAN 0 T/M 60 GRAAD C, OP 0.0001 GRAAD NAUWKEURIG)

HERAEUS 489988 : IJ KING CTD EN LAB. V. LENGTEMETING - MEI 1969

$R_0 = +.107794_{-2}$ ABS. OHM $A = +.39851900_{-2}$ $B = -.58700000_{-6}$ $T \text{IMFAK} = 1.20$

| T68 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | T68 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| 0.00 | 8.98284 | 8.98320 | 8.98355 | 8.98391 | 8.98427 | 8.98463 | 8.98499 | 8.98535 | 8.98570 | 8.98606 | 0.00 |
| .10 | 8.98642 | 8.98678 | 8.98714 | 8.98749 | 8.98785 | 8.98821 | 8.98857 | 8.98893 | 8.98928 | 8.98964 | .10 |
| .20 | 8.99000 | 8.99036 | 8.99072 | 8.99108 | 8.99143 | 8.99179 | 8.99215 | 8.99251 | 8.99287 | 8.99322 | .20 |
| .30 | 8.99358 | 8.99394 | 8.99430 | 8.99466 | 8.99501 | 8.99537 | 8.99573 | 8.99609 | 8.99645 | 8.99680 | .30 |
| .40 | 8.99716 | 8.99752 | 8.99788 | 8.99824 | 8.99860 | 8.99895 | 8.99931 | 8.99967 | 9.00003 | 9.00039 | .40 |
| .50 | 9.00074 | 9.00110 | 9.00146 | 9.00182 | 9.00218 | 9.00253 | 9.00289 | 9.00325 | 9.00361 | 9.00397 | .50 |
| .60 | 9.00432 | 9.00468 | 9.00504 | 9.00540 | 9.00576 | 9.00611 | 9.00647 | 9.00683 | 9.00719 | 9.00755 | .60 |
| .70 | 9.00790 | 9.00826 | 9.00862 | 9.00898 | 9.00934 | 9.00970 | 9.01005 | 9.01041 | 9.01077 | 9.01113 | .70 |
| .80 | 9.01149 | 9.01184 | 9.01220 | 9.01256 | 9.01292 | 9.01328 | 9.01363 | 9.01399 | 9.01435 | 9.01471 | .80 |
| .90 | 9.01507 | 9.01542 | 9.01578 | 9.01614 | 9.01650 | 9.01686 | 9.01721 | 9.01757 | 9.01793 | 9.01829 | .90 |
| 1.00 | 9.01865 | 9.01900 | 9.01936 | 9.01972 | 9.02008 | 9.02044 | 9.02079 | 9.02115 | 9.02151 | 9.02187 | 1.00 |
| 1.10 | 9.02223 | 9.02258 | 9.02294 | 9.02330 | 9.02366 | 9.02402 | 9.02437 | 9.02473 | 9.02509 | 9.02545 | 1.10 |
| 1.20 | 9.02581 | 9.02616 | 9.02652 | 9.02688 | 9.02724 | 9.02760 | 9.02795 | 9.02831 | 9.02867 | 9.02903 | 1.20 |
| 1.30 | 9.02939 | 9.02974 | 9.03010 | 9.03046 | 9.03082 | 9.03118 | 9.03153 | 9.03189 | 9.03225 | 9.03261 | 1.30 |
| 1.40 | 9.03297 | 9.03332 | 9.03368 | 9.03404 | 9.03440 | 9.03476 | 9.03511 | 9.03547 | 9.03583 | 9.03619 | 1.40 |
| 1.50 | 9.03655 | 9.03690 | 9.03726 | 9.03762 | 9.03798 | 9.03834 | 9.03869 | 9.03905 | 9.03941 | 9.03977 | 1.50 |
| 1.60 | 9.04013 | 9.04048 | 9.04084 | 9.04120 | 9.04156 | 9.04192 | 9.04227 | 9.04263 | 9.04299 | 9.04335 | 1.60 |
| 1.70 | 9.04370 | 9.04406 | 9.04442 | 9.04478 | 9.04514 | 9.04549 | 9.04585 | 9.04621 | 9.04657 | 9.04693 | 1.70 |
| 1.80 | 9.04728 | 9.04764 | 9.04800 | 9.04836 | 9.04872 | 9.04907 | 9.04943 | 9.04979 | 9.05015 | 9.05051 | 1.80 |
| 1.90 | 9.05086 | 9.05122 | 9.05158 | 9.05194 | 9.05230 | 9.05265 | 9.05301 | 9.05337 | 9.05373 | 9.05408 | 1.90 |
| 2.00 | 9.05444 | 9.05480 | 9.05516 | 9.05552 | 9.05587 | 9.05623 | 9.05659 | 9.05695 | 9.05731 | 9.05766 | 2.00 |
| 2.10 | 9.05802 | 9.05838 | 9.05874 | 9.05910 | 9.05945 | 9.05981 | 9.06017 | 9.06053 | 9.06089 | 9.06124 | 2.10 |
| 2.20 | 9.06160 | 9.06196 | 9.06232 | 9.06267 | 9.06303 | 9.06339 | 9.06375 | 9.06411 | 9.06446 | 9.06482 | 2.20 |
| 2.30 | 9.06518 | 9.06554 | 9.06590 | 9.06625 | 9.06661 | 9.06697 | 9.06733 | 9.06768 | 9.06804 | 9.06840 | 2.30 |
| 2.40 | 9.06876 | 9.06912 | 9.06947 | 9.06983 | 9.07019 | 9.07055 | 9.07091 | 9.07126 | 9.07162 | 9.07198 | 2.40 |
| 2.50 | 9.07234 | 9.07270 | 9.07305 | 9.07341 | 9.07377 | 9.07413 | 9.07448 | 9.07484 | 9.07520 | 9.07556 | 2.50 |
| 2.60 | 9.07592 | 9.07627 | 9.07663 | 9.07699 | 9.07735 | 9.07770 | 9.07806 | 9.07842 | 9.07878 | 9.07914 | 2.60 |
| 2.70 | 9.07949 | 9.07985 | 9.08021 | 9.08057 | 9.08093 | 9.08128 | 9.08164 | 9.08200 | 9.08236 | 9.08271 | 2.70 |
| 2.80 | 9.08307 | 9.08343 | 9.08379 | 9.08415 | 9.08450 | 9.08486 | 9.08522 | 9.08558 | 9.08594 | 9.08629 | 2.80 |
| 2.90 | 9.08665 | 9.08701 | 9.08737 | 9.08772 | 9.08808 | 9.08844 | 9.08880 | 9.08916 | 9.08951 | 9.08987 | 2.90 |
| 3.00 | 9.09023 | 9.09059 | 9.09094 | 9.09130 | 9.09166 | 9.09202 | 9.09238 | 9.09273 | 9.09309 | 9.09345 | 3.00 |
| 3.10 | 9.09381 | 9.09416 | 9.09452 | 9.09488 | 9.09524 | 9.09560 | 9.09595 | 9.09631 | 9.09667 | 9.09703 | 3.10 |
| 3.20 | 9.09738 | 9.09774 | 9.09810 | 9.09846 | 9.09882 | 9.09917 | 9.09953 | 9.09989 | 9.10025 | 9.10060 | 3.20 |
| 3.30 | 9.10096 | 9.10132 | 9.10168 | 9.10204 | 9.10239 | 9.10275 | 9.10311 | 9.10347 | 9.10382 | 9.10418 | 3.30 |
| 3.40 | 9.10454 | 9.10490 | 9.10526 | 9.10561 | 9.10597 | 9.10633 | 9.10669 | 9.10704 | 9.10740 | 9.10776 | 3.40 |
| 3.50 | 9.10812 | 9.10848 | 9.10883 | 9.10919 | 9.10955 | 9.10991 | 9.11026 | 9.11062 | 9.11098 | 9.11134 | 3.50 |

rapport nr 0224

blz. 35 van 73 blz.

3.4. Het ijken van weerstandthermometers.

Ter verduidelijking van het volgende betoog laten we hieronder de formules (2.2.1) t/m (2.2.5) nog eens volgen.

$$t_{68} = t' + 0,045 \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{419,58^{\circ}\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{630,74^{\circ}\text{C}} - 1 \right) \quad (2.2.1)$$

$$t' = \frac{1}{\alpha} (W(t') - 1) + \delta \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^{\circ}\text{C}} - 1 \right)^{\circ}\text{C} \quad (2.2.2)$$

$$W(t') = \frac{R(t')}{R(0^{\circ}\text{C})} \quad (2.2.3)$$

$$W(t') = \frac{R(t')}{R(0^{\circ}\text{C})} = 1 + At' + Bt'^2 \quad (2.2.4)$$

$$A = \alpha \left(1 + \frac{\delta}{100^{\circ}\text{C}} \right) ^{\circ}\text{C}^{-1} \quad (2.2.5)$$

$$B = - 10^{-4} \cdot \alpha \delta ^{\circ}\text{C}^{-2}$$

Het zal duidelijk zijn dat van een weerstandthermometer de constanten R_0 , α en δ (cq. A en B) berekend kunnen worden door de weerstanden te meten bij 3 "fixed points" en formule (2.2.2) toe te passen.

Omdat deze ijkefaciliteiten tot op heden niet gerealiseerd zijn in THE-verband en extern gezien de lange wachttijd ook moeilijk te verwezenlijken zijn is in nauwe samenwerking met de IJK- en Controle Dienst van de Centrale Technische Dienst van deze Hogeschool een aantal ijkings verricht in het temperatuurtraject van 0 - 180°C. Het ligt echter in het voornemen van deze Centrale Technische Dienst om ook ijkings bij de "fixed points" te gaan realiseren.

Toegepast werd voor het 0°C punt een ijscel en verdere punten in het

traject werden verkregen m.b.v. Oliebadthermostaat van de Fa. P.M. Tamson N.V., type TEV 70 "nauwkeurigheid $\pm 0,002$ K.

Als temperatuurreferentie werden 2 KOL-platina weerstandthermometers gebruikt, die geijkt waren door het Kamerlingh Onnes Laboratorium te Leiden, nl. de KOL 179, eigendom Centrale Technische Dienst en de KOL 178 in bezit van Laboratorium voor Lengtemeting.

Ook hier werden de weerstandwaarden door spanningsmeting m.b.v. een compensatiebank bepaald.

Nl. de Vernier-Potentiometer Type 4363 D fabr. H. Tinsley, Ltd.

Zie voor een overzicht van deze ijkingen Appendix H.

Zoals uit nadere bestudering van formules (2.2.1) t/m (2.2.5) blijkt is (2.2.4) geschreven als

$$R(t') = R(0^{\circ}\text{C}) \{ 1 + A t' + B t'^2 \} \quad (3.4.1)$$

het eenvoudigst te hanteren om uit de ijkingen de constanten R_0 , A en B te bepalen.

De ijkingen vermeld in Appendix H werden verwerkt m.b.v. 2 rekenprogramma's, nl.

A - 3593 - 1 - stapsgewijze niet lineaire regressie.

A - 2080 - 1 - stapsgewijze lineaire regressie.

M.b.v. programma A - 2080 - 1 was het ook mogelijk de spreidingen in de berekende constanten R_0 , A en B te bepalen.

Programma A - 3593 - 1 is gekozen als schaduwprogramma. Het een en ander is samen gevat in de volgende tabellen.

Ook uit de gemeten weerstandwaarden van de ijkthermometers (KOL 179,

KOL 178), waaraan de temperatuur gerefereerd is, werden de constanten R_0 , A en B van deze ijkthermometers met bovengenoemde programma's berekend.

Hierdoor werd een indruk verkregen van de nauwkeurigheid van de rekenprogramma's A - 2080 - 1 en A - 3593 - 1.

We zien uit Tabel 1, dat de verschillen in R_0 van KOL 179 tussen de ijking van het Kamerlingh Onnes Laboratorium en onze ijkingen $2 \cdot 10^{-5}$ Ohm bedragen. Dit komt overeen met $\approx 0,3$ mK.

Bovendien werd nog in dit programma A - 2080 - 1 de 5e decimaal afgerond, zodat bij uitbreiding van het programma een nog betere overeenkomst tussen de ijkingen verwacht mag worden.

Aan de voorwaarde genoemd in I.P.T.S.-1968, dat $\frac{R(100^\circ\text{C})}{R(0^\circ\text{C})} \geq 1,39250$, wordt door de Heraeus 490149 ; 489988, 490148 en 490168 aan voldaan, echter niet door de KOL 178, 179 en Heraeus 488.989.

Voor de KOL 178, en 179 valt op te merken dat deze twee standaardthermometers gefabriceert zijn voor 1968, ze voldoen uiteraard aan de voorwaarde van I.P.T.S.-1960; $\frac{R(100^\circ\text{C})}{R(0^\circ\text{C})} \geq 1,3920$.

De Heraeus 488989 voldoet ook niet aan deze laatste voorwaarde.

In Hoofdstuk 3.5 wordt uitgaande van de eis dat uit de weerstand-temperatuurrelatie de temperatuur bekend moet zijn met een onzekerheid van ≤ 2 mK, gevonden dat

$$\Delta R(t') \leq 4 \cdot 10^{-5} \text{ Ohm}$$

$$\Delta A \leq 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta B \leq 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$$

Vergelijken we deze eisen met de berekende spreidingen van de KOL 179, dan merken we op, dat de nauwkeurigheid van het rekenproces in dit geval voldoende is. Immers de eindige nauwkeurigheid van het rekenproces geeft spreidingen voor de KOL 179, die $\leq 0,3$ mK bedragen (zie Tabel 2).

0

In Tabel 2 zijn de spreidingen uit Tabel 1 nog eens gegeven en omgerekend in mK, uitgaande van de eis, dat uit de weerstandtemperatuurrelatie de temperatuur bekend moet zijn op ≤ 2 mK.

5

In de laatste kolommen van Tabel 2 is de totale onzekerheid "s" van de thermometers vermeld.

10

We zien hieruit dat de thermometers Heraeus 490149 en 489988 ongeveer aan de gestelde eis ≤ 2 mK voldoen, maar dat de Heraeus 490148 en 490168 (ijkingen dec. 1969) hieraan niet voldoen.

15

20

25

30

35

40

45

50

8 5 20 25 30 35 40 45 50 55 60

werkplaatstechniek

technische hogeschool eindhoven

rapport nr. 0244

DIZ 40 VAN 7 3MIZ

Tabel 1

| dd. | Thermometer | R_0 abs. Ohm | S_{R_0} abs. Ohm | A K^{-1} | S_A K^{-1} | B $\cdot 10^{-6} K^{-2}$ | S_B $\cdot 10^{-6} K^{-2}$ | Eis als IPTS-68 $\frac{R(100^\circ C)}{R(0^\circ C)} \rightarrow 1,39250$ |
|-----------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|
| mei '69 | Heraeus 490149 | 11,0129 | $0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,00398569 | $30 \cdot 10^{-8}$ | -0,5876 | 0,0020 | 1,39269 |
| mei '69 | Heraeus 489988 | 10,7794 | $0,5 \cdot 10^{-4}$ | 0,00398519 | $20 \cdot 10^{-8}$ | -0,5870 | 0,0010 | 1,39265 |
| mei '69 | KOL 179 | 18,0620 | $0,06 \cdot 10^{-4}$ | 0,00397996 | $1 \cdot 10^{-8}$ | -0,5860 | 0,00007 | 1,39214 |
| mei '68 | KOL 1) 179 | 18,06198 | - | 0,00397991 | - | -0,5858 | - | 1,39213 |
| mei '68 | KOL 1) 178 | 19,3685 | - | 0,00398014 | $16 \cdot 10^{-8}$ | -0,5838 | 0,0006 | 1,39218 |
| dec. '69 | Heraeus 490148 | 10,8860 | $2,0 \cdot 10^{-4}$ | 0,00398539 | $50 \cdot 10^{-8}$ | -0,5848 | 0,0030 | 1,39269 |
| dec. '69 | Heraeus 490168 | 11,2220 | $1,6 \cdot 10^{-4}$ | 0,00398476 | $40 \cdot 10^{-8}$ | -0,5839 | 0,0020 | 1,39264 |
| dec. '69 | KOL 179 | 18,0620 | $0,1 \cdot 10^{-4}$ | 0,00397990 | $6 \cdot 10^{-8}$ | -0,5858 | 0,0003 | 1,39213 |
| maart '69 | Heraeus 2) 488989 | 11,13160 | - | 0,00397607 | - | -0,5857 | - | 1,39175 |

1) KOL 178 en KOL 179 zijn geïkt mei 1968 door het Kamerlingh Onnes Laboratorium te Leiden.
 2) Heraeus 488989 " " maart 1969 door Physikalisch-Technische Bundesanstalt te Braunschweig.

Tabel 2

| Thermometer | S_{R_0} $\cdot 10^{-4} \text{ Ohm}$ | S_{R_0} mK. | S_A $\cdot 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ | S_A mK. | S_B $\cdot 10^{-8} \text{ K}^{-2}$ | S_B mK. | S_{tot} mK |
|----------------------------------|--|------------------|---|--------------|---|--------------|------------------------|
| De voorwaarde volgens hfdst. 3.5 | 0,4 | 1,0 | 20 | 1,0 | 1,00 | 1,0 | ≤ 2 |
| Heraeus 490149 | 0,7 | 1,7 | 30 | 1,5 | 0,20 | 0,2 | 2,3 |
| Heraeus 489988 | 0,5 | 1,2 | 20 | 1,0 | 0,10 | 0,1 | 1,6 |
| Heraeus 490148 | 2,0 | 5 | 50 | 2,5 | 0,30 | 0,3 | 5,6 |
| Heraeus 490168 | 1,6 | 4 | 40 | 2 | 0,20 | 0,2 | 4,5 |
| KOL 179 ³⁾ | 0,1 | 0,1 | 6 | 0,3 | 0,03 | 0,03 | 0,3 |

Conclusie :

- Heraeus 490149 en 489988 "voldoen" aan de gestelde eis ≤ 2 mK.
- Heraeus 490148 en 490168 voldoen niet aan deze eis.
- De spreidingen, hier gegeven, zijn op te vatten als de onnauwkeurigheden in het rekenprogramma.

A - 2080 - 1 .

3.5. Bespreking van de nauwkeurigheid van de constanten R_0 , A en B.

Zoals in hoofdstuk 3.1. wordt geanalyseerd moet de temperatuur gemeten worden op ≤ 5 mK. Indien we er nu van uitgaan, dat de temperatuur gegeven door de weerstandtemperatuurrelatie, **volgend** uit de ijkingen, bekend moet zijn met een onzekerheid van ≤ 2 mK bij 20°C , wordt in het volgende gegeven met welke nauwkeurigheid de ijkingen dienen te geschieden.

Hieruit volgen de eisen die gesteld moeten worden aan de onnauwkeurigheden in de "constanten" R_0 , A en B.

De bekende relatie

$$R(t') = R(0^\circ\text{C}) \{ 1 + At' + Bt'^2 \} \quad (3.5.1.)$$

wordt geschreven als

$$f(t') = \frac{R(t')}{R(0^\circ)} = 1 + At' + Bt'^2 \quad (3.5.2)$$

Aangezien nu $f(t') = f(A, B, t')$ volgt als we de onzekerheden in de "constanten" behandelen als volgt:

$$\Delta f(t') = \frac{\delta f(t')}{\delta A} \cdot \Delta A + \frac{\delta f(t')}{\delta B} \cdot \Delta B + \frac{\delta f(t')}{\delta t'} \cdot \Delta t'$$

$$\Delta f(t') = t' \Delta A + t'^2 \cdot \Delta B + (A+2Bt') \cdot \Delta t \quad (3.5.3.)$$

Uitgaande van bovengenoemde eis, dat bij 20°C de temperatuur uit de weerstandtemperatuurrelatie bekend moet zijn op ≤ 2 mK, resulteert dit voor de Heraeus-thermometers (meetweerstand 10-11 Ohm, $1 \text{ mK} \approx 4 \cdot 10^{-5}$ Ohm), dat

$$\Delta f(t') = \frac{R(t'_1)}{R(0)} - \frac{R(t'_1 + 2\text{mK})}{R(0)} \approx \frac{8 \cdot 10^{-5}}{R_0} \approx 8 \cdot 10^{-6}$$

Uit $f(t') = \frac{R(t')}{R_0}$ volgt

$$\frac{\Delta f(t')}{f(t')} = \frac{\Delta R(t')}{R(t')} + \frac{\Delta R(0)}{R_0} \approx 2 \frac{\Delta R(t')}{R(t')}$$

Met $f(t' = 20^\circ\text{C}) \approx 1,1$ wordt $\frac{\Delta f(t')}{f(t')} \approx 7 \cdot 10^{-6}$.

Uit bovenstaande volgt dan $\frac{\Delta R(t')}{R(t')} \approx 3,5 \cdot 10^{-6}$.

Voor de Heraeus thermometers betekent dit dat bij 20°C , $\Delta R(t') \leq 4 \cdot 10^{-5}$ Ohm, hetgeen overeenkomt met ≤ 1 mK.

In (3.5.3.) kan de term $(A+2Bt')\Delta t'$ verwaarloosd worden, immers

$$A \approx 0,004 \text{ K}^{-1}$$

$$B \approx 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$$

$$t' \approx 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta t \approx 2 \text{ mK}$$

Δt is de onzekerheid van de ijkthermometer KOL 178 en KOL 179.

Volgens opgave in ijkrapport KOL 178, geijkt door het Kamerlingh Onnes Laboratorium te Leiden, is onzekerheid bij 20°C in de temperatuurweerstand relatie $\approx 1,5$ mK.

Hierdoor gaat (3.5.3.) over in

$$\Delta f(t') = t' \Delta A + t'^2 \Delta B \tag{3.5.4.}$$

Kennen we nu aan elk van de twee termen van (3.5.4) de helft van de onzekerheid in $\Delta f(t') = 8 \cdot 10^{-6}$ toe, dan volgt

$$\Delta A = \frac{\frac{1}{2} \Delta f(t')}{t'} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{t'} \tag{3.5.5.}$$

$$\Delta B = \frac{\frac{1}{2} \Delta f(t')}{t'^2} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{t'^2} \tag{3.5.6.}$$

Bovenstaande betekent dat bij $t' = 20^\circ\text{C}$ de constanten A en B bekend moeten zijn met

$$\Delta A \leq 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \quad (3.5.7.)$$

$$\Delta B \leq 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2} \quad (3.5.8.)$$

In Hoofdstuk 3.4 zijn in de tabellen van de uitgevoerde ijkingen bij de constanten van de geijkte thermometers de spreidingen, berekend met programma A-2080-1, gegeven.

Deze worden getoetst aan bovenstaande eis voor $\Delta R(t')$, ΔA en ΔB .

- 0
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
10. T.M. Dauphinee Potentiometric Methods of Resistance Measurement.
NRC. Ottawa Canada. Uit: Temperature. Its
measurement and Control in Science and Industry.
Vol. 3. Part. 1. pag. 269 t/m 289.
Reinhold Publishing Corporation. New York.
11. J. Koning Meten W-4
Syllabus naar het college van drs. J. Koning.
TH-Eindhoven. Dictaat nr. 431.
12. C.E. Mulders Elektrische meettechniek. College dictaat
nr. 574. Uitgave 1967. TH-Eindhoven.
13. J. de Boer Temperature as a Basic Physical Quantity.
Metrologia Vol. 1 no. 4, 1965.
14. P.H.J. Schellekens
E.A. Khokhar Analysis of errors in a linestandard
measurement.
WT rapport no. 0226.

5. Appendices

| <u>Appendix</u> | <u>Benaming</u> | <u>blz.</u> |
|-----------------|---|-------------|
| A | Overzicht "Fixed Points" van de ITS-27; IPTS-48 en IPTS-68 | 48 |
| B | Verschillen tussen IPTS-68 en IPTS-48 (Amended edition 1960) | 50 |
| C-1 | Afleiding lengte-temperatuurrelatie (3.1) | 51 |
| C-2 | Afleiding lengte-temperatuurrelatie (3.2) | 54 |
| D-1 | Weerstandmeting m.b.v. spanningsmeting | 56 |
| D-2 | Principe schema van de thermometerweerstand- meting m.b.v. Dieselhorstcompensator | 59 |
| E | Overzicht temperatuurmeetpunten in het lab. voor lengtemeting | 62 |
| F | Verschillen van correctie formule IPTS-68 met kwadratische aanpassing in het gebied van 0-60°C | 64 |
| G | Uitwerking van de vergelijking $R_{t_{68}} = R_0 (1 + At' + Bt'^2) \text{ met } t_{68} = t' + pt_{68}^2 + qt_{68}^3 + r$ | 65 |
| H | Overzicht van de ijkingen van de heraeus platina weerstandthermometers (type PTB) | 69 |

50 45 40 35 30 25 20 15 10 5 0

Overzicht "Fixed Points" van de ITS-27, IPTS-48 en IPTS-68

| "Fixed Points" | 1927 | 1948 | 1968 | | Onnauwkeurigheid volgens IPTS-68 |
|-----------------------------------|-----------|------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|
| | | | T ₆₈ K | t ₆₈ °C | |
| Kookpunt van Zuursuif | 90,18 K | 90,180 K | 90,188 | -182,962 | 0,01 K |
| Ispunt ¹⁾ | 0 °C | 0 °C | 273,15 | 0 | - |
| Triplepunt van Water | - | - | 273,16 | 0,01 | exact per def. |
| Kookpunt van Water | 100 °C | 100 °C | 373,15 | 100 | 0,005 K |
| Stolpunt van Zink | - | - | 692,73 | 419,58 | 0,015 K |
| Kookpunt van Zwavel ²⁾ | 444,60 °C | 444,600 °C | 717,824 | 444,674 | - |
| Stolpunt van Zilver | 960,5 °C | 960,8 °C | 1235,08 | 961,93 | 0,2 K |
| Stolpunt van Goud | 1063 °C | 10630 °C | 1337,58 | 1064,43 | 0,2 K |

werkloosstechniek

technische hogeschool eindhoven

rapport nr. 0224

Appendix A

NL48 van 73 Hz

APPENDIX A.

- 1) Het ijspunt is een secundair "fixed point" van de I.P.T.S.-68.
- 2) Voor I.P.T.S.-68 is het kookpunt van zwavel een secundair "fixed point".

Bron

1. Uit "Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry.
J.A. Hall
(Reinhold Publishing Corporation
New York 1955. Vol. 2. p.p. 115-139).
2. The International Practical Temperature Scale of 1968.
Metrologia. Vol. 5. No. 2. April 1969.

APPENDIX B

Verschillen tussen I.P.T.S.-68 en I.P.T.S.-48
(Amended edition 1960).

1. De laagste grens van de I.P.T.S. is nu 13,81 K in plaats van 90,18 K.

2. De "fixed points" werden waar nodig was aangepast aan de thermodynamische temperatuur.
Behalve het triple punt van water welke per definitie vast ligt op 273,16 K, werd ook het stoompunt van water niet veranderd (zie Appendix A, voor overzicht "fixed points").

3. De voorwaarde voor platina weerstandthermometers is nu geworden

$$W(T_{68}) = \frac{R(T_{68})}{R(273,15K)} \geq 1,39250$$

i.p.v. $W(T_{60}) \geq 1,3920$.

4. In het gebied van 90,188 K tot 273,15 K wordt de Callendar-Van Dusen vergelijking niet langer meer toegepast. In plaats hiervan is de functie $W_{ccT-68}(T_{68})$ gekomen.

Zie I.P.T.S.-1968. Metrologia Vol.5.No.2 april 1969.

5. Vanaf 0°C tot 630,74°C, werd de Callendar-vergelijking gemodificeerd, zodanig dat de geïnterpreteerde waarden beter overeen kwamen met de thermodynamische temperatuurwaarden.

6. Verder werd in de Planck-vergelijking voor temperaturen boven het stolpunt van goud, gewijzigd de oonstante $c_2 = 0,014\ 388$ mK.

Appendix C-1

afleiding van formule (3.1) $l_{w,t} = l_{s,0} \{ 1 + \alpha_w \Delta t + \Delta \alpha (t_w - 20) + \Delta \alpha \Delta t \}$

1: De temperatuurscoëfficiënt α_l wordt gedefinieerd als

$$\alpha_l = \frac{1}{l} \frac{dl}{dt}$$

Beschouwen we de lengte l alleen als functie van t

dan $\alpha_l = \frac{1}{l} \frac{dl}{dt} \Rightarrow \frac{dl}{l} = \alpha_l dt$

Integreren we dit tussen de grenzen l_0 en l , dan

volgt: $\int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \int_{20^\circ C}^{t} \alpha_l dt \Rightarrow \ln \frac{l}{l_0} = \alpha_l (t - 20)$

of wel $l = l_0 e^{\alpha_l (t - 20)}$

Ontwikkelen wenn deze e-macht in een reeks, dan volgt

$$l = l_0 \left\{ 1 + \alpha_l (t - 20) + \frac{\alpha_l^2 (t - 20)^2}{2!} + \dots \right\}$$

Nu wordt meestal beschouwd alleende term met α_l zodat volgt de natuurlijk erg bekende formule

$$l = l_0 \{ 1 + \alpha_l (t - 20) \}$$

2: De meetstandaard in een meetmachine voldoet nu aan de volgende relatie

$$l_{s,t} = l_{s,0} \{ 1 + \alpha_s (t_s - 20) \} \tag{1}$$

Heb werksluit aan:

$$l_{w,t} = l_{w,0} \{ 1 + \alpha_w (t_w - 20) \} \tag{2}$$

Hierin zijn $l_{s.k}$ = lengte meetstandaard bij temp. t °C.

$l_{s.0}$ = " " " " " " 20 °C.

$l_{w.k}$ = " werkstuk " " " t °C.

$l_{w.0}$ = " " " " " " 20 °C.

α_s = uitzettingscoëfficiënt standaard.

α_w = " " " " werkstuk.

t_s = temperatuur van de meetstandaard.

t_w = " " " " het werkstuk.

Verder nemen we aan dat $\alpha_s = \alpha_w + \Delta\alpha$ met $\Delta\alpha \ll \alpha_w$

$t_s = t_w + \Delta t$ met $\Delta t \ll t_w$

3: Het zal duidelijk zijn dat als het werkstuk op de meetapparatuur wordt gemeten, dat geldt:

$$l_{s.k} = l_{w.k}$$

en waaruit met formules ① en ② volgt

$$l_{w.0} = l_{s.0} \frac{1 + \alpha_s(t_s - 20)}{1 + \alpha_w(t_w - 20)} \quad \text{③}$$

Nu kan deze betrekking op verschillende manieren verder verwerkt worden, b.v.

a) Omdat $\alpha_w(t_w - 20) \ll 1$ geldt

$$\frac{1}{1 + \alpha_w(t_w - 20)} \approx 1 - \alpha_w(t_w - 20)$$

Dit in ③ gesubstitueerd en uitgewerkt geeft formule (3.1)

b) Door in (2) te substitueren $\left. \begin{array}{l} \alpha_s = \alpha_w + \Delta\alpha \\ k_s = k_w + \Delta k \end{array} \right\}$

en verder na uitwerking hiervan te delen door de noemer $1 + \alpha_w(k_w - z_0)$, wordt ook formule (3.1) verkregen

4: Hieronder volgt de methode onder 3. b genoemd.

$$I_{w_0} = I_{s_0} \frac{\{ 1 + (\alpha_w + \Delta\alpha)(k_w - z_0 + \Delta k) \}}{1 + \alpha_w(k_w - z_0)}$$

$$= I_{s_0} \frac{1 + \alpha_w(k_w - z_0) + \alpha_w \Delta k + \Delta\alpha(k_w - z_0) + \Delta\alpha \Delta k}{1 + \alpha_w(k_w - z_0)}$$

$$= I_{s_0} \left\{ 1 + \frac{\alpha_w \Delta k + \Delta\alpha(k_w - z_0) + \Delta\alpha \Delta k}{1 + \alpha_w(k_w - z_0)} \right\}$$

Omdat nu $\alpha_w(k_w - z_0) \ll 1$ kan worden geschreven

$$I_{w_0} = I_{s_0} \{ 1 + \alpha_w \Delta k + \Delta\alpha(k_w - z_0) + \Delta\alpha \Delta k \} \quad (3.1)$$

Appendix C-2

Afleiding van formule (3.2)

$$l_{w,0} = l_{ps,0} \left\{ 1 - \alpha_w (t_w - 20) + \alpha_{ps} (t_w - 20) + \alpha_{ps} \Delta t \right\}$$

1: We passen dezelfde relaties toe als afgeleid in Appendix C-1.

$$l_{ps,k} = l_{ps,0} \left\{ 1 + \alpha_{ps} (t_{ps} - 20) \right\} \quad (4)$$

$$l_{w,k} = l_{w,0} \left\{ 1 + \alpha_w (t_w - 20) \right\} \quad (5)$$

Hierin zijn $l_{ps,k}$ = lengte golflengtestandaard bij k °C.

$l_{ps,0}$ = " " " " 20 °C.

$l_{w,k}$ = " streepstandaard " k °C.

$l_{w,0}$ = " " " " 20 °C.

α_{ps} = uitzettingscoëfficiënt golflengtestandaard.

α_w = " " " streepstandaard.

t_{ps} = temperatuur golflengtestandaard.

t_w = " " " streepstandaard.

2: Hier geldt ook weer dat bij het maken van streepstandaard tegen golflengtestandaard, geldt:

$$l_{ps,k} = l_{w,k}$$

waaruit volgt met (4) en (5)

$$l_{w,0} = l_{ps,0} \frac{1 + \alpha_{ps} (t_{ps} - 20)}{1 + \alpha_w (t_w - 20)} \quad (6)$$

Voor uitwerking van deze formule ⑥ passen we de methode toe in Appendix C-1 bij 3.a genoemd.

Zodet volgt

$$l_{w,0} = l_{ps,0} \left\{ 1 + \alpha_{ps} (k_{ps} - 20) \right\} \cdot \left\{ 1 + \alpha_w (k_w - 20) \right\}$$

Stellen we hierin $k_{ps} = k_w + \Delta k$, met $\Delta k \ll k_w$.

Deze veronderstelling is in het geïsoleerde meetstelsel van de lineaire interferometer gerechtvaardigd

$$\begin{aligned} l_{w,0} &= l_{ps,0} \left\{ 1 - \alpha_w (k_w - 20) + \alpha_{ps} (k + \Delta k - 20) - \alpha_{ps} \alpha_w (k_w + \Delta k - 20) (k_w - 20) \right\} \\ &= l_{ps,0} \left\{ 1 - \alpha_w (k_w - 20) + \alpha_{ps} (k_w - 20) + \alpha_{ps} \Delta k - \alpha_{ps} \alpha_w (k_w + \Delta k - 20) \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot (k_w - 20) \right\} \quad \textcircled{7} \end{aligned}$$

3: Nu is $\alpha_{ps} \approx 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/m.K}$

$\alpha_w \approx 10 \cdot 10^{-6} \text{ m/m.K}$, daarmee is de laatste

term van ⑦ te verwaarlozen, zodat deze formule overgaat in formule (3.2)

$$l_{w,0} = l_{ps,0} \left\{ 1 - \alpha_w (k_w - 20) + \alpha_{ps} (k_w - 20) + \alpha_{ps} \Delta k \right\} \quad (3.2)$$

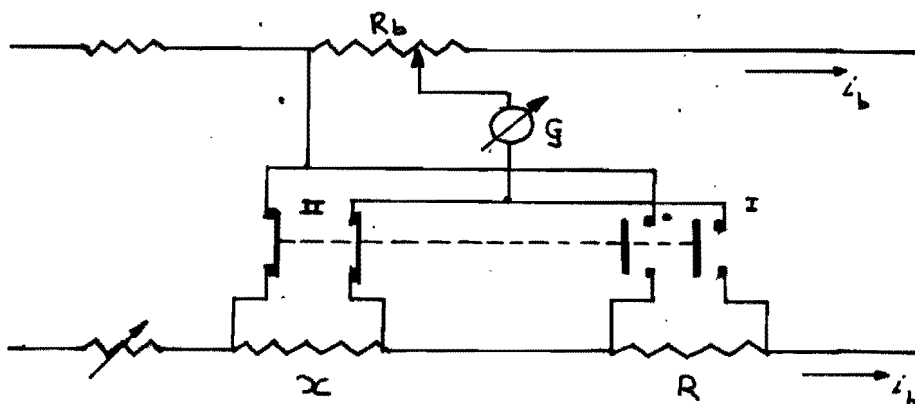
Appendix D-1.

Weerstands meting met behulp van spanningsmeting.

De bekende standaard methoden om dit uit te voeren hebben allen het principe dat de verhouding van de spanning over de onbekende weerstand X en een bekende weerstand R bepaald wordt.

Deze weerstanden worden door dezelfde stroom doorlopen.

1^o methode.



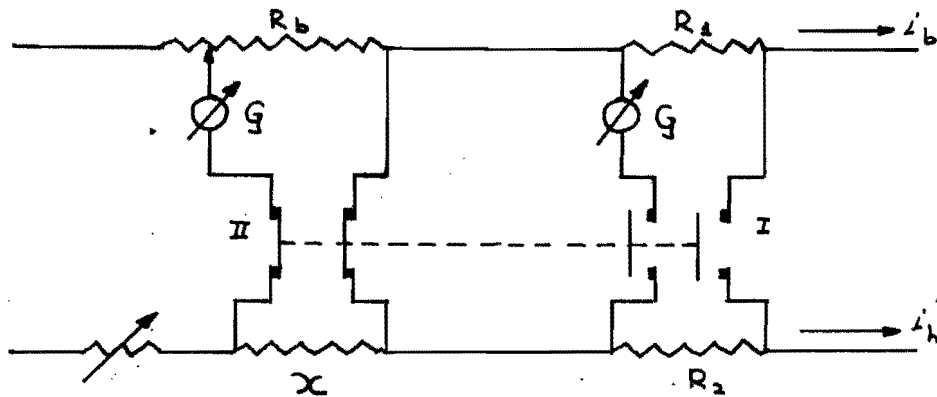
Als $G =$ stroomloos ; i_b en i_h onbekend.

Stand I $\Rightarrow i_h R = R_{bI} i_b$

Stand II $\Rightarrow i_h X = R_{bII} i_b$

$$\left. \begin{array}{l} \Rightarrow i_h R = R_{bI} i_b \\ \Rightarrow i_h X = R_{bII} i_b \end{array} \right\} \Rightarrow X = \frac{R_{bII}}{R_{bI}} R$$

2^e methode



Stand I : G -stroomloos door i_b of i_h in te stellen

$$i_b R_1 = i_h R_2 \quad \rightarrow \quad \frac{i_b}{i_h} = \frac{R_2}{R_1}$$

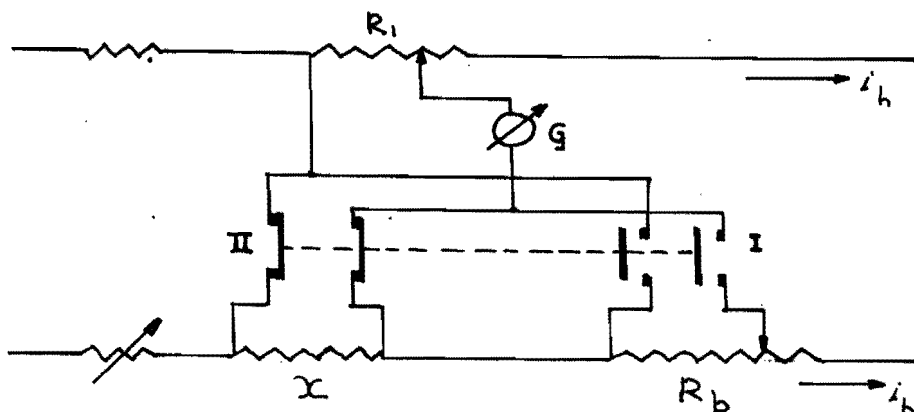
Stand II : stroom instelling niet veranderen en als G -stroomloos

$$i_b R_b = i_h X$$

$$\text{Hieruit volgt } X = \frac{i_b}{i_h} R_b = \frac{R_2}{R_1} R_b$$

3^e methode

Hierbij is de meetbank in serie met de onbekende weerstand geschakeld



Stand I : G - stroom loos , dan $i_h R_1 = i_b R_b$
 Stand II : " " , dan $i_h R_1 = i_b X$ } $\rightarrow X = R_b$

Het grote voordeel boven de bekende brugmeting van dit soort weerstandsmeting is de ongevoeligheid voor de bovoortleidingen van de meetapparatuur naar de weerstandskthermometer.

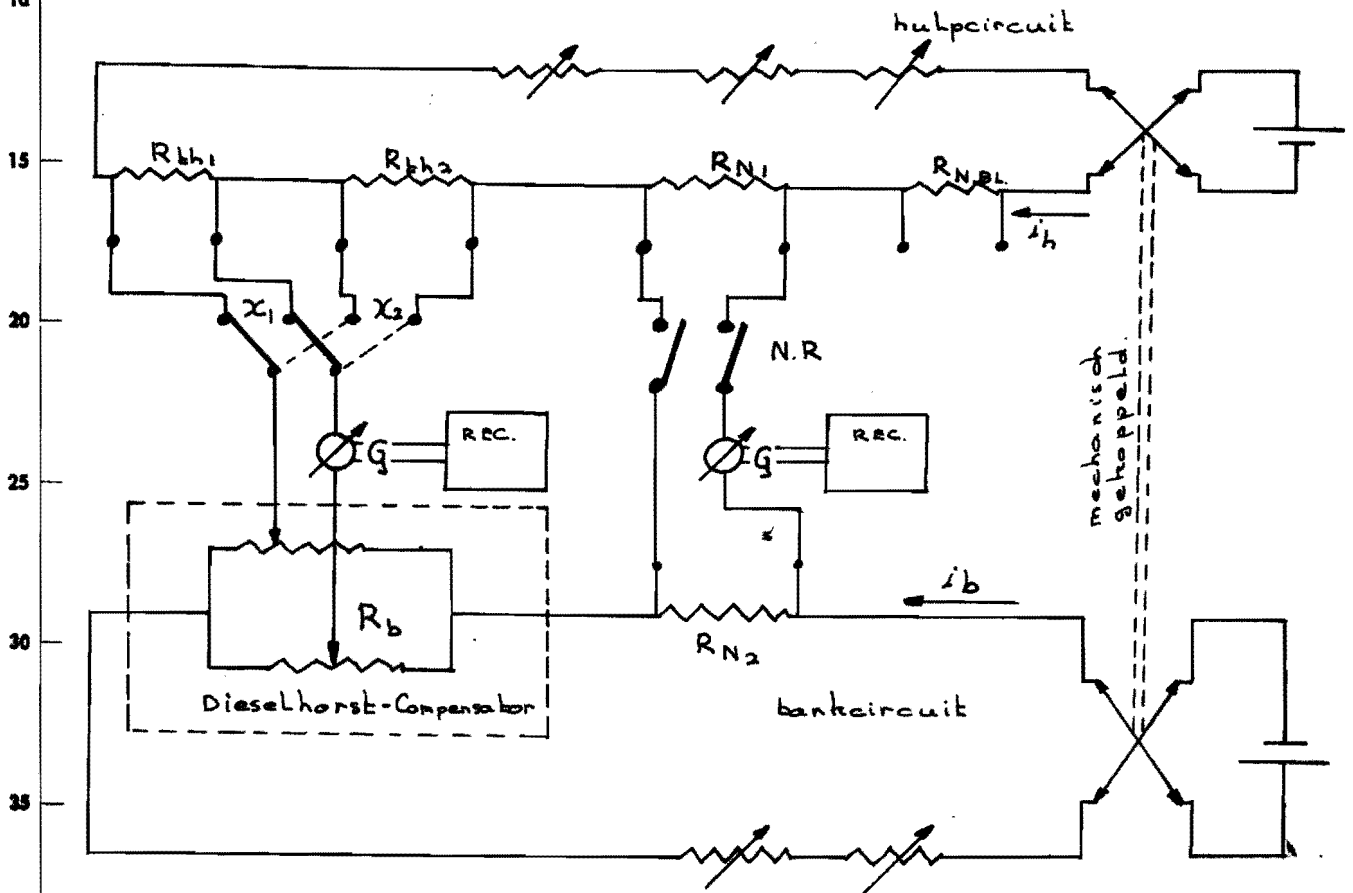
Nadelen zijn echter de moeilijkheden om thermospanningen te elimineren , het drijven van de stroom , hoewel dit laatste kan worden onderwongen door de stroombron bij commuteren van de gehele schakeling te beschermen . Om de thermospanningen te elimineren is het noodzakelijk dat de stromen in beide circuits gecommuteerd kunnen worden .

Dit vereist dan 4 "nulinstellingen" van de galvanometer bij de genoemde methoden 1, 2 en 3 .

Bij de Dieselhorst - compensator , hier toegepast is het voordeel dat het galvanometer circuit met steeds ongeveer dezelfde weerstand belast wordt , d.w.z. dat de gevoeligheid van de galvanometer tijdens de metingen constant blijft .

Appendix D-2

1: Principe schema van de weerstands meting met behulp van de Dieselhorst-compensator



Zoals blijkt uit bovenstaand schema is de 2e methode beschreven in Appendix D-1 toegepast.

a: Op stand N.R., als $G = \text{stroomloos}$ geldt:

$$i_b R_{N_2} = i_h R_{N_1} \Rightarrow \frac{i_b}{i_h} = \frac{R_{N_1}}{R_{N_2}} \quad (1)$$

b: Op stand X_1 , als G -stroomloos geldt:

$$I_b \cdot R_b = I_h \cdot R_{th,1} \Rightarrow R_{th,1} = \frac{I_b}{I_h} R_b \quad (2)$$

Mit ① en ② volgt

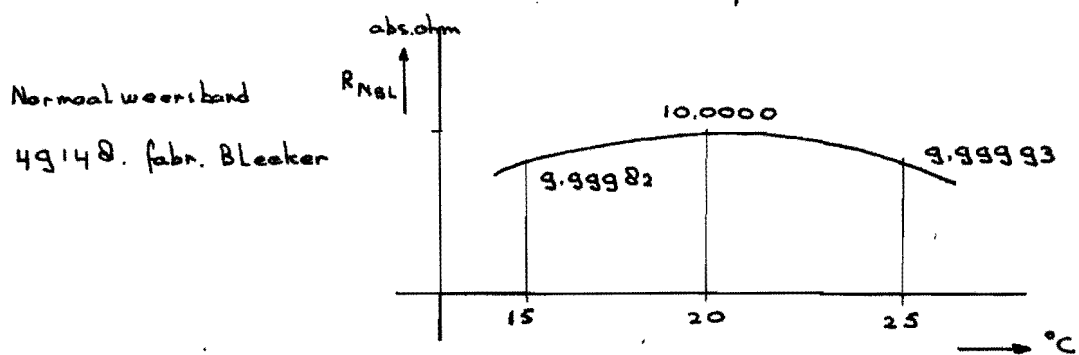
$$R_{th,1} = \frac{R_{N_1}}{R_{N_2}} \cdot R_b \quad (3)$$

Indien nu de verhouding van R_{N_1} en R_{N_2} bekend zijn volgt dat $R_{th,1}$ bekend is.

2: Teneinde de verhouding R_{N_1}/R_{N_2} te kunnen controleren is in het hulpcircuit een Bleeker-Normaalweerstand (van mangaanendraad) aangebracht.

Deze Normaalweerstand is bij $20^\circ C$ 10.000 abs. Ohm

De temperatuurkarakteristiek ziet erals volgt uit:



Indien nu deze Normaalweerstand, in het schema aangegeven met $R_{N.BL}$, tegen de bankweerstand wordt geschakeld, zal volgen dat als G -stroomloos.

$$I_h R_{N.BL} = I_b \cdot R_b \Rightarrow R_b = \frac{I_h}{I_b} R_{N.BL} \quad (4)$$

Omdat bevoorren, m.b.v. R_{N1} en R_{N2} de verhouding, z.g. stroomverhoudingsfactor $\frac{i_b}{i_a} = \frac{R_{N2}}{R_{N1}}$ is ingesteld, moet nu een bekende waarde van R_b volgen, zoniets dan is correctie mogelijk.

Zoals, bij onze opstelling gedimensioneerd is, n.l. $R_{N1} = 12 \Omega$ en $R_{N2} = 10 \Omega$ moet volgen voor $R_b = \frac{10}{12} \cdot R_{NBL} = 8,3333$ bij $20^\circ C$.

Bij metingen tek nog toe is hiervan geen grotere afwijking geconstateerd dan $10^{-4} \Omega$, hetgeen bij de toegepaste Heraeus-thermometers overeen komt met ≈ 2 mK.

Noemen we de factor R_{N1}/R_{N2} "a" en verwoorlozen we de afwijking van R_{NBL} bij $20^\circ C \pm 1^\circ C$, dan

$$\text{volgt } \frac{\Delta R_b}{R_b} = \frac{\Delta(\frac{1}{a})}{(\frac{1}{a})} = \frac{\Delta a}{a} \approx 10^{-5}$$

Voor ΔR_{th} volgt dan uit ③ $\frac{\Delta R_{th}}{R_{th}} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta R_b}{R_b}$

$$\Delta R_{th} = \frac{\Delta a}{a} R_{th} + \frac{\Delta R_b}{R_b} R_{th}$$

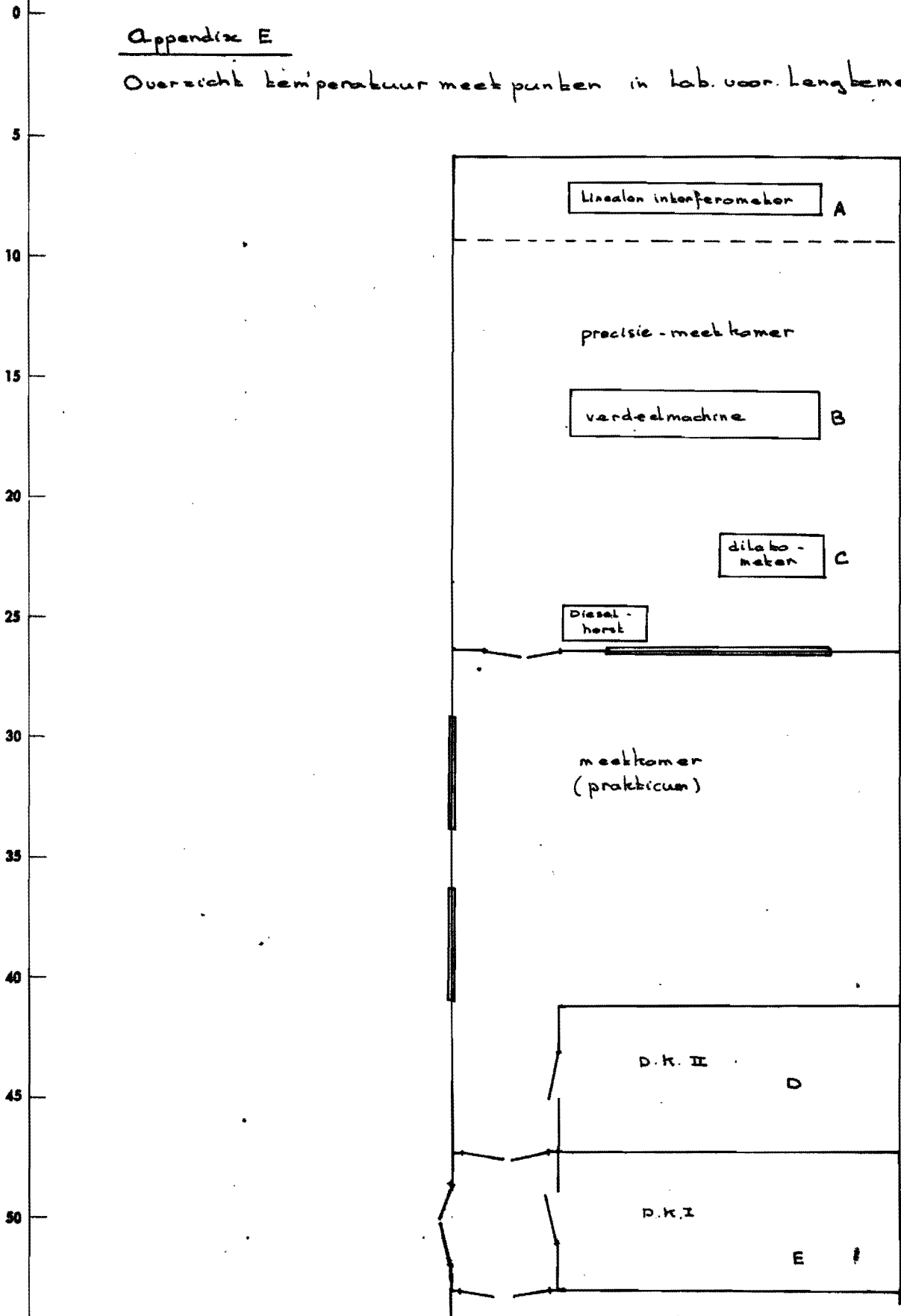
Stel $\Delta R_b = 0,2 \cdot 10^{-4}$ abs. ohm, dan volgt met $R_b \approx 10 \Omega$

$$\Delta R_{th} \approx (10^{-5} + 0,2 \cdot 10^{-5}) R_{th} \approx 10^{-5} R_{th}$$

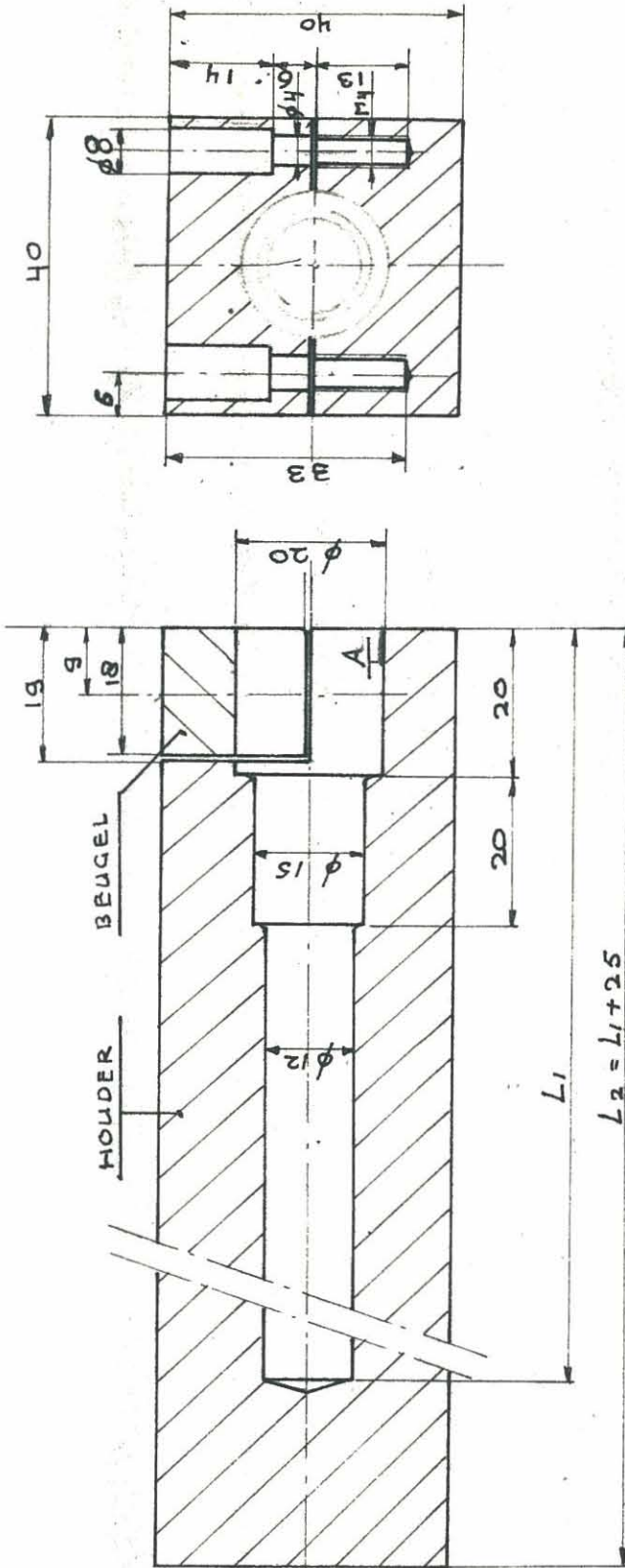
Bij de gebruikte thermometers ($\approx 10 \Omega$) komt dit overeen met ≈ 2 mK. Deze nauwkeurigheid was in eerste instantie voldoende.

Appendix E

Overzicht temperatuur meet punten in lab. voor Lengtemeting



Appendix E



OPMERKINGEN:

- 1: MAT. AL. STAAP Ø40. KWAL. S1, ST. (CTD CODE 12922205)
- 2: AFWERKING. SCHERPE KANTEN BREKEN.
GATEN ZO GLAD ALS MOGELIJK BOREN.
- 3: BEUGEL NA BOREN UIT VOLLE MATERIAAL ZAGEN OF MET SCHYFFREES.
MET SCHYFFREES.
- 4: GEDEELTE "A" BEUGEL BEPLAKKEN MET GROEN UIT (dikte 1 mm)

| | | |
|--------|-------|-----------------|
| Aantal | L1 mm | L2 = L1 + 25 mm |
| 1x | 400 | 425 |
| 5x | 560 | 585 |

TOLERANTIES VLGS NEN 2365

b.v. $8 \pm 0,15$ $8^{+0,10}_{-0,25}$



PROJECTIE

AM

BENAMING

HOUDER, E.B.V. WEERSTANDSTHERM. (HERAEUS)

PASSINGEN VLGS N 802

RUWHEIDSWAARDEN VLGS NEN 630

AANTAL

MATERIAAL



TECHNISCHE HOGESCHOOL EINDHOVEN

AFDELING: W

GROEP: WT

SCHAAL 1:1

DATUM

GET.: ON (invervals)

11-7-68

WT 1147

GEC.:

WIJZIGING

FORMAAT

A4

Appendix F

Verschillen van correctie term IPTS-68, (2.2.1) met de kwadratische aanpassing $t_{68} - t' = p t_{68}^2 + q t_{68} + r$, in het traject van 0 - 60 °C.

(2.2.1) $t_{68} = t' + 0.045 \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} \right) \left(\frac{t'}{100^\circ\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{419.58^\circ\text{C}} - 1 \right) \left(\frac{t'}{630.74^\circ\text{C}} - 1 \right) \text{ } ^\circ\text{C}$
 $p = + 4,6434 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 $q = - 0,41333 \cdot 10^{-3}$
 $r = - 0,14286 \cdot 10^{-3} \text{ K}$

tabel 1

| $t \text{ } ^\circ\text{C}$ | $t_{68} - t'$ | Berekende waarden met kwadr. aanp. | Verschild in mK |
|-----------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------|
| 0 | -0,0 | -0,1 | 0,1 |
| 5 | -2,1 | -2,1 | 0 |
| 10 | -3,9 | -3,8 | -0,1 |
| 15 | -5,4 | -5,3 | -0,1 |
| 20 | -6,6 | -6,6 | 0 |
| 25 | -7,6 | -7,6 | 0 |
| 30 | -8,4 | -8,4 | 0 |
| 35 | -8,9 | -8,9 | 0 |
| 40 | -9,2 | -9,2 | 0 |
| 45 | -9,2 | -9,3 | 0,1 |
| 50 | -9,1 | -9,2 | 0,1 |
| 55 | -8,8 | -8,8 | 0 |
| 60 | -8,4 | -8,3 | -0,1 |

Appendix G

1. Uitwerking van de vergelijking $R_{k_{68}} = R_0 (1 + A k' + B k'^2)$

met $k' = k_{68} - p k_{68}^2 - q k_{68} - r$

k' gesubstitueerd in $R_{k_{68}}$ geeft:

$$R_{k_{68}} = R_0 \left[1 + A (k_{68} - p k_{68}^2 - q k_{68} - r) + B (k_{68} - p k_{68}^2 - q k_{68} - r)^2 \right]$$

Ter vermijding van schrijfwerk $k_{68} \rightarrow k$

$$R_k = R_0 \left[1 + A \{ (1-q)k - p k^2 - r \} + B \{ (1-q)k - p k^2 - r \}^2 \right]$$

Uitwerken geeft:

$$R_k = R_0 \left[1 + A(1-q)k - A p k^2 - A r + B(1-q)^2 k^2 + B p^2 k^4 + B r^2 + \right. \\ \left. - 2 B(1-q) p k^3 - 2 B(1-q) r k + 2 B p r k^2 \right]$$

Nemen we nu de overeenkomstige termen in k , k^2 etc bij elkaar dan volgt:

$$R_k = R_0 \left[1 + \{ A(1-q) - 2 B(1-q) r \} k + \{ -A p + B(1-q)^2 + 2 B p r \} k^2 + \right. \\ \left. + \{ -2 B(1-q) p \} k^3 + B p^2 k^4 + \{ -A r + B r^2 \} \right]$$

We kunnen hiervoor schrijven:

$$R_k = R_0 [1 + A_1 k + B_1 k^2 + C_1 k^3 + D_1 k^4 + E_1] \quad (1.0)$$

waarin $A_1 = (A - 2 B r)(1 - q) \quad (1.1)$

$$B_1 = -A p + B(1 - q)^2 + 2 B p r \quad (1.2)$$

$$C_1 = -2 B(1 - q) p \quad (1.3)$$

$$D_1 = B p^2 \quad (1.4)$$

$$E_1 = -A r + B r^2 \quad (1.5)$$

De kwadratische aanpassing die wij toegepast hebben

$$k_{68} - k' = p k_{68}^2 + q k_{68} + r$$

hebben de coëfficiënten de volgende waarden: $p = 4,6434 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

(geldig voor $0 - 60^\circ\text{C}$) $q = -0,41333 \cdot 10^{-3}$

$$r = -0,14286 \cdot 10^{-3} \text{ K}$$

Omdat voor de door ons toegepaste thermometers

$2,5 \text{ mK} \approx 10^{-4} \Omega$ is, is nagegaan welke termen

genoemd in formules (1.1) t/m (1.5), bij $0,1 \text{ mK} \approx 4 \cdot 10^{-6} \Omega$

verwaarloosd konden worden.

Dit resulteerde in, dat:

$$A_1 \text{ ging over in } A_2 = A(1-q) \quad (3.1)$$

$$B_1 \text{ " " " } B_2 = -Ap + B(1-2q) \quad (3.2)$$

$$C_1 \text{ " " " } C_2 = -2Bp \quad (3.3)$$

$$D_1 \text{ " " " } D_2 = 0 \quad (3.4)$$

$$E_1 \text{ " " " } E_2 = -Ar \quad (3.5)$$

4. Reïsummerend geeft dat, dat de formules (1.0) t/m (1.5)

overgaan in:

$$R_{k_{68}} = R_0 \left[1 + A_2 k_{68} + B_2 k_{68}^2 + C_2 k_{68}^3 + D_2 k_{68}^4 + E_2 \right] \quad (3.0)$$

$$\text{met } A_2 = A(1-q) \quad (3.1)$$

$$B_2 = -Ap + B(1-2q) \quad (3.2)$$

$$C_2 = -2Bp \quad (3.3)$$

$$D_2 = 0 \quad (3.4)$$

$$E_2 = -Ar \quad (3.5)$$

2. Het zal duidelijk zijn, dat van bovenstaande con-
stanten A , k/mE , afhankelijk van de waarde van de
coëfficiënten van de kwadratische aanpassing,
termen verwaarloosd kunnen worden.

Aangezien de kwadratische aanpassing zich niet
behoeft te beperken tot het gebied van $0-60^{\circ}\text{C}$,
kan indien de coëfficiënten p , q en r bekend zijn,
de formule (1.0) voor elke thermometer berekend
worden in het gewenste gebied.

Men kan er b.v. van uitgaan dat bij de hoogste temper-
atuur, waarvoor de aanpassing nog geldt, de verwoer-
ding van termen, hiërboven genoemd, $\leq 0,1 \text{ mK}$
mag zijn.

3. In onderstaande is dit uitgevoerd voor de weerstand-
thermometer Heraeus 489.988

waarvoor geldt: $R_0 = 10,7794 \text{ abs. Ohm}$

$A = 3,98519 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

$B = -0,5870 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$

De numerieke waarden A_2 t/m E_2 voor formule (3.0) worden dan voor Heraeus 48g.988 (traject 0-60°C)

$$A_2 = 3,98684 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$B_2 = -0,6060 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$$

$$C_2 = 5,451 \cdot 10^{-12} \text{ K}^{-3}$$

$$D_2 = 0$$

$$E_2 = 0,57 \cdot 10^{-6}$$

Ongzien de daaronder toegepaste Heraeus-voorkantthermometers ongeveer allen dezelfde R_0 -waarden hebben, kunnen voor het traject van 0-60°C de relaties (3.0) t/m (3.5) ook voor deze thermometers toegepast worden.

Appendix H.

Overzicht van de ijkingen van de Heraeus - platina - weerstands thermometers (type PTB), uitgevoerd door de Yk- en Controlegroep van de CTD en het Lab. voor Lengtemeting.

Tabel 1. ijkingen verricht mei 1969

| KOL 179 | temp. °C | Heraeus | |
|----------|----------|----------|----------|
| | | 490 149 | 489 988 |
| 18,063 0 | 0,014 | 11,013 4 | 10,780 0 |
| 18,062 9 | 0,013 | 11,013 5 | 10,779 8 |
| 18,063 1 | 0,016 | 11,013 4 | 10,780 1 |
| 18,063 0 | 0,014 | 11,013 4 | 10,779 8 |
| 18,063 1 | 0,016 | 11,013 5 | 10,780 1 |
| 18,063 1 | 0,016 | 11,013 4 | 10,779 8 |
| 19,401 8 | 18,690 | 11,831 0 | 11,579 9 |
| 19,401 7 | 18,688 | 11,830 7 | 11,579 9 |
| 19,401 7 | 18,688 | 11,830 9 | 11,579 9 |
| 19,401 6 | 18,687 | 11,830 7 | 11,579 9 |
| 19,401 8 | 18,690 | 11,830 9 | 11,579 9 |
| 19,401 8 | 18,690 | 11,830 8 | 11,579 9 |
| 23,605 8 | 78,016 | 14,398 0 | 14,092 3 |
| 23,606 5 | 78,026 | 14,398 6 | 14,092 9 |
| 23,605 6 | 78,014 | 14,397 6 | 14,092 0 |
| 23,606 7 | 78,029 | 14,398 4 | 14,092 8 |
| 23,606 0 | 78,019 | 14,398 0 | 14,092 2 |
| 23,605 2 | 78,008 | 14,397 9 | 14,092 3 |
| 26,542 1 | 120,090 | 16,190 9 | 15,846 9 |
| 26,545 0 | 120,132 | 16,192 3 | 15,848 5 |
| 26,544 8 | 120,129 | 16,192 7 | 15,848 7 |
| 26,544 3 | 120,122 | 16,192 2 | 15,848 4 |
| 26,542 4 | 120,095 | 16,191 1 | 15,847 0 |
| 26,543 9 | 120,116 | 16,191 8 | 15,847 9 |

In ons laboratorium werden metingen met een gisgal
 uitgevoerd van bovengenoemde Heraeus HgO 149 en
 HgO 200 thermometers, tegen de standaard
 waartbinderthermometers KOL 179 (eigendom C.T.D.) en
 KOL 178 (eigendom Lab. voor Lengtemeting).
 In onderstaande tabel 2 zijn deze waarnemingen,
 althans de gemiddelden, gegeven.
 Deze waarnemingen zijn voor het berekenen van de
 constanten van deze thermometers, besproken
 aan tabel 1.

| KOL 179 | | temp. °C | | Heraeus | |
|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| 29,2818 | 161,301 | 17,9241 | 17,9241 | 17,9241 | 17,9241 |
| 29,2826 | 161,312 | 17,9253 | 17,9253 | 17,9253 | 17,9253 |
| 29,2827 | 161,314 | 17,9251 | 17,9251 | 17,9251 | 17,9251 |
| 29,2817 | 161,299 | 17,9251 | 17,9251 | 17,9251 | 17,9251 |
| 29,2823 | 161,308 | 17,9246 | 17,9246 | 17,9246 | 17,9246 |
| 29,2819 | 161,302 | 17,9249 | 17,9249 | 17,9249 | 17,9249 |

Vervolg Tabel 1 (Metingen met 1969)

Tabel 2. Ykringen uitgeoerd mei '69

| dd | Uitgeoerd door | temp °C | KOL | | Heraeus | |
|----------|---------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 17g | 17g | 49014g | 48998g |
| 9-5-'69 | C.T.D. | 0,015 | 18,06303 | - | 11,01343 | 10,77993 |
| 16-5-'69 | Lengtemaking | -0,002 | 18,06184 | 19,36832 | 11,01346 | 10,77968 |
| 23-5-'69 | " | +0,002 | 18,06214 | 19,36862 | 11,01348 | 10,77994 |
| 3-6-'69 | C.T.D. | +0,010 | 18,06269 | | 11,01352 | 10,78005 |
| mei '68 | Kamerlingh Onnes. lab te Leiden | 0 | 18,06198 | 19,36850 | - | - |

| KOL 179 | | Temp. °C | | Heraeus | |
|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 18,06187 | - 0,0015 | 10,88585 | 10,88607 | 11,22182 | 11,22195 |
| 18,06196 | - 0,00003 | 10,88607 | 10,88627 | 11,22195 | 11,22232 |
| 18,06199 | + 0,00001 | 10,88627 | 10,88620 | 11,22232 | 11,22225 |
| 18,06202 | + 0,00006 | 10,88620 | 10,88690 | 11,22225 | 11,22100 |
| 18,06233 | 0,00049 | 10,88690 | 10,88716 | 11,22100 | 11,22107 |
| 18,06233 | 0,00049 | 10,88716 | 11,83960 | 12,20423 | 12,20398 |
| 19,64248 | 22,0581 | 11,83960 | 11,83915 | 12,20423 | 12,20398 |
| 19,64173 | 22,0476 | 11,83915 | 11,84042 | 12,20427 | 12,20477 |
| 19,64144 | 22,0477 | 11,84042 | 11,84023 | 12,20477 | 12,20478 |
| 19,64186 | 22,0494 | 11,84023 | 11,83924 | 12,20478 | 12,20378 |
| 19,64132 | 22,0478 | 11,83924 | 11,83919 | 12,20378 | 12,20382 |
| 19,64106 | 22,0382 | 11,83919 | 13,10427 | 13,50734 | 13,50861 |
| 21,73721 | 51,5171 | 13,10427 | 13,10481 | 13,50734 | 13,50861 |
| 21,73752 | 51,5218 | 13,10481 | 13,10481 | 13,50861 | 13,50861 |
| 21,73760 | 51,5227 | 13,10481 | 13,10484 | 13,50861 | 13,50811 |
| 21,73781 | 51,5186 | 13,10484 | 13,10477 | 13,50811 | 13,50802 |
| 21,73781 | 51,5186 | 13,10477 | 13,10502 | 13,50802 | 13,50802 |
| 21,73786 | 51,5186 | 13,10502 | 13,10515 | 13,50802 | 13,50815 |
| 23,73891 | 79,9123 | 14,31333 | 14,31333 | 14,75340 | 14,75340 |
| 23,73891 | 79,9124 | 14,31333 | 14,31307 | 14,75340 | 14,75340 |
| 23,73896 | 79,9130 | 14,31307 | 14,31344 | 14,75340 | 14,75340 |
| 23,73923 | 79,9240 | 14,31344 | 14,31258 | 14,75340 | 14,75340 |
| 23,73923 | 79,9281 | 14,31258 | 14,31277 | 14,75340 | 14,75340 |
| 23,73923 | 79,9281 | 14,31277 | 14,31281 | 14,75340 | 14,75340 |
| 26,49531 | 119,4158 | 15,87713 | 15,87713 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49531 | 119,4241 | 15,87713 | 15,87717 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49565 | 119,4265 | 15,87709 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49605 | 119,4265 | 15,87665 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49605 | 119,4413 | 15,87665 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49605 | 119,4413 | 15,87665 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49605 | 119,4413 | 15,87665 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49605 | 119,4413 | 15,87665 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49605 | 119,4413 | 15,87665 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |
| 26,49605 | 119,4413 | 15,87665 | 15,87665 | 16,46848 | 16,46848 |

Tab. 2. Yttingen uitgesneden dec '69 (Yt - en Control Group C.T.D.)

Verudg Tabel 3 (ijkingen dec '69)

| KOL 179 | temp. °C | Heraeus | |
|----------|----------|----------|----------|
| | | 490148 | 490168 |
| 20,48341 | 148,2065 | 17,17735 | 17,70593 |
| 20,48450 | 148,2225 | 17,17802 | 17,70691 |
| 20,48511 | 148,2313 | 17,17807 | 17,70615 |
| 20,48700 | 148,2588 | 17,17762 | 17,70652 |
| 20,48853 | 148,2810 | 17,17877 | 17,70778 |
| 20,48853 | 148,2810 | 17,17885 | 17,70766 |
| 30,63082 | 179,5988 | 18,47341 | 19,04132 |
| 30,63092 | 179,5953 | 18,47308 | 19,04127 |
| 30,63100 | 179,5965 | 18,47275 | 19,04081 |
| 30,63479 | 179,6521 | 18,47488 | 19,04373 |
| 30,63534 | 179,6601 | 18,47493 | 19,04407 |
| 30,63609 | 179,6712 | 18,47528 | 19,04430 |

De ijkingen vermeld in Tabel 3, zijn voor het "nulpunt" uitgevoerd met een ijsschak, de andere punten zijn gerealiseerd met een oliebadthermostaat.

(Fa. P.M. Tamson N.V. type TE V 70)

De be ijken thermometers (Heraeus) waren met de yke standaard thermometer KOL 179, in een metalen houder in de thermostaat geplaatst.

Weerstanden werden gemeten met in Compensatiebank, fabr. H. Tinsley.