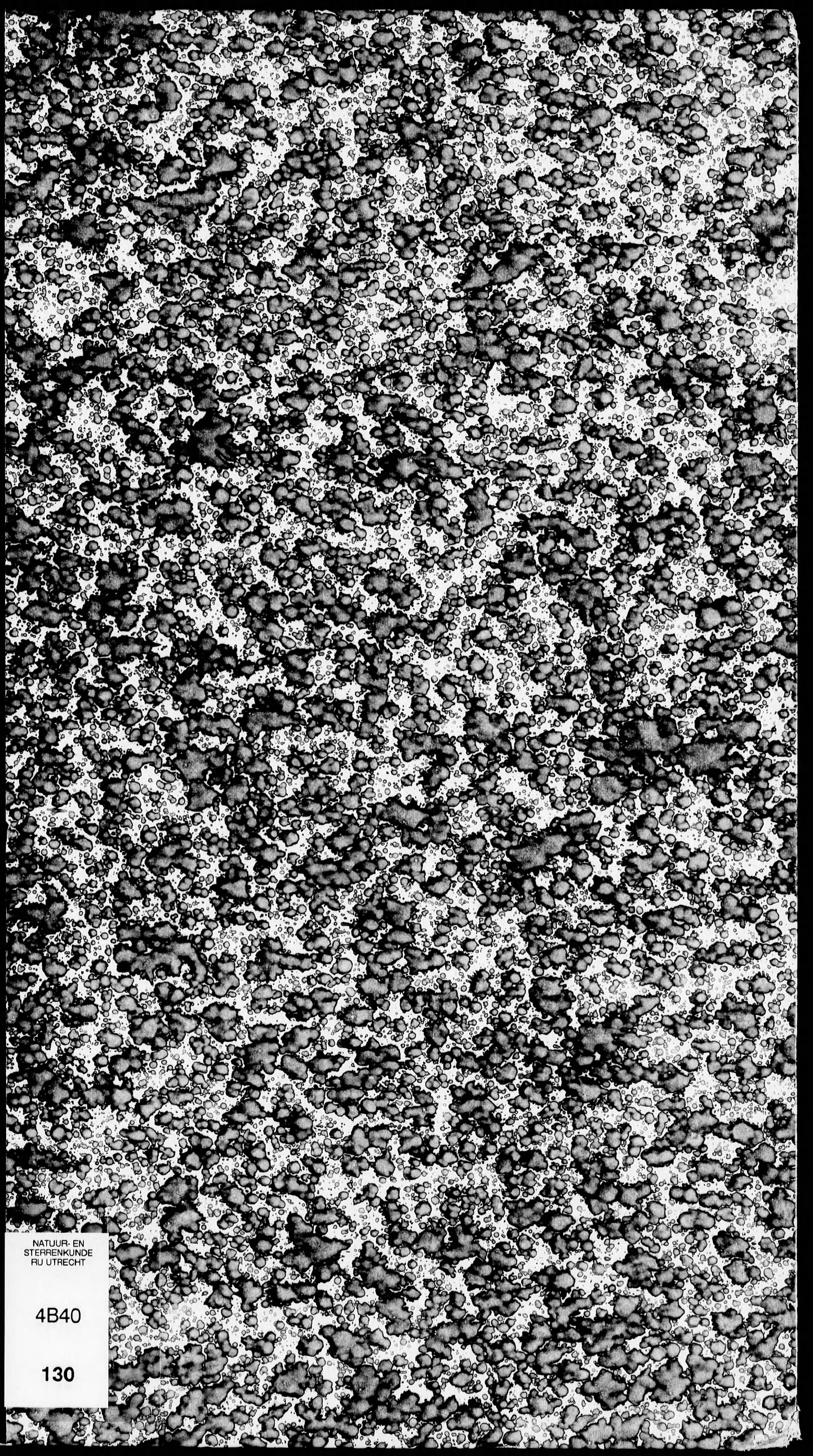




NATUUR- EN
STERREKUNDE
RU UTRECHT

4B40

130



Lengtebepaling

door middel

van

den electrischen telegraaf

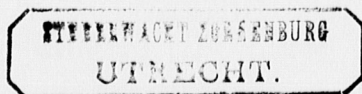
Bijvoegsel bij de Geographische Plaatsbepalingen
met het Universaal instrument

samengesteld door

den Kapitein bij de triangulatie brigade

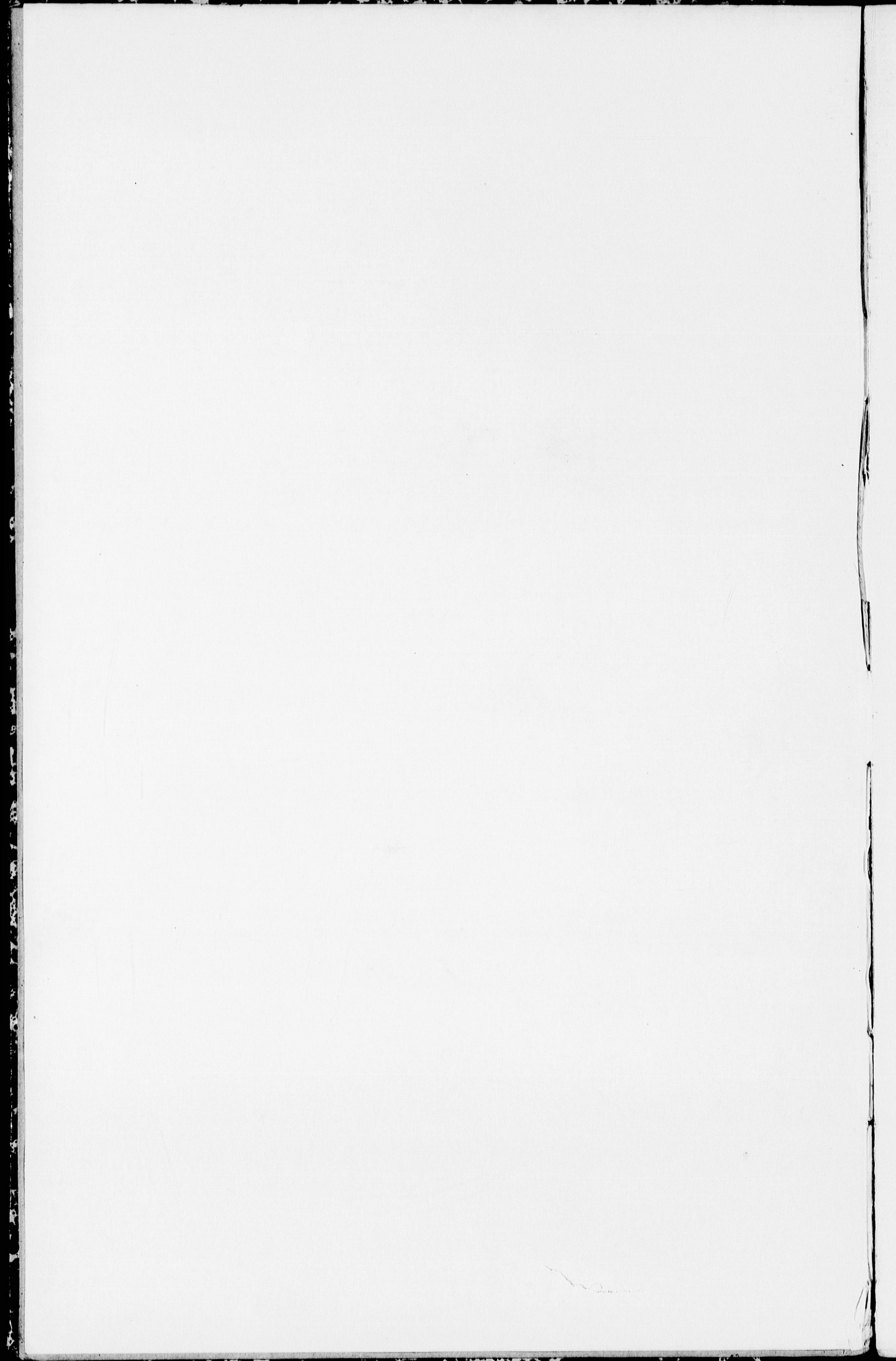
J. J. t. Muller

Batavia
Topographisch bureau
1894.



II Ga 160

~~VI B 26~~ (I G 120)



Inhoud.

	bladz.
1. Het beginsel der methode.	1.
2. De uitdrukking voor het lengteverschil.	4.
3. De inrichting der seintafels.	7.
4. Het regelen van de stroomsterkte en van de gevoeligheid der relais.	10.
5. De uitvoering der lengtebepaling.	16.
6. De berekening van het resultaat der lengtebepaling.	21.
7. De middelbare fouten en de gewichten der resultaten.	25.
8. Het bepalen der persoonlijke verschillen.	29.

Lengtebepaling door middel van den electrischen telegraaf.

1. Het beginsel der methode.

Wanneer de beide plaatsen, wier lengteverschil men verlangt te kennen, zijn verbonden door middel van den electrischen telegraaf, dan kan hiervan worden gebruik gemaakt tot het vergelijken van de uurwerken op de beide stations en dus voor de bepaling van dat lengteverschil. De te verrichten werkzaamheden zijn in dit geval van tweederlei aard: het bepalen van de correcties der uurwerken op beide stations met behulp van universaal-instrumenten, en het vergelijken van die uurwerken onderling door middel van den telegraaf; voor de uitvoering zijn dus twee waarnemers noodig.

De correcties der uurwerken kunnen worden afgeleid uit gemeten zenitsafstanden in de nabijheid van den eersten vertikaal. Voor het vergelijken der uurwerken heeft men twee toestellen noodig: ien, waardoor een sein wordt gegeven op het eerste station, en ien, waardoor dat sein wordt ontvangen op het tweede.

De seingevende toestel is een gewone Moorsesleutel, waarmede de waarnemer op het eerste station bij een gegeven tik van zijn tijdmetter een stroom door de lijn zendt. De sein ontvangende toestel is bij landlijnen of korte onderzeesche kabels een relais, dat door dien stroom wordt doorloopen, zoodat de hefboom wordt aangetrokken en met een hoorbaren tik tegen het contact slaat; bij lange onderzeesche kabels is het een spiegelgalvanometer van Thomson, die bij het doorgaan van den stroom het beeld van een lichtende spleet doet afwijken. De waarnemer op het tweede station teekent het oogenblik van dat sein volgens de aanwijzing van zijn tijdmetter op; bij het gebruik van een relais geschiedt de waarneming alleen met het gehoor, bij het gebruik van den spiegelgalvanometer met het gehoor en het gezicht.

Noemt men de aanwijzingen der beide uurwerken op het oogenblik, waarop het sein wordt gegeven en waargenomen, U_0 en U_w en de correcties der uurwerken op dat oogenblik C_0 en C_w , waarbij de indices betrekking hebben op het oostelijk station als seingevend en het westelijk als sein ontvangend, dan is op dat oogenblik de

juiste tijd op beide stations:

$$T_o = U_o + C_o$$

$$T_w = U_w + C_w,$$

en dus het lengteverschil:

$$\lambda = U_o - U_w + C_o - C_w.$$

In werkelijkheid wordt het lengteverschil echter niet door een zoo eenvoudige uitdrukking voorgesteld, daar bij de afleiding van deze een aantal omstandigheden buiten rekening zijn gelaten.

Vooreerst verloopt er een meetbare tijd tusschen het oogenblik, waarop de stroom op het eerste station wordt gesloten, en dat waarop het sein op het tweede station wordt ontvangen. Dat tijdsverloop kan in twee deelen worden verdeeld: den tijd, die de elektrische stroom noodig heeft om van het ene station tot het andere te komen, dus om de leiding, tusschen beide te door,, loopen, en den tijd, die er verloopt tusschen het oogenblik, waar,, op de stroom in den seinontvanger treedt, en het oogenblik, waarop deze in werking komt.

Het eerste tijdsverloop, de stroomtijd, is veel grooter dan uit de snelheid van voortplanting der electriciteit zou volgen. De leiding werkt namelijk als een condensator en de eerst binn,, nenstroomende electriciteit dient om dezen te laden, waarvoor een merkbare tijd noodig is; vooral is dit het geval bij onderzee,, sche kabels, waarbij het omhulsel de isoleerende laag, het zee,, water de buiten bekleeding vormt. Hoe langer de leiding is, hoe meer tijd er verloopt, voordat zij geheel is geladen, dus hoe kleiner schijnbaar de snelheid is van den binnentredenden stroom.

Het tweede tijdsverloop, de vertraging van het sein ontvan,, gende toestel, is vooreerst afhankelijk van de gevoeligheid van het toestel. Voordat dit in werking komt moet de spankracht eener veer of de traagheid worden overwonnen, en zal dit kunnen geschieden, dan moeten de stroomsterkte en de duur der werking een bepaalde minimum grens te boven gaan. De stroom nu treedt niet onmiddellijk met zijn volle sterkte in het toestel, maar aanvankelijk is hij zeer zwak en eerst dan, wanneer de geleiding geheel is geladen, wordt de volle sterkte bereikt; de duur van dien veranderlijken toestand der stroomsterkte houdt verband met den aard en de lengte der geleiding. Hoe grooter de stroomsterkte is, die ten slotte wordt bereikt, hoe eerder bij het aangroeven van deze het minimum wordt overschreden, vereischt

voor het in werking brengen van het seinontvangende toestel. Bij een gegeven leiding is de vertraging, die de werking van dat toestel ondergaat, des te grooter, naarmate het minder gevoelig en de stroomsterkte geringer is.

In het algemeen kan men stellen, dat bij lange onderzeesche geleidingen, waarbij de spiegelgalvanometer wordt geberigd, de stroomtijd den grootsten invloed heeft, daar hij meerdere tiende deelen van seconden kan bedragen. Bij landlijnen en een relais heeft de vertraging van dit toestel de overhand, en kan het bedrag daarvan tot enige honderste deelen van seconden opklimmen.

In de tweede plaats bevatten de correcties der uurwerken elk den invloed der persoonlijke fout van den waarnemer, die de tijdsbepalingen heeft uitgevoerd. Bij iedere correctie, zoo als die door den waarnemer is gevonden, moet dus nog het bedrag van de persoonlijke aequatie van den waarnemer worden opgeteld, om dien invloed te elimineeren.

Ten derde eindelijk is er met de aangetrekkende oogenblikken van seingeven en seinontvangen het zelfde het geval als met de aangetrekkende oogenblikken der voorbij gangen eener ster bij de tijdsbepalingen. De waarnemer, die het sein geeft, meent wel, dat hij den stroom sluit op het oogenblik van den tik van zijn uurwerk, maar in werkelijkheid is dit nimmer volmaakt het geval, en evenmin schat de waarnemer, die het sein ontvangt, het oogenblik daarvan geheel juist. Ook deze fouten dragen bij gevoelde waarnemers grootendeels een constant karakter, terwijl het bedrag van dat constant gedeelte met de persoonlijkheid des waarnemers samenhangt. Om de opgetrekkende aanwijzingen der tijdmeters te bevrijden van die constante invloeden, zullen er dus bepaalde bedragen bij moeten worden opgeteld, overeenkomende met de persoonlijke aequatie bij de tijdsbepalingen, en die kunnen worden onderscheiden als persoonlijke aequatie bij het seingeven en persoonlijke aequatie bij het seinontvangen.

Nemt men deze omstandigheden in aanmerking, dan verkrijgt de uitdrukking voor het lengteverschil een meer samengestelden vorm. Uit die uitdrukking zal men kunnen afleiden, op hoedanige wijze de lengtebepaling moet worden uitgevoerd, opdat de genoemde invloeden, wier bedrag niet of zeer moeielijk is te bepalen, geheel dan wel grootendeels uit het eindresultaat kunnen worden geëlimineerd.

2. De uitdrukking voor het lengteverschil.

Hier boven werd het geval beschouwd, dat het sein op het oostelijk station werd gegeven en op het westelijk ontvangen; in het vervolg zal worden aangenomen dat seingingering in beide richtingen mogelijk is. Wanneer dan twee seinen in verschillende richtingen zoo kort na elkaar worden gegeven, dat de omstandigheden geen verandering hebben ondergaan, dan is de stroomtijd in beide gevallen gelijk.

De aanwijzingen en de correcties der uurwerken op het oostelijk en op het westelijk station zullen even als boven worden onderscheiden door de indices o en w ; de grootheden, die betrekking hebben op elk der beide waarnemers en elk der beide seinontvangende toestellen, door de indices 1 en 2; die welke betrekking hebben op seinontvangen zullen verder vooreel noodig door accenten worden aangegeven. Boven, dien wordt aangenomen, dat de waarnemer en het toestel, aangewezen door den index 1 zich bevinden op het oostelijk, die aangewezen door den index 2 op het westelijk station.

Stelt men nu:

U_o en U_w , de aanwijzingen der uurwerken bij het seingeven;

U'_o en U'_w , die bij het seinontvangen;

c_o , c_w , c'_o , c'_w de bijbehorende correcties der uurwerken;

x de stroomtijd;

r_1 , r_2 de vertragingen der relais of spiegelgalvanometers;

p_1 , p_2 de persoonlijke aquaties der waarnemers bij de tijdsbepalingen;

s_1 , s_2 die bij het seingeven;

s'_1 , s'_2 die bij het seinontvangen, dan heeft men, de juiste tijden voor beide stations, op het oogenblik, waarop het sein door het westelijk station inderdaad wordt ontvangen, T_o en T'_w noemende:

$$T_o = (U_o + s_1) + (c_o + p_1) + x + r_2$$

$$T'_w = (U'_w + s'_2) + (c'_w + p_2)$$

en dus is:

$$(2) \quad \lambda = (U_o - U'_w) + c_o - c'_w + x + r_2 + p_1 - p_2 + s_1 - s'_2$$

Geeft vervolgens het westelijk station een sein, en noemt men de juiste tijden op het oogenblik, waarop dit op het oostelijk station wordt ontvangen, T'_o en T_w , dan is:

$$T'_o = (U'_o + s'_1) + (c'_o + p_1)$$

$$T_w = (U_w + s_2) + (c_w + p_2) + x + r_1$$

derhalve :

$$(B) \quad \lambda = (U'_0 - U_w) + c'_0 - c_w - x - r_1 + p_1 - p_2 + s'_1 - s_2$$

Neemt men het gemiddelde der uitdrukkingen (A) en (B) dan verkrijgt men :

$$(X) \quad \lambda = \frac{1}{2}(U_0 - U_w) + \frac{1}{2}(U'_0 - U'_w) + \frac{1}{2}(c_0 + c'_0) - \frac{1}{2}(c_w + c'_w) - \frac{1}{2}(r_1 - r_2) + p_1 - p_2 + \frac{1}{2}(s_1 - s'_1) + \frac{1}{2}(s'_2 - s_2), \text{ of stellende:}$$

$V_0 = U_0 - U'_0$, het verschil der aanwijzingen van beide uurwerk, ken bij het seingeven door het oostelijk station;

$V_w = U'_0 - U_w$, dat verschil bij het seingeven door het westelijk station;

$C_0 = \frac{1}{2}(c_0 + c'_0)$, de correctie van het uurwerk op het oostelijk station voor het oogenblik der gemiddelde aanwijzing $\frac{1}{2}(U_0 + U'_0)$;

$C_w = \frac{1}{2}(c'_w + c_w)$, die van het uurwerk op het westelijk station voor de gemiddelde aanwijzing $\frac{1}{2}(U'_w + U_w)$;

$q_1 = \frac{1}{2}(s_1 - s'_1)$, het halve verschil van de beide aequaties der waarnemers bij het seingeven door den eersten waarnemer;

$q_2 = \frac{1}{2}(s_2 - s'_2)$, dat halve verschil bij het seingeven door den tweeden waarnemer, dan wordt de uitdrukking (X)

$$(I) \quad \lambda = \frac{1}{2}(V_0 + V_w) + C_0 - C_w + p_1 - p_2 + q_1 - q_2 - \frac{1}{2}(r_1 - r_2)$$

Zijn de beide relais of spiegelgalvanometers van dezelfde constructie en bezitten zij. dezelfde gevoeligheid, dan is $r_1 = r_2$ te stellen, en valt de laatste term uit de uitdrukking weg.

Het halve verschil der uitdrukkingen (A) en (B) geeft voor den stroomtijd :

$$(S) \quad x = \frac{1}{2}(U_0 - U_w) - \frac{1}{2}(U'_0 - U'_w) + \frac{1}{2}(c'_0 - c_0) - \frac{1}{2}(c_w - c'_w) - \frac{1}{2}(r_1 + r_2) - \frac{1}{2}(s_1 - s'_1) - \frac{1}{2}(s_2 - s'_2).$$

Hierin is $c'_0 - c_0$ de gang van het uurwerk op het oostelijk station in het tijdsverloop $U'_0 - U_0$; $c_w - c'_w$ die van het uurwerk op het westelijk station in het tijdsverloop $U_w - U'_w$.

Die tijdsverloopen verschillen slechts zeer weinig; stelt men ze beiden gelijk aan τ en noemt men de gangen van beide uurwerken in de eenheid van tijd, waarin τ is uitgedrukt, m_0 en m_w , dan is :

$$\frac{1}{2}(c'_0 - c_0) - \frac{1}{2}(c_w - c'_w) = \frac{1}{2}\tau(m_0 - m_w)$$

Het verschil $m_0 - m_w$ is de relatieve gang van het uurwerk op het oostelijk station ten opzichte van het uurwerk op het westelijk station.

De grootheden V_0 en V_w invoerende verkrijgt men nu uit de uitdrukking (S) :

$$(II) \quad \frac{1}{2} (V_w - V_o) + \frac{1}{2} \tau (m_o - m_w) = x + \frac{1}{2} (r_1 + r_2) + \frac{1}{2} (s_1 - s_2') + \frac{1}{2} (s_2 - s_1')$$

Het eerste lid van deze uitdrukking stelt dus, met ver.,
 waarlooring der beide laatste termen in het tweede lid, de
 som voor van den stroomtijd en de gemiddelde vertraging
 der beide relais of spiegelgalvanometers, en wordt, daar
 x zelf toch niet te bepalen is, eenvoudig onder den naam
 van stroomtijd opgegeven.

In de uitdrukking (I) kan men nog stellen:

$$\lambda' = \frac{1}{2} (V_o + V_w) + C_o - C_w$$

Wanneer men na deze waarde bepaald te hebben de beide
 waarnemers met hunne universaalinstrumenten van sta.,
 tion laat verwisselen en de lengtebepaling herhaalt, dan
 zal men in plaats van λ' een andere waarde verkrijgen;
 onderscheidt men deze beiden als λ'_1 en λ'_2 , dan volgt
 vooreerst uit (I), wanneer men daarin tevens $r_1 = r_2$
 neemt:

$$(1) \quad \lambda = \lambda'_1 + p_1 - p_2 + q_1 - q_2$$

De uitdrukking, die betrekking heeft op het resultaat na de
 verwisseling der waarnemers verkregen, kan uit (1) wor.,
 den afgeleid, door den index 1 in 2, en omgekeerd, te ver.,
 anderen; die uitdrukking is dus:

$$(2) \quad \lambda = \lambda'_2 - p_1 + p_2 - q_1 + q_2$$

Stelt men nu

$$P = p_1 - p_2 + q_1 - q_2$$

dan worden de beide uitdrukkingen (1) en (2):

$$\lambda = \lambda'_1 + P$$

$$\lambda = \lambda'_2 - P.$$

Hiervan het gemiddelde nemende, verkrijgt men:

$$\lambda = \frac{1}{2} (\lambda'_1 + \lambda'_2),$$

zoodat de groothed P , het bedrag van het persoonlijk ver.,
 schil der beide waarnemers, geheel is geëlimineerd.

Wanneer men niet mag aannemen, dat $r_1 = r_2$,
 dan kan men met de beide waarnemers ook de relais
 onderling verwisselen. Stelt men:

$$R = \frac{1}{2} (r_1 - r_2),$$

dan moet men in dit geval nemen in plaats van de
 uitdrukkingen (1) en (2)

$$\lambda = \lambda'_1 + (P - R)$$

$$\lambda = \lambda'_2 - (P - R)$$

Uit het gemiddelde van beide waarden is dan ook de

invloed van het verschil van de vertragingen der relais geelimineerd.

3. De inrichting der seintafels.

Behalve tot het wisselen der tijdseinen moet er gelegenheid bestaan tot correspondeeren tusschen beide stations, voor mededeelingen betreffende de weersgesteldheid, de waarnemingen, den toestand der lijn, de stroomsterkte, enz. De spiegelgalvanometer kan tevens voor die correspondentie worden geberigt, maar gebruikt men een relais, dan is er bovendien een volledig Marsetoestel noodig.

Sal de vertraging der toestellen bij de tijdseinen steeds een zelfde bedrag bereiken, wat voor het elimineeren van den invloed daarvan een vereischte is, dan moet de stroom, die de toestellen doorloopt, steeds dezelfde sterkte hebben. Bij den spiegelgalvanometer, die een uiterst gevoelig instrument is en reeds bij een zeer zwakken stroom, dus zeer spoedig na den aanvang van den veranderlijken toestand, in werking komt, en waarbij de geleiding tusschen de stations wordt gevormd door een goed geïsoleerden onderzeeschen kabel, zoodat de omstandigheden, waaronder de stroom doorgaat, nagenoeg geen verandering ondergaan, is het hiertoe voldoende, dat bij het seingeven steeds een batterij bestaande uit een zelfde aantal elementen wordt geberigt.

Bij het gebruik van een relais, dat veel minder gevoelig is, en waarbij de geleiding in den regel wordt gevormd door een vrij in de lucht hangenden telegraafdraad, zoo, dat de toestand door atmosferische invloeden telkens wordt gewijzigd, zijn afzonderlijke toestellen noodig tot het regelen en meten der stroomsterkte.

Op elk station worden de toestellen zooveel mogelijk op een tafel, de seintafel, vereenigd. Bij het gebruik van een relais treft men daarop aan:

voor de correspondentie een schrijftoestel, relais, sleutel en galvanometer;

voor het sein ontvangen het sein relais;

voor het regelen der stroomsterkte een weerstandsbank.

De sleutel dient tevens voor het geven der tijdseinen; voor correspondeeren en voor seinontvangen heeft men afzonderlijke relais, daar het seinrelais zoo gevoelig moet worden gesteld en daaraan verder niets mag worden

den gewijzigd.

Voor het meten der stroomsterkte berigt men een tangents boussole, die, om te voorkomen dat de electro-, magneten invloed zouden uitoefenen op de magneet-, naald, op eenigen afstand van de seintafel wordt opgesteld.

Op de seintafel heeft men nog een commutator, tot het regelen van den stroomloop bij corresponderen, tie en bij seinwisseling; verder staat die tafel in ver-, binding met de gangbatterij, met de locaalbatterij van het schrijftoestel, met de lijn naar het andere station en met de aardplaat voor de grondgeleiding. In de lijn naar het andere station is een bliksemafleider ingeschakeld.

Tot het regelen der stroomsterkte maakt men ge-, bruik van stroomverdeeling. De van het andere sta-, tion komende leiding splitst men namelijk in twee takken; in den eenen tak bevinden zich het seinvre-, lais en de tangents boussole, in den anderen de weerstandsbank; beide takken zijn verder met de aard-, plaat verbonden. Het deel van den stroom, dat den eersten tak doorloopt, is des te grooter, naarmate de weerstand in den tweeden tak grooter is; door het wijzi-, gen van den weerstand kan de stroomsterkte dus steeds op eenzelfde bedrag worden gehouden, hetgeen wordt aangewezen door de uitwijking van de naald der tangents boussole.

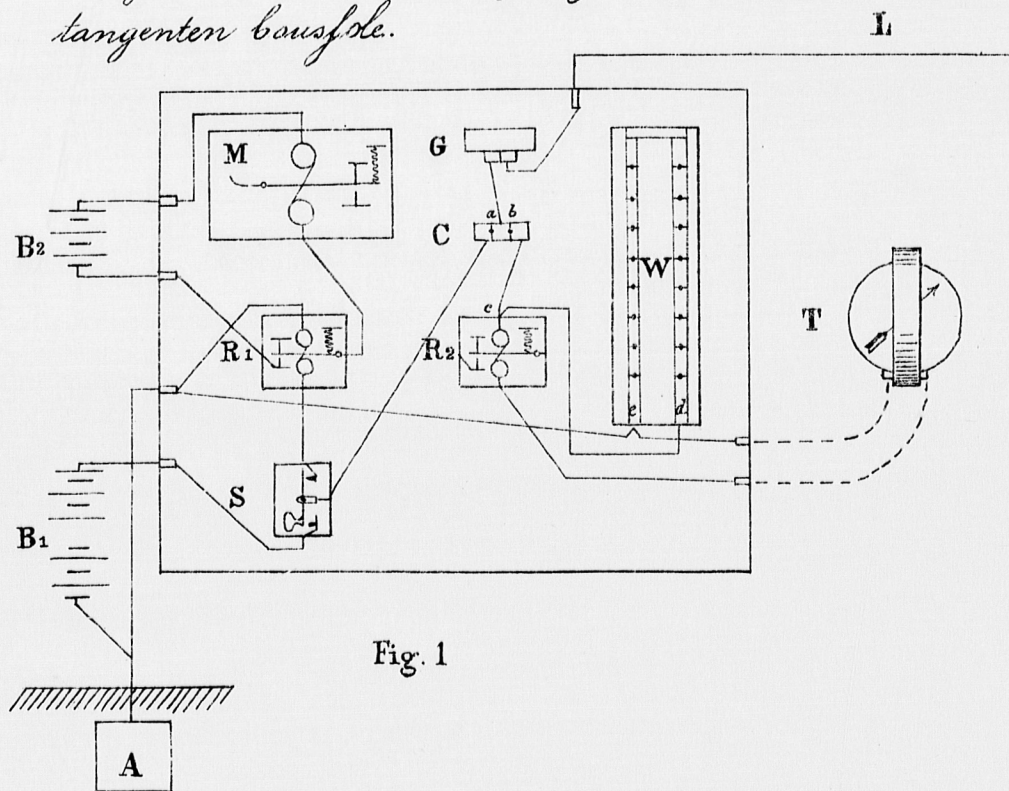


Fig. 1

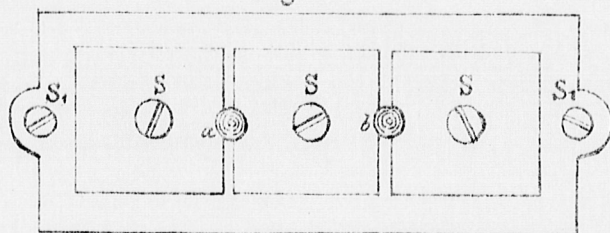
In fig. 1. is aangegeven hoe de verschillende toestellen met elkander kunnen worden verbonden.

Daarin beteekenen:

- M de Moorseschrijftoestel,
 - R₁ het relais van den schrijftoestel,
 - S de sleutel,
 - G de galvanometer
 - C de commutator,
 - R₂ het sein relais,
 - W de weerstandsbank,
- die zich allen op de seintafel bevinden; verder:
- T de tangenten bussole,
 - B₁ de gangbatterij,
 - B₂ de lokaalbatterij,
 - A de aardplaat, en
 - L de lijn naar het andere station.

De toestellen zijn met houtschroeven op de tafel bevestigd en onderling verbonden door geïsoleerde koperdraden. Deze zijn bevestigd onder tegen het blad der tafel; hunne einden gaan door daarin geboorde gaten, zijn verder van de isoleerende laag ontdaan en blank, geschuurd en met klemmschroeven aan de toestellen verbonden, of wel bevestigd aan de klemmschroeven, die aan de randen der tafel zijn aangebracht, waaraan de van buiten komende draden zijn verbonden.

Fig. 2.



De commutator C, in fig. 2. afzonderlijk voorgesteld bestaat uit drie koperen blokken, op een isoleerende plaat bevestigd; het middelste kan door middel van een koperen stop, in een der gaten a of b geplaatst, met elk der beide andere geleidend worden verbonden. Met de schroeven S worden de geleiddraden aan den commutator vast, geklemd, die zelf met de schroeven S₁ op de seintafel is bevestigd.

Voor het correpondeeren wordt de stop in a geplaatst.

Bij het neerdrukken van den sleutel gaat de van de gangbatterij B_1 komende stroom over S , C en G in de lijn L . Een van het andere station komende stroom gaat, als de sleutel in den rusttoestand is, over G , C en S naar het relais R_1 en vloeit vervolgens langs de aardplaat A af naar den grond. Het schrijftoestel M komt hierbij in werking, daar door het aantrekken van den hefboom van het relais R_1 de stroom der locaalbatterij B_2 wordt gesloten.

Bij het seingeven komt eveneens de stop in a ; de stroomloop is dan geheel het zelfde als bij spreken met het andere station.

Bij het seinontvangen plaatst men de stop in b ; de van de lijn L komende stroom gaat dan over G en C naar R_2 ; bij c verdeelt hij zich in de beide takken, een deel gaat door het relais R_2 en de tangenten busafste T naar de klem e der weerstandsbank W ; het andere loopt van c naar de klem d der weerstandsbank, doorloopt deze en vereenigt zich bij e weer met het eerste deel; van daar vloeit de stroom verder af door de aardplaat A .

De inrichting der verschillende toestellen en evenaars die van den spiegelgalvanometer van Thomson vindt men in hoofdzaken beschreven in de leerboeken der Na., tuurkunde.

Het regelen van de stroom,
sterkte en van de gevoeligheid
van het relais.

Bij de telegraphische lengtebepaling moet er steeds worden gewerkt met een doorgaanden stroom en mag er dus geen gebruik worden gemaakt van het begin, sel van overdraging. Deed men toch dit laatste, dan zou er op een tusschenstation een overdraagtoestel in de lijn moeten worden ingeschakeld, waardoor een nieuwe stroom werd gesloten; het regelen van de sterkte van dezen en van de gevoeligheid van het overdraagtoestel zou dan geheel buiten controle der waarnemers staan, en men zou geen waarborg hebben, dat de vertrageningen op het overdraagstation onder alle omstandigheden het zelfde bedrag zouden bereiken. Het is dus noodzakelijk met zeer krachtige gangbatterijen te werken, zoodat de aankomende stroom sterk genoeg is, om het relais behoorlijk in werking te brengen.

Het aantal hiervoor vereischte elementen hangt af van de lengte en den toestand der geleiding; dikwijls zijn batterijen van 100 en meer elementen noodig.

De normale stroomsterkte moet vooraf worden vastgesteld; daartoe sluit men op het ene station gedurende ongeveer een minuut den stroom, en laat deze op het andere station het relais en de tangenten bousfles doorloopen; terwijl de tweede tak, waarin zich de weerstandsbank bevindt, is verboden. De geheele stroom loopt dus door de tangenten bousfles, wier uitwijking wordt opgeteekend. Vervolgens herhaalt men de bewerking voor het andere station. De normale stroomsterkte kan worden vastgesteld op drie vienden van het kleinste der waargenomen bedragen; men kan dan verwachten dat ook bij ongunstiger toestand van de geleiding of bij afneming van de sterkte der batterijen, het normale bedrag nog zal kunnen worden bereikt.

Hiërby is verondersteld, dat beide tangenten bousfles voor dezelfde stroomsterkte dezelfde uitwijkingen geven, wat in het algemeen niet het geval zal zijn. Om dit te onderzoeken laat men voor de uitvoering der lengtebepaling op een der stations een stroom door de beide bousfles gaan; zijn de uitwijkingen α_1 en α_2 en de constanten der bousfles C_1 en C_2 dan is:

$$C_1 \tan \alpha_1 = C_2 \tan \alpha_2$$

dus
$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} = C$$

Is nu bij een bepaalde stroomsterkte de uitwijking der tweede bousfles α' en de overeenkomstige afwijking der eerste bousfles α , dan heeft men de betrekking.

$$\tan \alpha = C \tan \alpha'$$

Door middel van deze uitdrukking kunnen dus de uitwijkingen der tweede bousfles tot die der eerste worden herleid. Bij het bezigen der bousfles op twee verschillen, de stations zou streng genomen het verschil der horizonale intensiteit van het aardmagnetisme in aanmerking moeten worden genomen; zoo groote nauwkeurigheid is evenwel niet noodig.

Door de verdeling van den stroom in de twee takken heeft men het nu in de hand den stroom, die het relais doorloopt, steeds op dezelfde sterkte te brengen.

Stelt men toch:

E de electromotorische kracht der batterij;

w de weerstand en

i de stroomsterkte der onverdeelde leiding;

w_1, i_1 , die grootheden voor den eersten tak, die het relais bevat;

w_2, i_2 die grootheden voor den tweeden tak, waarin zich de weerstandsbank bevindt, dan verkrijgt men door toepassing der wetten van Kirchhoff voor de stroomverdeling:

$$i_1 + i_2 = i \quad (1)$$

$$i_1 w_1 - i_2 w_2 = 0 \quad (2)$$

$$i w + i_1 w_1 = E \quad (3)$$

Uit vergelijking (2) volgt:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1},$$

de stroomsterkten in beide takken zijn dus omgekeerd evenredig met de weerstanden.

Uit (1) en (2) volgt:

$$i = i_1 \left(1 + \frac{w_1}{w_2} \right)$$

of

$$i_1 = i \frac{w_2}{w_1 + w_2}$$

Dit gesubstitueerd in (3) geeft:

$$i \left(w + \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2} \right) = E$$

of

$$i = \frac{E}{w + \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}}$$

Derhalve is

$$i_1 = \frac{E}{w + \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}} \cdot \frac{w_2}{w_1 + w_2} = \frac{E}{w \left(1 + \frac{w_1}{w_2} \right) + w_1}$$

voor $w_2 = 0$ is dus $i_1 = 0$,

voor $w_2 = \infty$ $i_1 = \frac{E}{w + w_1}$.

Practisch is w_2 niet gelijk nul te maken, maar wel zeer klein met betrekking tot w_1 , zoodat $\frac{w_1}{w_2}$ een zeer groot getal is, en i_1 dus weinig van nul verschilt; de weerstand $w_2 = \infty$ wordt verkregen door de geleiding in den tweeden tak te verbreken.

Door het inschakelen van verschillende weerstanden met behulp van de bank kan men de stroomsterkte in den eersten tak dus verschillende waarden geven, begrepen tusschen 0 en $\frac{E}{w + w_1}$. Berigt men een weerstandsbank van Siemens, dan kan men w_2 laten afwisselen tusschen 1 en 5000 of 1 en 10000 Siemensche eenheden

(1 I. E. = 0,94 Ohm).

Op elk station moet het relais zoodanig worden gesteld, dat de gevoeligheid zoo groot mogelijk is. Voor de regeling van het relais brengt men, na den stop te hebben weggenomen, de beide uiterste blokken van den commutator met elkaar in geleidende verbinding door middel van een koperdraad, dat geen aanraking heeft met het middelste blok. Bij het neerdrukken van den sleutel gaat de stroom dan door het relais, en zal de tangenten boussole uitwijken; door het wijzigen van den weerstand in den tweeden tak kan men die uitwijking verschillende bedragen geven.

Men begint nu den stroom, die door het relais gaat, zoodanig te verzwakken, tot dit toestel niet meer in werking komt bij het neerdrukken van den sleutel, en teekent de uitwijking der tangenten boussole voor die grens op. Vervolgens wijzigt men de verbinding van het relais zoodanig, dat het door den stroom in tegengestelde richting wordt doorloopen, en bepaalt op nieuw de minimum uitwijking der boussole voor het in werking komen; bij alle relais vindt men die bedragen verschillend; de stroomloop door het relais waarbij dat minimum het kleinste bedrag bereikt, wordt als de definitieve aangenomen. De bij de seinwisseling van het andere station komende stroom moet het relais nu in dezelfde richting doorloopen; daarvoor is het noodig, dat op beide stations de gelijknamige polen der batterijen met den sleutel worden verbonden.

Daarna kan men overgaan tot het stellen van het relais, waarvoor men eerst door middel van de weerstandsbank de uitwijking der boussole brengt op het aangenomen normaal bedrag. De regeling geschiedt verder door middel van de daartoe aangebrachte inrichting. De uiterste standen van den hefboom van het relais worden bepaald door de uiteinden van twee schroeven, welke het rustcontact en het arbeidscontact vormen. Tegen het eerste wordt bij de gewone inrichting van het relais de hefboom getrokken door een veer, wier spanning kan worden geregeld; tegen het tweede legt de hefboom zich aan, wanneer de stroom door

het relais gaat, dus door de aantrekking der electromag., neten.

Bij den Gouvernements telegraaf in Nederlandsch Indië is voornamelijk in gebruik het relais van Morse of zwanenhalsrelais, waarvan twee soorten worden geberigd, namelijk met en zonder verstelbare electromag., neten. Een relais van de eerste soort is, wat de belang., rijkste deelen betreft, voorgesteld in figuur 3.

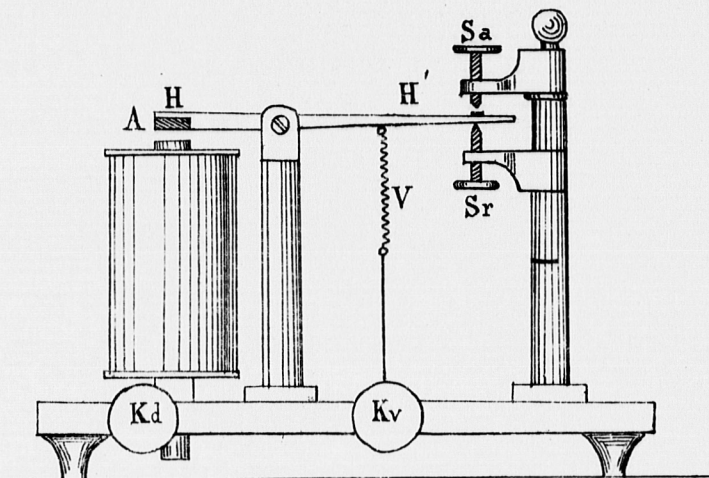


Fig. 3.

Daarin beteekenen HH' de hefboom met het anker A, Sr de schroef voor het rustcontact, Sa die voor het arbeids., contact en V de veer, wier spanning met de knop Kv kan worden geregeld; Kd is een tweede knop, die met een rondsel op een heugelstang werkt, waardoor de draad., klossen met hun kernen hoger of lager kunnen worden gesteld. De inrichting van een relais der tweede soort is nagenoeg hetzelfde, alleen ontbreekt de knop Kd en zijn de draadklossen onbewegelijk. Op het voetstuk van het relais zijn vier klemschrouwen aangebracht voor de ver., binding der geleiddraden; bij het seinrelais zijn na., tuurlijk alleen de draadklossen ingeschakeld.

De veer V van het seinrelais moet steeds zoo zwak mogelijk zijn gespannen, zoodanig dat de span., kracht juist voldoende is om, wanneer de stroom verbo., ken wordt, den hefboom naar het rustcontact te be., wegen; de contacten moeten zich roover van elkaar be., vinden, dat de speelruimte enkele tiende deelen van mil., limeters bedraagt.

Bij de regeling van een relais der eerste soort begint men door draaiing van de knop Kd de kernen

zoo dicht tot het anker te doen naderen, dat eindelijk de grens bereikt is, waarbij het anker, na te zijn aangetrokken, wegens het remanente magnetismus der kernen niet meer wordt losgelaten. Het kan hiervoor noodig zijn ook de schroef *Sa* iets terug te draaien, waarbij men er echter voor moet zorgen, dat het anker niet met de kernen in aanraking komt, aangezien daardoor het remanente magnetismus zeer sterk zou toenemen. Vervolgens verplaatst men de kernen in tegengestelde richting, totdat bij het doorgaan van den stroom de hefboom niet meer in beweging komt, en draait de knop *Kd* eindelijk terug over drie vierde van het interval tusschen die beide uiterste standen. In den verkregen stand is men dus nog op een vierde van dat interval van de grens van kleven verwijderd.

Bij een relais van de tweede soort is de regeling iets lastiger, daar men alleen met de schroeven *Sa* en *Sr* kan werken en voortdurend de spanning der veer moet regelen. Na met de schroef *Sa* de grens van kleven te hebben bepaald, moet men de schroef *Sr* terug draaien, totdat de doorgaande stroom de hefboom niet meer in beweging brengt, daarna *Sa* tot *Sr* laten naderen, tot de speelruimte de gewenschte grootte heeft, vervolgens die schroef over drie vierde van den afgelegden weg terugdraaien, en eindelijk met de schroef *Sr* de speelruimte wederom tot de verlangde grootte terugbrengen.

Na afloop der regeling neemt men den verbindingsdraad tusschen de beide uiterste blokken van den commutator weg. Het spreekt van zelf dat er verder niets meer aan den stand der schroeven en knoppen van het relais mag worden veranderd; de juiste stand der knoppen zal men door een teken kunnen aangeven.

De speelruimte van den sleutel is van invloed op de nauwkeurigheid der seingering; men zal deze het kleinst mogelijk bedrag geven, dat met het oog op gemakkelijk corresponderen nog kan worden toegelaten.

De sterkte van den stroom, die op het station aankomt, is altoos veel minder dan die van den stroom, welke van het andere station is afgegaan; de oorzaak hiervan is het electriciteits verlies op de lijn ten gevolge van onvolkomen isolering. Van grooten invloed hierop is de

weersgesteldheid; slaat er vocht neder op de isolatoren, dan vormt dit een geleidend laagje, waardoor een belangrijke hoeveelheid electriciteit kan afvloeien. Bovendien zal door verandering van den weerstand in de batterij de van het station afgaande stroom niet steeds hetzelfde bedrag hebben. Deze omstandigheden maken het noodig telkens, vóór dat men tot seinwisseling overgaat, de stroomsterkte op nieuw te regelen. Daartoe sluit men op het eerste station gedurende één of twee minuten den stroom, die men op het tweede station het relais doet doorloopen; de uitwijkingen der tangenten bussole voor verschillende weerstanden in den tweeden tak, afwisselende van 0 tot ∞ worden vervolgens aangeteekend, om een denkbeeld te verkrijgen van den toestand der lijn, en vervolgens de weerstand bepaald, welke noodig is tot het verkrijgen der normale uitwijking en die bij de seinwisseling moet worden behouden. Daarna doet men hetzelfde in omgekeerde richting.

5. De uitvoering der lengtebepaling.

Bij de uitvoering der lengtebepaling zal men zich niet vergenoegen met slechts op twee avonden waarnemingen te doen met omwisseling der waarnemers in den tusschentijd, maar ter verkrijging van meerdere nauwkeurigheid wordt vóór en na die omwisseling telkens op een aantal avonden het lengteverschil bepaald. Het universalinstrument, dat voor de tijdsbepalingen wordt geberigd, wordt daarom opgesteld in een observatiehut met beweegbaar dak, zoodat het tijdens den geheelen duur der werkzaamheden rustig kan blijven staan.

De seintafel bevindt zich in den regel in het telegraafkantoor; om zoo weinig mogelijk tijd te verluizen tusschen de tijdsbepalingen en de seinwisseling is het dus wenschelijk dat de observatiehut zich op korten afstand van het telegraafkantoor bevindt; het gevaar, dat de gang van den geberigden tijdmetr door het transport wordt gewijzigd, wordt daardoor ook verminderd. Is de afstand groot dan verdient het de voorkeur bij de observatiehut een vertrekje in te richten voor de opstelling van de seintafel en de batterijen; de hut moet dan door een tijdelijke leiding zijn verbonden met het telegraafkantoor, waar die leiding voor de seinwisseling met de lijn naar het andere

station in verbinding wordt gebracht. Transport van den tijdmetr is dan overbodig, en de waarnemingen kunnen op de meest rustige wijze geschieden.

De telegraaflijn zal in den regel alleen des nachts ter beschikking van de waarnemers worden gesteld, wat met het oog op de uitvoering der tijdsbepalingen ook het meest gunstig is. In geval van nachtdienst tusschen de kantoren, zal die beschikbaar stelling telkens slechts voor een kort tijdsverloop kunnen plaats hebben.

Bij de seinwisseling geeft men niet slechts een sein in beide richtingen, maar telkens reeksen van seinen, waaruit dan een gemiddeld resultaat kan worden afgeleid. Een dergelijke seinwisseling kan een of meermalen per nacht worden uitgevoerd in verband met de beschikbaarheid der telegraaflijn.

Ook de tijdsbepalingen voert men groepsgewijze uit, zoodanig dat het gemiddelde oogenblik der waarnemingen nagenoeg overeenkomt met dat der seinwisseling; een fout in de waarde van den gang, uit de tijdsbepalingen afgeleid, heeft dan slechts een zeer geringen invloed op de berekende correctie van den tijdmetr.

Vanaf zal een programma worden vastgesteld, waarin worden opgenomen het aantal avonden, waar, op een volledige bepaling moet worden verkregen; de volgorde der tijdsbepalingen en seinwisselingen, het minimum aantal sterren in elke groep waar te nemen en het telkens te wisselen aantal tijdseinen.

Bij de tijdsbepalingen moet elke groep minstens twee sterren bevatten, een Oost en een West op nagenoeg denzelfden afstand van het Zenit, ter vermindering van den invloed eener fout in de berekende refractie, der doorbuiging van den kijker en der regelmatige fouten van de randverdeling; elke ster neemt men een gelijk aantal malen waar in beide standen van het instrument tot eliminering van den invloed der index fout.

Het aantal sterren van elke groep en het aantal zenitsafstanden van elke ster mag niet te groot zijn, om niet te veel inspanning te vergen van den waarnemer, waardoor de nauwkeurigheid der waarnemingen

op het laatst zou gaan lijden. Men kan daarom stellen van elke ster hoogstens vier zenitsafstanden, en per nacht hoogstens acht sterren te nemen. De eigenlijke waarnemingen, ongerkend het tijdverlies, vorderen dan nog een ingespannen arbeid van ruim twee uren, over twee of drie groepen verdeeld.

Bij eenmalige seinwisseling kunnen de werkzaamheden als volgt geschieden:

tijdsbepaling: ster Oost,
ster West,
ster West,
ster Oost;

seinwisseling;

tijdsbepaling: ster West,
ster Oost,
ster Oost,
ster West.

Bij tweemaalige seinwisseling:

tijdsbepaling: ster Oost,
ster West;

seinwisseling;

tijdsbepaling: ster West,
ster Oost,
ster Oost,
ster West;

seinwisseling;

tijdsbepaling: ster West,
ster Oost.

Voor de waar te nemen sterren kiest men uitsluitend fundamentaalsterren, zoo dicht mogelijk bij den eersten vertikaal en op een zenitsafstand, die 40° niet te boven gaat. Neemt men in elke groep de helft der sterren ten Noorden, de helft ten zuiden van den eersten vertikaal, dan wordt de invloed eener fout in de aangenomen breedte der waarnemingsplaats grootendeels geëlimineerd.

De stand van den vertikalen cirkelrand zal men verder voor de verschillende avonden wijzigen, zoodanig dat de aflexingen langs den geheelen omtrek worden verdeeld, ter vermindering van den in-

vloed der regelmatige randverdeelingsfouten.

Wanneer men op beide stations alleen dezelfde ster, ren waarneemt, dan wordt de invloed der fouten in de rechte klimmingen geheel geëlimineerd; in de practijk is dit evenwel niet volmaakt te verkrijgen als het lengte, verschil groot is; bovendien moet met het oog op gedeel, telijke bewolking de waarnemer eenige vrijheid hebben in de keuze der sterren. Men zal daarom vooraf een lijst opmaken van de sterren, die bij voorkeur zullen wor, den waargenomen; er bestaat dan veel waarschijnlijk, heid, dat elken avond op beide stations voor een deel dezelfde sterren zullen worden gebezigd.

Zal het programma geheel kunnen worden gevolgd, dan zijn op beide stations heldere nachten noodig; daarom moet men dien tijd van het jaar voor de uit, voering der lengtebepaling kiezen, die in verband met de plaatselijke gesteldheid op beide stations de meest gun, stige is.

Is het weder niet geheel gunstig, dan zal men af, wijking van het programma moeten toelaten. Men kan daarbij als minimum stellen dat elke groep sterren uit een ster Oost en een ster West moet bestaan, en dat voor en na de seinwisseling een dergelijke groep moet zijn waargenomen. Bovendien kan men nog een reserve groep, voorafgegaan door seinwisseling, vaststellen, van welke alleen dan wordt gebruik ge, maakt, wanneer door ongunstig weder de eerste groep ster, ren op een der stations niet of onvoldoende is waar, genomen en dus ook de eerste seinwisseling achter we, ge is gebleven.

Wat de seinwisseling betreft, die bij het bezingen van een relais altoos moet worden voorafgegaan door de regeling der stroomsterkte, valt op te merken, dat de waarnemers eerst beurtelings eenige proefseinen geven, om na te gaan of deze allen behoorlijk worden overgebracht; bij ongunstigen toestand van de lijn is dit niet altoos het geval. Daarna waarschuwt de eerste waarnemer, door eenige kort op elkander volgende tikken, dat de eigen, lijke seinginging gaat beginnen; deze bestaat uit een aantal seinen met regelmatige intervallen en samen,

vallende met de tikken van zijn tijdmetr gegeven.

De waarnemer op het tweede station neemt de oogenblikken dier seinen volgens de aanwijzing van zijn tijdmetr waar, met schatting van tiende deelen van het interval tusfchen twee tikken, en teekent die oogenblikken aan, waarbij hij met den tijdmetr door blijft tellen; bedraagt het tijdsverloop tusfchen de seinen 10 seconden, dan is dit voor het aantekenen ruim voldoende. De siingever kan de oogenblikken, waarop hij seinen geeft, vooraf hebben genoteerd. Het eerste sein wordt voor de bepaling van het lengteverschil niet medege-rekend, daar het den waarnemer altoos eenigzins zal verrasfen, waardoor nauwkeurige schatting van de onderdeelen niet mogelijk is; hij weet daarna echter na welken tik van zijn tijdmetr telkens een sein is te verwachten, en schat dien tengevolge juist.

Tejn de tijdmeters op de stations leiden geregeld naar middelbaren tijd of naar sterrentijd, dan is bij alle tijdseinen ener zelfde reeks het te schatten aantal onderdeelen nagenoeg hetzelfde, waardoor constante fouten zullen ontstaan. Het is daarom beter bij de tijdseinen op het ene station een tijdmetr te bezigen geregeld naar middelbaren tijd, op het andere een geregeld naar sterrentijd. Wanneer de seinen op elkaar volgen met een tijdsverloop van 10 seconden, dan verkrijgt bij 18 seinen het te schatten interval achtereenvolgens alle mogelijke opvolgende waarden. De siingroepen neemt men het best symmetrisch, bijvoorbeeld als volgt: het eerste station geeft 19 seinen, het tweede station geeft 37 seinen, het eerste station geeft 19 seinen. De eerste seinen van elke reeks tellen niet mede; op elk station geeft men dus 36 geldige seinen. De tijdsverloopen tusfchen de reeksen neemt men zooveel mogelijk even lang, de gemiddelde oogenblikken der seinen door het eerste en door het tweede station gegeven vallen dan op zeer weinig na te samen.

Neemt men voor de tijdsverloopen tusfchen de groepen 30 seconden, dan is de eigenlijke seinwisseling in 15 minuten afgeloopen. Met het oog op correspondentie en stroomregeling behoeft het tijdsverloop tusfchen

de groepen tijdsbepalingen dus niet meer dan een half uur te bedragen, wanneer het universaalinstrument en de seintafel in elkaars onmiddellijke nabijheid zijn opgesteld.

De tijdmetr die voor de seinwisseling wordt geberigt zal men niet op de seintafel zelf plaatsen, uit vrees voor den invloed der electromagneten op de veer der onrust; hij moet zich echter zoo dicht mogelijk bij het relais bevinden. Men kan natuurlijk met een tijdmetr voor de tijdsbepalingen en de seinwisseling volstaan, maar het verdient de voorkeur twee tijdmeters te hebben, liefst een geregeld naar sterrentijd en een naar middelbaren tijd, waarvan er dan een rustig staan blijft om als verklikker dienst te doen; de andere, gebruikte tijdmetr wordt daar herhaaldelijk mede vergeleken, onregelmaticgheden in den gang zullen zich dan kenbaar maken. Wanneer observatiehut en seinlokaal ver van elkaar zijn verwijderd, dan plaatst men den verklikker het best in de observatiehut en vergelijkt beide tijdmeters telkens voor en na de seinwisseling; een invloed van het transport op den gang is dan dadelijk te ontdekken.

Voor de tijdsbepalingen bezigt men op beide stations in ieder geval naar dezelfde tijd geregelde tijdmeters, b.v. naar middelbaren tijd. Op het ene station wordt dan bij de seinwisseling de verklikker geberigt, die dus aldaar nabij de seintafel moet worden opgesteld. Onmiddellijk voor en na de seinwisseling worden de beide tijdmeters vergeleken, om de aangeteekende oogenblikken der tijdsseinen tot die van den anderen, naar middelbaren tijd geregelde tijdmetr te kunnen herleiden.

Voor de berekening der tijdsbepalingen moet de geographische breedte der waarnemingsplaatsen bekend zijn. Daarvoor moeten dus ook de noodige waarnemingen worden uitgevoerd. Men kan daartoe enige avonden bestemmen, en verder nog die bezigen, welke door ongunstige weersgesteldheid op het andere station toch voor de lengtebepaling verloren zijn.

6. De berekening van het resultaat der lengtebepaling.

Reeds spoedig, nadat de werkzaamheden zijn aangevangen, kan er door elk der waarnemers op hun station ook een begin worden gemaakt met de herleiding

der tijdsbepalingen. Wanneer in den regel door iedere waarnemer op de beide stations breedtebepalingen zullen worden uitgevoerd, zal de definitieve breedte der waarnemingsplaatsen eerst tegen het einde der werkzaamheden bekend zijn; voor de herleiding der tijdsbepalingen moet daarom voorloopig een benaderde waarde der breedte worden gekozen, door elken waarnemer uit de het eerst uitgevoerde breedtebepalingen afgeleid.

Bij het berekenen der tijdsbepalingen zal men aan de waargenomen zenithafstanden de indese correctie aantrengen en zo noodig bevrijden van den invloed der doorbuiging van den kijker; de refractie moet nauwkeurig in rekening worden gebracht. Behalve de correctie van den tijdmet, ter voor het gemiddelde oogenblik der waarnemingen berekent men ten slotte ook de waarde der differentiaalquotienten $\frac{dt}{d\varphi}$, $\frac{dt}{d\delta}$ en $\frac{dt}{dz}$ voor elke ster. De kleine verandering der correctie, die het gevolg is van de verandering, die de voorloopig aangenomen waarde der breedte ondergaat, wordt, zodra de definitieve breedte bekend is, door middel der differentiaalformule berekend, waarna de definitieve waarde der correctie van den tijdmet, wordt gevonden.

Voor elke groep van tijdsbepalingen voor en na de seinwisseling wordt de waarde der correctie, geldende voor het gemiddelde oogenblik, afgeleid. Wanneer het aantal sterren Oost en West in de groep even groot is, of wanneer de verschillen tusschen de waarden bij Oost en West verkregen zoo klein zijn, dat zij aan toevallige waarnemingsfouten mogen worden toegeschreven, waarbij zoo noodig op den invloed van den gang van den tijdmet, moet worden gelet, dan neemt men eenvoudig het rekenkundig gemiddelde der correcties en der tijden. Is het aantal waarnemingen Oost en West niet even groot, en vertoont zich tusschen de daarbij verkregen waarden der correctie een duidelijk verschil, dan is dit een bewijs, dat door het in rekening brengen der doorbuiging van den kijker en van de refractie alle invloeden nog niet zijn geëlimineerd. Het is dan het beste de correcties en tijden betrekking hebbende op sterren Oost en die op sterren West afzonderlijk te middelen, en telkens uit de beide aldus verkregen waarden weder het rekenkundig gemiddelde te nemen.

Het verschil der correcties uit twee opvolgende groepen afgeleid geeft den gemiddelden gang in den tusschen tijd; bij tweemaalige seinwisseling verkrijgt men voor dien gang dus twee waarden, de een geldende voor het tijdsverloop, waarin de eerste, de andere voor dat, waar in de tweede seinwisseling is uitgevoerd. Daaruit kan de gang in de tijds eenheid worden afgeleid, en vervolgens de correctie van den tijdmetr voor elk tusschen gelegen oogenblik worden berekend.

De resultaten der tijdsbepalingen worden voor elk station in staten vereenigd: daarin worden vermeld achter den datum, den naam der ster, Oost of West, en den stand van het instrument; de reedsafstand, de daarmede overeenkomende aanwijzing van den tijdmetr en de gevonden correctie. Daarop volgen voor elke ster de gemiddelden van deze drie grootheden, waarachter de differentiaalquotienten $\frac{dt}{d\varphi}$, $\frac{dt}{d\delta}$ en $\frac{dt}{dz}$ kunnen worden vermeld, om na te gaan welken invloed kleine overblijvende fouten in φ , δ en z nog kunnen hebben. Voor elke groep worden vervolgens de gemiddelde aanwijzingen met de bijbehorende correcties ingevuld, en eindelijk de berekende gang per uur voor het tijdsverloop tusschen twee groepen opgegeven.

Daarna wordt overgegaan tot het berekenen van de verschillen V_0 en V_w der aanwijzingen van de tijdmeters bij de tijdseinen. Wanneer men op een der stations bij de seinwisseling een anders geregelde tijdmetr heeft geberigt als bij de tijdsbepalingen, dan zal men vooraf de aangegevene aanwijzingen van den eersten tot die van laatst bedoelden tijdmetr herleiden; die herleide aanwijzingen komen dan bij de verdere berekeningen geheel in de plaats van de oorspronkelijke.

Voor elken avond en voor de seingeving in beide richtingen afzonderlijk worden die aanwijzingen in staatjes vereenigd, de beide welke op een zelfde sein betrekking hebben naast elkaar; door aftrekking verkrijgt men dan de verschillen V_0 of V_w , die in een derde kolom worden ingevuld. Voor elke reeks en elke richting worden de aanwijzingen der beide tijdmeters en die

verschillen gemiddeld.

Die gemiddelde aanwijzingen van de beide tijdmeten en de bijbehorende gemiddelde verschillen worden opgenomen in een nieuwen staat, waarin vervolgens de waarden $\frac{1}{2}(V_0 + V_w)$ uit die gemiddelden afgeleid worden ingevuld. Daarachter komen de grootheden C_0 en C_w voor de vermelde aanwijzingen en de verschillen $C_0 - C_w$. Door optelling van deze laatste grootheden bij de overeenkomstige waarden $\frac{1}{2}(V_0 + V_w)$ verkrijgt men de waarden λ' ; bij tweemaalige seinuisseling vindt men voor elken avond twee van deze waarden, waarvan het gemiddelde wordt genomen; voor die grootheden λ' heeft men dus een of twee kolommen noodig.

Bij symmetrische opvolging der seinen in beide richtingen is de gemiddelde aanwijzing V_0' op zeer weinig na gelijk aan V_0 en evenzo V_w' aan V_w het tijdsverloop τ is dus nul te stellen en men vindt den gemiddelden stroomtijd t voor elke groep van seinen uit de uitdrukking:

$$t = \frac{1}{2}(V_w - V_0)$$

Deze groothed kan in een laatste kolom worden ingevuld; is τ echter niet nul dan moet er nog het bedrag $\frac{1}{2}\tau(m_0 - m_w)$ bij worden opgeteld, dat in een tweede kolom wordt ingevuld, terwijl de stroomtijd zelf in een derde kolom wordt opgenomen.

Op deze wijze heeft men voor elken avond een groothed λ' verkregen; deze kunnen in twee groepen worden verdeeld, de eene betrekking hebbende op de avonden voor, de andere op die na de omwisseling der waarnemers.

Voor de waarden der eerste groep bestaat dan de betrekking:

$$\lambda = \lambda' + P$$

en voor de tweede

$$\lambda = \lambda' - P,$$

of als men de relais tevens mocht hebben omgewisseld:

$$\lambda = \lambda' + (P - R)$$

$$\lambda = \lambda' - (P - R)$$

Het gemiddelde uit de eerste groep noemende λ' ,

en dat uit de tweede groep λ'_2 vindt men dus voor het eindresultaat der lengtebepaling:

$$\lambda = \frac{1}{2} (\lambda'_1 + \lambda'_2).$$

7. De middelbare fouten en de gewichten der resnl., katen.

Bij de hierboven aangegeven wijze van berekening der lengtebepaling is bij de afleiding van het eindresultaat stilzwijgend verondersteld, dat de grootheden λ' , betrekking hebbende op de verschillende avonden, allen hetzelfde gewicht hebben. In den regel zal dit evenwel niet het geval zijn, voornamelijk omdat tengevolge der weersgesteldheid het aantal waargenomen sterren op ieder station niet steeds hetzelfde zal zijn, en dus de nauwkeurigheid, waarmede de correctien C_0 en C_w worden bepaald, telkens verschillend zal zijn.

Om de gewichten der grootheden λ' te kunnen berekenen, moeten de middelbare fouten dier grootheden bekend zijn; deze zijn samengesteld uit de middelbare fouten der tijdsbepalingen en die der seinwyseling.

De middelbare fout eener tijdsbepaling verkregen door het meten van een enkelen zenitsafstand eener ster kan voor elken waarnemer op twee verschillende wijzen uit de resultaten zijner tijdsbepalingen worden afgeleid.

Vooreerst kan men uitgaan van de resultaten uit de enkele zenitsafstanden verkregen. Daartoe bepaalt men voor de achtereenvolgende waarnemingen van iedere ster afzonderlijk de verschillen tusschen de gevonden waarden der correctie en hun gemiddelde. Noemt men die verschillen x , het totaal aantal zenitsafstanden N en het totaal aantal waargenomen sterren S , dan is de gezochte middelbare fout:

$$\mu_t = \sqrt{\frac{[xx]}{N-S}}$$

De indexcorrectie moet nauwkeurig in rekening zijn gebracht, zoodat deze geen invloed meer kan uitoefenen op de waarde der grootheden x , en wanneer bij de opvolgende waarnemingen eener zelfde ster de invloed van den gang des tijdmeets merkbbaar is, dan moeten de correctien vooraf tot eenzelfde tijdstip worden herleid.

In de tweede plaats kan men uitgaan van de resultaten voor elke waargenomen ster afzonderlijk verkregen. Daartoe moeten eerst voor iederen avond de gevonden correcties door het in rekening brengen van den gang tot een zelfde tijdstip worden herleid, en vervolgens de verschillen tusschen de verkregen waarden en hun gemiddelde worden bepaald. Noemt men het aantal zenits, afstanden, dat van een ster is gemeten n , het gevonden verschil voor die ster X , het totaal aantal waargenomen sterren S , en het aantal avonden, waarop de grootheden betrekking hebben, A , dan is

$$\mu_t = \sqrt{\frac{[nXX]}{S-A}}$$

Voor het toepassen van deze formule moeten de invloeden der refractie en der doorbuiging van den kijker nauwkeurig in rekening zijn gebracht.

De tweede uitdrukking zal in den regel voor μ een grootere, maar ook meer juiste waarde opleveren, dan de eerste. Op de verschillen X zijn toch ook de fouten van de rechte klimmingen der sterren van invloed, wat bij de verschillen x niet het geval is, terwijl met uitzondering van de fout der indexcorrectie, die uit X grootendeels wordt geëlimineerd, de overige fouten op de laatste grootheid een veel grooteren invloed uitoefenen dan op x , zoals die in de berekening der refractie, de aangenomen breedte der waarnemingsplaats, de doorbuigingscoëfficiënt van den kijker en de regelmatige fouten der randverdeling.

De middelbare fout van een enkel sein kan worden opgemaakt uit de verschillen der grootheden V_0 en V_w van elke reeks met hun gemiddelde. Voor ieder van deze beide grootheden zal in den regel een ander bedrag der fout worden gevonden, daar de verrichtingen der waarnemers bij het seingeven en het seinontvangen verschillend zijn. Voor het afleiden der middelbare fout bij seingewing door den eersten waarnemer zal men dus beschouwen de grootheden V_0 voor en V_w na de omwisseling der waarnemers, en omgekeerd voor seingewing door den tweeden waarnemer.

Noemt men bij seingewing door een zelfden waarnemer de verschillen y , het totaal aantal seinen T

en het aantal reeksen van seinen R , dan is de gesochte middelbare fout:

$$\mu_s = \sqrt{\frac{[yy]}{T-R}}.$$

Zijn de bedragen der middelbare fouten bij tijds,, bepaling en sungewing door den eersten waarnemer, μ_t en μ_s , en voor den tweeden waarnemer, μ'_t en μ'_s , bekend, dan is de middelbare fout eener waarde λ' ge,, makkelijk te vinden.

Men heeft toch:

$$\lambda' = \frac{1}{2}(V_0 + V_w) + C_0 - C_w.$$

Zijn de grootheden V_0 en V_w de gemiddelde waarden afgeleid uit s en s' seinen, dan zijn de middelbare fouten der grootheden $\frac{\mu_s}{\sqrt{s}}$ en $\frac{\mu'_s}{\sqrt{s'}}$. Is verder de grootheid C_0 het gemiddelde der correctien $c_1, c_2 \dots c_a$ afgeleid uit de waarneming van a sterren, die ieder $n_1, n_2 \dots n_a$ maal zijn waargenomen, dan is

$$C_0 = \frac{1}{a}(c_1 + c_2 + \dots c_a)$$

en dus de middelbare fout van C_0

$$\frac{\mu_t}{a} \sqrt{\left[\frac{1}{n}\right]};$$

evenxoo is die der grootheid C_w als deze berust op de waarneming van b sterren, ieder $n'_1, n'_2 \dots n'_b$ maal

$$\frac{\mu'_t}{b} \sqrt{\left[\frac{1}{n'}\right]}.$$

Men heeft derhalve voor het vierkant der middelbare fout van λ' :

$$(\lambda')^2 = \frac{1}{4} \left(\frac{\mu_s^2}{s} + \frac{\mu'_s{}^2}{s'} \right) + \frac{\mu_t^2}{a^2} \left[\frac{1}{n}\right] + \frac{\mu'_t{}^2}{b^2} \left[\frac{1}{n'}\right]$$

Het gewicht der grootheid λ' is dus gelijk aan

$$g = \frac{K}{\mu'^2},$$

waarin K een willekeurige constante is. Neemt men voor K de waarde van μ'^2 , voor het geval, dat op beide stations het normale aantal sterren is waargenomen, dat van elke ster het normale aantal zenitafstanden is gemeten en dat in beide richtingen het normale aantal seinen is gewisfeld, dan is het gewicht der waarde λ' in dat normale geval gelijk aan de eenheid.

In de practijk kan men zich eenige vereenvoudiging veroorloven. Daar het aantal gewisfelde seinen groot is, heeft de term $\frac{1}{4} \left(\frac{\mu_s^2}{s} + \frac{\mu'_s{}^2}{s'} \right)$ een xoo kleine waarde, dat men die tegenover de beide andere termen kan verwaarlooren. Verder zullen de waarden μ_t en μ'_t voor twee geoefende waarnemers, met gelijksoortige instrumenten werkende, slechts weinig verschillen, en zal van

elke ster in den regel het normale aantal reits afstanden worden gemeten, zoodat $[\frac{1}{n}]$ slechts weinig zal verschillen van $\frac{a}{n}$, en $[\frac{1}{n}']$ van $\frac{b}{n}$, als n dat normale aantal is. De uitdrukking kan dus worden geschreven:

$$\mu'^2 = \frac{b^2}{n} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

Het normale aantal op beide stations waar te ne,, men sterren k noemende heeft men dus:

$$K = \frac{b^2}{n} \cdot \frac{2}{k},$$

en

$$g = \frac{2}{k} \cdot \frac{ab}{a+b}$$

Door middel van deze formule worden de gewich,, ten zeer gemakkelijk gevonden.

Men heeft nu een aantal vergelijkingen van den vorm

$$\lambda = \lambda' \pm P$$

met bijhoorende gewichten g . Door toepassing van de me,, thode der kleinste vierkanten kunnen hieruit de onbeken,, den λ en P worden opgelost, waartoe de normaalver,, gelijkingen moeten worden opgemaakt. Ook de middel,, bare fout μ der gewichtseenheid en die der gevonden waarden λ en P kunnen dan worden berekend.

Bij de berekening van het eindresultaat kan men, als de som der gewichten van de grootheden λ' vóór de omwisseling der waarnemers slechts weinig verschilt van die som na de omwisseling, zoodat in den regel het geval is, met een benadering volstaan.

Men bepaalt daartoe eerst een benaderde waarde van P , door het halve verschil te nemen der gemiddelden van de beide groepen der waarden λ' , de eene betrekking hebbende op de waarnemingen vóór, de laatste op die na de omwisseling der waarnemers uitgevoerd. Men kan het gevonden bedrag dan in de uitdrukkingen $\lambda' \pm P$ substitueeren en de verkregen waarden beschouwen als directe waarnemingen der grootheid λ met de gewichten g , en hieruit de waarde van λ , de middelbare fout der gewichtseenheid en die van λ bepalen.

Bij beide berekeningswijzen heeft de middelbare fout μ der gewichtseenheid betrekking op het normale geval, en is zij dus gelijk aan de uitdrukking die men verkrijgt, door in de formule (2) op bladz. 27, voor s en s' het normaal aantal seinen, te substitueeren, en te stellen:

$$a = b = k$$

$$\left[\frac{1}{n}\right] = \frac{k}{n}, \quad \left[\frac{1}{n'}\right] = \frac{k}{n},$$

dus het normaal aantal seinen s noemende, heeft men:

$$\mu^2 = \frac{1}{4s} (\mu_s^2 + \mu_s'^2) + \frac{1}{kn} (\mu_t^2 + \mu_t'^2)$$

Substitueert men in deze uitdrukking de uit de waarnemingen afgeleide waarden van μ_s , μ_s' , μ_t en μ_t' , dan zal men in den regel voor μ een grotere waarde vinden, dan uit de grootheden λ' volgt, hetgeen daaraan is toe te schrijven, dat door de combinatie der waarnemingen uit de gemiddelde grootheden C_0 en C_∞ een aantal fouten worden geelimineerd, die op de resultaten der enkele reitsafstanden of der enkele sterren wel hun invloed doen gevoelen.

De middelbare fout van den stroomtijd uit het normale aantal seinen heen en weer afgeleid is gelijk aan:

$$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_s^2 + \mu_s'^2}{s}}$$

Vergelijkt men deze grootheid met de middelbare waarde der verschillen tusfchen de waarden, die bij de verschillende seinuisselingen zijn gevonden, en hun gemiddelde, dan blijkt onmiddellijk of die verschillen aan een werkelijke verandering van den stroomtijd of aan toevallige waarnemingsfouten moeten worden toegeschreven.

8. Het bepalen der persoonlijke verschillen.

De invloed van het persoonlijk verschil der waarnemers zal alleen dan uit het eindresultaat zijn geëlimineerd, wanneer het bedrag der grootheid gedurende den loop der werkzaamheden, dus vóór en na de omwisseling der waarnemers, onveranderd is gebleven.

Nimmer zal dit volkomen het geval zijn, en daarom zal men, om na te kunnen gaan in hoeverre op die eliminatie valt te rekenen, het bedrag van het persoonlijk verschil vóór en na de waarnemingen en liefst ook bij de omwisseling der waarnemers opzettelijk bepalen; het is daarvoor telkens noodig, dat beide waarnemers zich op een zelfde station bevinden.

De grootheid P spruit voort uit het verschil der persoonlijke sequaties bij de tijdsbepalingen en uit den invloed van dat verschil bij de seinuisseling; beide grootheden moeten uit afzonderlijke waarnemingen

gen worden afgeleid.

Het verschil der persoonlijke aequaties van beide waarnemers bij de tijdsbepalingen wordt gevonden, wanneer beiden op een zelfden avond een zoo groot mogelijk aantal tijdsbepalingen uitvoeren in deze zoodanig inrichten dat de omstandigheden, die van invloed kunnen zijn op de resultaten, zooveel mogelijk dezelfde zijn. Als de bij de lengtebepaling gebruyde universaal instrumenten beiden van geheel dezelfde constructie zijn, dan behoeven zij bij de bepaling van het persoonlijk verschil slechts één van deze te bezigen. Zij nemen dan beurtelings een zelfde ster waar in beide standen van het instrument, waarbij men tot het elimineeren van den gang des tijdmeets en van een kleine verandering in de refractie de volgorde aldus kan nemen.

waarnemer 1, stand I

" 2, " I

" 2, " II

" 1, " II

Voor elken waarnemer wordt het gemiddelde van de twee verkregen waarden der correctie genomen.

Zijn de gebruyde instrumenten verschillend, dan moet ieder waarnemer zijn eigen instrument gebruiken; de waarnemingen moeten dan gelijktijdig geschieden, terwijl beiden steeds eenzelfde ster waarnemen.

Elk waarnemer heeft dan zijn eigen tijdmeets, die tussehen de waarnemingen herhaaldelijk worden vergeleken, zoodat uit de gevonden correcties van den eenen de overeenkomstige van den anderen kunnen worden afgeleid.

Het geval kan zich voordoen, dat bij het waarnemen van oostelijke en van westelijke sterren, die zich in tegengestelde richting door het dradennet bewegen, het persoonlijk verschil een andere waarde heeft; men zal daarom bij de bepaling sterren aan beide zijden van het zenit waarnemen, en uit beide groepen een resultaat afleiden.

Noemt men nu de correctie van den zelfden tijdmeets en voor het zelfde oogenblik volgens de waarnemingen van den eersten waarnemer C_1 en volgens die van den tweeden C_2 en de persoonlijke aequaties

p_1 en p_2 , dan is

$$c_1 + p_1 = c_2 + p_2 \quad \text{of}$$

$$p_1 - p_2 = c_2 - c_1$$

Uit elk paar zenitsafstanden door beide waarnemers gemeten kan een dergelijke waarde worden afgeleid; het gemiddelde uit een groot aantal dergelijke waarden geeft het gezochte persoonlijk verschil.

Noemt men de verschillen tusschen die enkele waarden en hun gemiddelde x en het aantal waarden v , dan is de middelbare fout van een enkel verschil:

$$\sqrt{\frac{[xx]}{v-1}}$$

en die van het resultaat

$$\mu_v = \sqrt{\frac{[xx]}{v(v-1)}}$$

Uit het bedrag dezer grootheid kan worden opge„ maakt, in hoeverre de toevallige waarnemingsfouten en onregelmatigheden der tijdmeters van invloed kun„ nen zijn op het gevonden resultaat, en tevens of de verschillen tusschen de waarden van de grootheid $p_1 - p_2$, voor en na de uitvoering der lengtebepaling en tijdens de verwisseling der waarnemers verkregen, grooter zijn, dan aan die toevallige invloeden kan worden toegeschr„ ven, dus of een verandering dier grootheid reël, dan wel slechts schijnbaar is.

De grootheid μ_v is ook te beschouwen als de middelbare fout van het verschil van twee correcties, waarvan er door elken waarnemer een is afgeleid uit v waargenomen sterren, van ieder van welke twee zenitsafstanden zijn gemeten; dus is

$$\mu_v = \sqrt{\frac{\mu_t^2 + \mu'_t^2}{2v}}.$$

De gevonden waarde moet overeenstemmen met het bedrag dat men verkrijgt, door in deze uitdrukking de waarden van μ_t en van μ'_t te substitueeren.

Voor het bepalen van de persoonlijke verschillen bij de seinwisseling moeten de sleutel en het relais elk in een afzonderlijk vertrek worden opgesteld. De waarnemers gaan op dezelfde wijze te werk, als bij de eigenlijke seinwisseling, met dit verschil slechts, dat in plaats van heen en weer seinen omwisseling der waarnemers plaats heeft, dat men elke reeks uit een kleiner aantal seinen kan laten bestaan en dat voor en na

elke reeks de tijdmetr van den seingever met dien van den seinontvanger wordt vergeleken.

Men bepaalt nu voor elke reeks de gemiddelden der aanwijzingen van beide tijdmeters bij seingeven en seinontvangen, en herleidt de resultaten tot de aanwijzingen van een zelfden tijdmetr. Noemt men, overeenkomstig met de boven aangenomen notatie, de dan verkregen waarden U_1, U_1', U_2, U_2' en de persoonlijke aequaties S_1, S_1', S_2, S_2' , en stelt men de vertraging van het relais r , dan heeft men:

$$\begin{aligned} U_1 + S_1 + r &= U_2' + S_2' \\ U_1' + S_1' &= U_2 + S_2 + r, \end{aligned}$$

of

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{1}{2}(S_1 - S_2') = \frac{1}{2}(U_2' - U_1) - \frac{1}{2}r, \\ q_2 &= \frac{1}{2}(S_2 - S_1') = \frac{1}{2}(U_1' - U_2) - \frac{1}{2}r, \end{aligned}$$

dus

$$q_1 - q_2 = \frac{1}{2}(U_2 + U_2') - \frac{1}{2}(U_1 + U_1').$$

Uit elke reeks wordt een dergelijke waarde verkregen; het gemiddelde van een groot aantal dier waarden geeft het gesochte bedrag.

Noemt men de verschillen tusfchen de enkele waarden en hun gemiddelde y en het aantal waarden w , dan is de middelbare fout van een van deze gelijk aan

$$\sqrt{\frac{[yy]}{w-1}},$$

en die van het eindresultaat

$$\mu_y = \sqrt{\frac{[yy]}{w(w-1)}}$$

Uit het bedrag derer grootheid kan men weer afleiden, of de verschillen tusfchen de bedragen voor en na de uitvoering der lengtebepaling en bij de omwisseling der waarnemers gevonden, inderdaad een verandering van de persoonlijke aequatie tot oorzaak hebben.

Wanneer elke reeks voor de bepaling der grootheid $q_1 - q_2$ uit x seinen bestaat, dan is de grootheid μ_y te beschouwen als de middelbare fout van het resultaat van w seinwisselingen, elk bestaande uit x seinen, en dus gelijk aan:

$$\mu_y = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_s^2 + \mu_s'^2}{wx}}$$

Het gevonden bedrag moet dus overeenstemmen met hetgeen men verkrijgt, door in deze uitdrukking voor μ_s en μ_s' hunne waarden te substitueeren.

Bij de oefening in het geven en ontvangen der tijd, seinen zullen de waarnemers op geheel dezelfde wijze te werk gaan als bij de bepaling van het persoonlijk verschil. Men zal daarbij de verschillen $q_1 - q_2$ telkens bepalen en de oefening zoolang voortzetten, totdat de daarvoor gevonden waarden een constant bedrag vertoonen en de middelbare fout der enkele waarde een klein bedrag heeft bereikt.

Stelt men het gemiddelde der bij de bepaling gevonden verschillen $p_1 - p_2$ gelijk aan p en dat van $q_1 - q_2$ gelijk aan q , dan is

$$P = p + q,$$

met de middelbare fout

$$\mu_P = \sqrt{\mu_p^2 + \mu_q^2}.$$

Heeft men de bepaling van het persoonlijk verschil bij de tijdsbepalingen voor sterren Oost en sterren West verschillende waarden gevonden, dan kan men, aangezien de aantallen sterren Oost en sterren West op een avond waargenomen steeds nagenoeg even groot zullen zijn, voor p het gemiddelde nemen van beide waarden.

Blijkt bij de uitvoering der lengtebepaling de verandering der grootheid P niet grooter te zijn, dan aan de toevallige waarnemingsfouten kan worden toegeschreven, dan kunnen de voor die grootheid gevonden waarden ook in aanmerking worden genomen bij de afleiding van het eindresultaat. Noemt men de voor P gevonden waarden P' , dan heeft men behalve de twee groepen vergelijkingen van den vorm

$$\lambda = \lambda' - P \quad \text{en}$$

$$\lambda = \lambda' + P$$

met de gewichten g , ook nog twee of drie uitdrukkingen van den vorm

$$P = P'$$

met de gewichten

$$gP = \frac{K}{\mu_P^2}$$

Uit deze gezamenlijk kunnen de normaal vergelijkingen ter bepaling van de onbekenden λ en P worden opgemaakt.

Wanneer er bij de uitvoering der lengtebepaling geen omwisseling der waarnemers heeft plaats gehad,

en men dus slechts kan beschikken over een groep vergelijkingen van den vorm:

$$\lambda = \lambda' + P$$

met de gewichten g , dan is het om het eindresultaat van den invloed der persoonlijke verschillen te bevrijden, noodzakelijk de grootheid P opzettelijk te bepalen. Heeft men dit gedaan voor en na de uitvoering der lengtebepaling, dan heeft men nog twee vergelijkingen van den vorm

$$P = P'$$

met de gewichten g_p , en kan men dus λ en P berekenen.

Wanneer de gewichten g_p aanmerkelijk groter zijn dan de gewichten g , dan kan men uit de waarden P' eerst direct P berekenen en het bedrag hiervan substitueeren in de vergelijkingen, waardoor de grootheid λ wordt uitgedrukt. Men verkrijgt dan voor die grootheid een aantal waarden, die kunnen worden behandeld als directe waarnemingen met de gewichten g , en waaruit het eindresultaat, de middelbare fout der gewichts eenheid en die van het eindresultaat zelf kunnen worden berekend.

01173300

