

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

**Band:** 10 (1932)

**Heft:** 6

**Artikel:** Telegraphische und drahtlose Bestimmung von geographischen Längendifferenzen = Détermination des différences de longitude géographique à l'aide du télégraphe et de la radiotélégraphie

**Autor:** Engi, P.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-873615>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Telegraphische und drahtlose Bestimmung von geographischen Längendifferenzen.

In den Jahren 1861 bis 1877, 1912 bis 1914 und 1919 bis 1930 liess die Schweizerische Geodätische Kommission durch ihre Ingenieure geographische Längendifferenzen beobachten zwischen einigen Punkten in der Schweiz und zwischen schweizerischen und ausländischen Sternwarten. Während der Durchführung dieser Arbeiten war die Benützung einer Drahtverbindung zwischen den betreffenden Stationen notwendig. Die Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung stellte hiefür in zuvorkommender Weise Linien ihres Netzes unentgeltlich zur Verfügung. Wir erfüllen eine angenehme Pflicht, ihr auch an dieser Stelle für ihr Entgegenkommen, das uns die Durchführung solcher Arbeiten ermöglichte, unseren besten Dank auszusprechen.

In früheren Jahren waren die telegraphischen Verbindungen das Sorgenkind solcher Unternehmungen. Die damalige Anlage der Linien barg eine Reihe von Schwierigkeiten in sich. Aber auch abgesehen von technischen Mängeln waren es häufig ungenaue Ausführung oder Unterlassung von Anordnungen und Schaltungen, die für die Drahtverbindungen während der Beobachtungen erforderlich waren, was die Arbeiten hinderte oder verunmöglichte. In der Publikation über die im Jahre 1867 beobachteten Längendifferenzen Rigi-Zürich, Rigi-Neuchâtel und Zürich-Neuchâtel lesen wir sogar folgenden Satz: „*Quelquefois même, l'employé interrompait l'enregistrement de nos observations par des signaux qu'il faisait pour s'amuser, ainsi que nous avons pu nous en convaincre par la nature des signaux reproduits sur nos feuilles chronographiques, et nous privait ainsi par une plaisanterie d'une partie des observations de la soirée.*“

Nur einmal musste die Verwaltung die Erlaubnis zur Benützung einer zur Verfügung gestellten Linie zurückziehen. Es war dies im Jahre 1870, als durch den Ausbruch des deutsch-französischen Krieges das Netz überlastet wurde. Die damals unternommenen Arbeiten zur Bestimmung der Längendifferenz Mailand-Neuchâtel mussten vorzeitig abgebrochen werden.

Die technischen Verbesserungen am Netz waren bei der Wiederaufnahme der Längenarbeiten im Jahre 1912 so weit vorgeschritten, dass die Linien die an sie gestellten Ansprüche vollkommen befriedigten. Auch die Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit, mit welcher die Beamten die telegraphischen und telephonischen Verbindungen herstellten, lässt von da an nichts mehr zu wünschen übrig.

Unter der geographischen Längendifferenz zweier Orte auf der Erdoberfläche versteht man den Winkel, den ihre beiden Meridianebenen miteinander bilden. Die Messung dieses Winkels stützt sich auf das Phänomen der Umdrehung der Erde um ihre Achse. Die Rotation der Erde, die mit grosser Regelmässigkeit vor sich geht, ist die Ursache der täglichen scheinbaren Bewegung der Gestirne um die Erde,

## Détermination des différences de longitude géographique à l'aide du télégraphe et de la radiotélégraphie.

Au cours des années 1861 à 1877, 1912 à 1914 et 1919 à 1930, la commission géodésique suisse chargea ses ingénieurs de procéder à un certain nombre de mesures de différences de longitude entre quelques points situés en Suisse et entre des observatoires suisses et des observatoires étrangers. Pendant l'exécution de ces travaux, les stations intéressées devaient être reliées entre elles télégraphiquement. A cet effet, l'administration des télégraphes et des téléphones suisse mit, très aimablement et à titre gracieux, les lignes de son réseau à notre disposition. Et c'est pour nous un devoir agréable de lui exprimer ici notre sincère reconnaissance pour la complaisance qu'elle a manifestée à cette occasion et qui seule a permis l'exécution de semblables travaux.

Au début, la question des communications télégraphiques était celle qui tracassait le plus ceux qui avaient la responsabilité de telles entreprises. Un grand nombre des difficultés rencontrées étaient alors inhérentes à l'état du réseau. Mais, abstraction faite des ennuis dus à des insuffisances techniques, il arrivait que certains fonctionnaires négligeaient d'établir ou établissaient mal les connexions nécessaires pour assurer les liaisons télégraphiques pendant les observations, ce qui gênait considérablement ou empêchait totalement l'exécution des travaux. Dans l'ouvrage publié en 1867 sur les observations faites pour déterminer les différences de longitude Righi-Zurich, Righi-Neuchâtel et Zurich-Neuchâtel, nous lisons la phrase suivante: „*Quelquefois même, l'employé interrompait l'enregistrement de nos observations par des signaux qu'il faisait pour s'amuser, ainsi que nous avons pu nous en convaincre par la nature des signaux reproduits sur nos feuilles chronographiques, et nous privait ainsi par une plaisanterie d'une partie des observations de la soirée.*“

Une seule fois, en 1870, lorsqu'éclata la guerre franco-allemande et que le réseau se trouva subitement surchargé, l'administration dut nous retirer l'autorisation d'utiliser les lignes primitivement mises à disposition. Il fallut donc interrompre prématurément les travaux en cours concernant la différence de longitude Milan-Neuchâtel.

Quand les travaux reprirent, en 1912, de multiples améliorations techniques avaient été apportées au réseau, et les lignes donnèrent dès lors complète satisfaction. Dès ce moment aussi, la conscience et l'exactitude qu'apportèrent dans l'accomplissement de leur tâche les fonctionnaires chargés d'établir les communications télégraphiques et téléphoniques ne laissèrent plus rien à désirer.

On entend par différence de longitude géographique de deux points situés à la surface de la terre l'angle dièdre que forment leurs plans méridiens respectifs. Le phénomène de la rotation de la terre autour de son axe permet de mesurer cet angle. Cette rotation, qui s'effectue avec la plus grande régularité, est la cause du mouvement diurne apparent des astres autour de la terre, mouvement dont l'effet le plus remarquable est l'alternance des jours et des nuits.

was sich am augenfälligsten durch den Wechsel von Tag und Nacht bemerkbar macht.

Bei der Umdrehung der Erde weist der Meridian eines Ortes sukzessive nach allen Punkten des Weltraumes. Eine vollständige Umdrehung ist begrenzt durch zwei aufeinanderfolgende Durchgänge eines Meridians durch denselben Punkt. Wenn es uns gelingt, im Weltraum eine feste Zielmarke zu finden und wir eine Zielvorrichtung besitzen, deren Absehlinie in der Meridianebene des Ortes gebraucht werden kann, so sind wir imstande, die Zeitdauer einer Umdrehung zu bestimmen: Wir messen die Zeit, die verfließt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen unseres Meridians durch die Zielmarke.

Das führt uns aber sofort auf die Lösung unseres Problems, den Winkel zwischen zwei Meridianen zu messen: Wir stellen in den beiden Meridianebenen je eine Zielvorrichtung auf, wählen eine Zielmarke im Weltraum und notieren die Uhrzeiten, wann die beiden Meridiane durch die Zielmarke gehen, und können aus der Differenz der beiden Durchgangszeiten den Winkel der beiden Meridiane berechnen aus der Proportion

$$\frac{\text{Zeitdauer einer ganzen Umdrehung}}{\text{Differenz der Durchgangszeiten}} = \frac{360^\circ}{\text{Winkel der Meridiane}}$$

Die Stationen sind in der Regel so weit auseinander, dass man für die Festlegung der Durchgangszeiten mit *einer* Uhr nicht auskommt; wir müssen auf jeder Station eine Uhr haben. Diese beiden Uhren müssen miteinander verglichen werden. Die Vergleichen geschieht mit Hilfe von Zeichen, die auf beiden Stationen einen bestimmten Augenblick an den Uhren ablesen und so ihren gegenseitigen Stand festlegen lassen.

Hipparch (190 bis 125 v. Chr.) gab schon diese Lösung des Problems. Im Altertum verwendete man als Zielvorrichtung das von ihm erfundene Diopter. Uhren gab es damals noch keine. Als Zeitmesser diente der Fixsternhimmel, an welchem die Zeiten abgelesen wurden. Als Zeichen für die Festlegung eines bestimmten Augenblickes kamen damals nur astronomische Erscheinungen in Frage, die von beiden Stationen aus beobachtet wurden: Finsternisse, Sternbedeckungen, Mondbewegung.

Die Ergebnisse solcher Arbeiten waren wegen der Unvollkommenheit der damaligen Instrumente und Positionstabellen noch recht ungenau. Die Erfindung des Fernrohres und eine unmittelbare Folge derselben, die Entdeckung der Jupitertrabanten, förderten das Problem der Längendifferenzen bedeutend, da die Jupitermondverfinsterungen gute und häufig vorkommende Signale bildeten.

Im Jahre 1671-72 bestimmte Picard erstmals, anlässlich seiner Reise von Frankreich nach Uranienburg, der Sternwarte Tycho Brahes auf der Insel Hven im Oere Sund, Längendifferenzen, bei welchen von den Beobachtern für die Uhrvergleichen Lichtsignale gegeben wurden. Die Genauigkeit der Bestimmungen wurde durch dieses Verfahren abermals gesteigert. Ein Nachteil der Methode besteht in der Beschränkung der Auswahl der Stationen, die natürlich so getroffen werden muss, dass die terrestrischen Lichtsignale von beiden Stationen aus

Le mouvement de rotation de la terre fait passer le plan méridien d'un lieu successivement par tous les points de l'espace. Un tour complet est déterminé par deux passages successifs du plan méridien par le même point. Si l'on choisit dans le ciel un point de repère déterminé, fixant ainsi un axe de référence dont la direction pourra être utilisée dans le plan méridien du lieu, on pourra déterminer la durée d'une révolution en mesurant le temps qui s'écoule entre deux passages successifs de notre méridien par le point de repère.

Cela nous permet de résoudre immédiatement notre problème, soit la mesure de l'angle compris entre deux méridiens. A cet effet, nous installons dans chaque plan méridien un dispositif de visée; nous choisissons un point de repère dans l'espace et notons soigneusement l'heure à laquelle chacun des deux méridiens passe par le point choisi. La différence des heures de passage nous permettra de calculer l'angle des deux méridiens par la proportion suivante:

$$\frac{\text{durée d'une révolution complète}}{\text{différence des heures de passage}} = \frac{360^\circ}{\text{angle des méridiens.}}$$

Généralement, les stations sont si éloignées l'une de l'autre qu'il est impossible de déterminer les heures de passage au moyen *d'une seule* montre; chaque station doit donc posséder la sienne. Ces deux montres doivent être comparées l'une avec l'autre. Cette comparaison se fait par l'envoi de signaux dont la réception aux deux stations, à un même instant déterminé, permet de connaître l'état respectif des deux montres.

Hipparque (190—125 av. J.-C.) avait déjà trouvé cette solution du problème; et dans l'antiquité, on utilisa comme appareil de visée le dioptré qu'il avait inventé. A cette époque, les montres étaient inconnues. On déduisait l'heure de la position des étoiles fixes sur la voûte céleste. Comme signaux pour déterminer un moment précis, on ne pouvait utiliser que les phénomènes astronomiques visibles des deux stations: éclipses, occultations d'étoiles, mouvement de la lune, etc.

Il va de soi que les résultats de tels travaux, par suite du manque de précision des appareils et des tableaux de positions utilisés à cette époque, étaient forcément très inexacts.

L'invention du télescope et sa conséquence immédiate, la découverte des satellites de Jupiter, dont les nombreuses éclipses constituent de fréquents et excellents signaux, ont grandement facilité l'étude du problème des différences de longitude.

Au cours des années 1671 à 1672, à l'occasion du voyage qu'il entreprit de France à Uranienburg, l'observatoire de Tycho-Brahé construit sur l'île de Hven dans le détroit du Sund, Picard détermina des différences de longitude en se servant pour la première fois de signaux lumineux pour la comparaison des montres. Les observations y gagnèrent encore en précision. Cette méthode a l'inconvénient de restreindre le choix des stations, car il faut que les signaux terrestres puissent être aperçus des deux postes. La méthode de comparaison des montres à l'aide de signaux optiques fut employée par la suite jusqu'au milieu du 19<sup>e</sup> siècle.

Aux environs de 1845, Walker et Gillis, les premiers,

gesehen werden können. Die Uhrvergleichung mit Hilfe optischer Signale wurde in der Folge bis ungefähr Mitte des 19. Jahrhunderts angewandt.

Um 1845 führten Walker und Gillis als erste die Uhrvergleichung auf elektrischem Wege durch. Die so beobachteten Längendifferenzen waren bedeutend genauer als die früheren. Die Methode erlaubte auch, Längendifferenzen auf sehr grosse Entfernungen zu beobachten; sie hat aber den Nachteil, dass die beiden Stationen durch einen Draht miteinander verbunden sein müssen.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts befreite uns die Einführung der drahtlosen Telegraphie auch von diesem Hindernis; die Uhren der beiden Stationen werden mit Hilfe von drahtlosen Zeichen, die von gewissen Grossendstationen eigens zu dem Zwecke regelmässig gegeben werden, miteinander verglichen. So ist man bezüglich Wahl der Stationen an keine äusseren Bedingungen mehr gebunden; Längendifferenzen können auf beliebige Distanzen und in allen Gegenden der Erde (auf Forschungsreisen usw.) bestimmt werden.

Die Möglichkeit der Anwendung der drahtlosen Telegraphie für Längenbestimmungen sowie andere Bedürfnisse wissenschaftlicher und verkehrstechnischer Natur führten im Jahre 1912 zur Gründung des Bureau international de l'Heure, das sich mit der Aussendung und Beobachtung von Zeitsignalen, der astronomischen Zeitbestimmung, mit der Erhaltung der Zeit durch einen modernst eingerichteten Uhrendienst und der Bearbeitung aller den Fragenkomplex berührenden Probleme befasst.

Nach diesen historischen Notizen wollen wir auf den technischen Teil des Problems der Längendifferenzen näher eintreten.

Als Zielmarke im Weltraum denken wir zunächst an die Sonne. Sie wird für gewisse Arbeiten der geographischen Ortsbestimmung auch häufig als solche verwendet. Für Bestimmungen erster Ordnung, wo man die höchstmögliche Genauigkeit herausbekommen will, ist sie aber nicht geeignet. Zunächst ist die Sonne als Zielmarke viel zu gross. Dann ist die Luft am Tage meistens so unruhig, dass die Zielgenauigkeit herabgemindert wird. Die beiden Nachteile verschwinden für die Fixsterne als Zielmarken. Durch ihre grosse Zahl und Verteilung über das Firmament erlangen sie noch weitere Vorteile gegenüber der Sonne. Soll eine Grösse bestimmt werden, so erhält man sie genauer, wenn man sie mehrmals misst und die Messungen mittelt, als wenn sie nur einmal beobachtet wird. Da wir aber während einer Nacht mehrere Fixsterne als Zielmarken benützen können, erhalten wir in einer Nacht auch mehrere Beobachtungen der Längendifferenz. Würden wir die Sonne als Zielmarke benützen, so bekämen wir pro Tag nur einen Wert der Längendifferenz.

Die Sonne hat als Zielmarke gegenüber den Fixsternen noch einen weiteren Nachteil. Von der Erde aus gesehen verändert sie ständig ihren Ort im Weltraum; sie ändert ihre Stellung sogar merklich während der Zeit, die verstreicht zwischen den Durch-

introduisirent la comparaison des montres au moyen de signaux électriques. Les différences de longitude purent dès lors être observées avec beaucoup plus d'exactitude que précédemment. Cette méthode permettait de mesurer la différence de longitude entre deux points très distants l'un de l'autre, mais elle exigeait que les deux stations fussent reliées entre elles par un fil, ce qui n'était pas sans offrir quelques inconvénients.

L'introduction de la télégraphie sans fil, au commencement du 20<sup>e</sup> siècle, eut pour effet de supprimer ce dernier obstacle; les montres des deux stations sont comparées maintenant au moyen des signaux radiotélégraphiques donnés spécialement à cet effet par certains postes émetteurs très puissants. Ainsi, le choix des stations n'est plus limité par aucune condition extérieure; les différences de longitude peuvent être déterminées quelles que soient les distances et quelle que soit la région où l'on se trouve (voyage d'exploration, etc.).

Le fait que la T. S. F. pouvait désormais servir à déterminer les longitudes et qu'elle était appelée à rendre d'autres services de nature scientifique et technique conduisit, en 1912, à la création du Bureau international de l'heure, qui s'occupe de la transmission et de l'observation des signaux horaires, de la détermination de l'heure astronomique, de la conservation de l'heure au moyen d'un service de pendules organisé de la façon la plus moderne, enfin de l'examen de tous les problèmes qui touchent à cette question complexe.

Après ces quelques notices historiques, nous allons étudier de plus près le côté technique du problème des différences de longitude.

Notre première idée est de choisir comme point de repère dans l'espace le soleil. Il est en effet très employé comme tel dans certains travaux pour déterminer la position géographique d'un lieu. Mais il ne convient pas pour les déterminations de premier ordre, pour lesquelles on recherche la plus grande précision possible. Il est d'abord beaucoup trop grand pour servir de point de repère. D'autre part, l'air est généralement si agité pendant la journée que la précision du pointage en souffre. Ces deux inconvénients disparaissent si l'on choisit les étoiles fixes comme points de repère. Grâce au fait qu'elles sont en nombre considérable et réparties sur tout le firmament, elles offrent, comparativement au soleil, de très grands avantages. Lorsqu'il s'agit de déterminer une grandeur quelconque, on obtient un résultat beaucoup plus précis si on la mesure plusieurs fois pour prendre ensuite la moyenne de ces mesures, que si l'on se contente d'une seule observation. Comme nous avons la possibilité d'utiliser pendant une même nuit plusieurs étoiles comme points de repère, nous obtenons aussi plusieurs observations d'une différence de longitude; si nous prenions le soleil comme repère, nous n'obtiendrions par jour qu'une seule valeur pour une différence de longitude.

Le soleil choisi comme repère présente encore un autre inconvénient par rapport aux étoiles. Vu de la terre, il se déplace assez rapidement dans l'espace pour que sa position parmi les étoiles soit modifiée très sensiblement pendant le temps qui s'écoule entre les passages des deux méridiens de Zurich et

gängen durch die beiden Meridiane von z. B. Zürich und Genf. Nun kann man diese Veränderung rechnerisch berücksichtigen. Die hierzu notwendige Arbeit ist aber nicht unbeträchtlich, namentlich, weil die Bewegung der Sonne am Firmament nicht gleichförmig ist. Wohl bewegen sich die „Fixsterne“ auch; aber ihre Bewegungen sind, verglichen mit denjenigen der Sonne, sehr klein. Sie sind rechnerisch viel einfacher zu berücksichtigen als diejenigen der Sonne und fallen für nicht gar zu grosse Längendifferenzen gar nicht in Betracht.

Die Bewegung der Sonne am Firmament hat ihre Ursache im jährlichen Umlauf (Revolution) der Erde um die Sonne. Die Erde durchläuft während eines Jahres eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn ist variabel und hängt von ihrer Entfernung von der Sonne ab. Die Achse der Erde bleibt während des Umlaufes nahezu nach dem gleichen Punkte des Weltraumes, dem Himmelspol, gerichtet. Diese Richtung steht schief zur Ebene der Erdbahn. Die veränderliche Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn und die Schiefe der Erdachse zur Erdbahnebene sind die wesentlichen Ursachen, warum das Intervall zwischen den Meridiandurchgängen der Sonne nicht konstant ist.

Unser Zeitmaßstab ist abgeleitet aus dem scheinbaren täglichen Umlauf der Sonne um die Erde. Da dieser aber, wie wir soeben ausführten, unregelmässig ist, können wir ihn nicht direkt als Zeitmass benutzen; denn wir können nicht Uhren bauen, die einen gesetzmässig ungleichförmigen Gang haben, so, dass er mit den Unregelmässigkeiten des Sonnenumlauftes übereinstimmt. Daher machen wir die vereinfachenden Annahmen, die Erdbahn sei statt einer Ellipse ein Kreis, in dessen Mittelpunkt die Sonne steht, ihre Geschwindigkeit sei konstant, die Erdachse stehe senkrecht zur Kreisebene und die Dauer des Umlaufes im Kreis sei gleich derjenigen in der Ellipse. Die Sonne würde unter diesen Annahmen am Aequator ständig senkrecht scheinen, die Tage wären genau gleich lang und es gäbe keinen Wechsel der Jahreszeiten. Diese fingierte „mittlere“ Sonne gibt uns nun ein brauchbares Mass für die Zeiteinteilung. Die mittlere und die wahre Sonne weichen im Laufe des Jahres bis zu rund  $\pm 15$  Minuten voneinander ab.

Wir können die Dauer einer Umdrehung der Erde in mittlerer Zeit berechnen. Denken wir uns die Erdbahn aufgezeichnet und den Nordpol der Erde uns zugekehrt. Dann läuft die Erde im Gegenurzeigersinn um die Sonne. Die tägliche Umdrehung geschieht ebenfalls im Gegenurzeigersinn. Man ersieht sofort, dass die Erde, wenn sie während eines Umlaufes um die Sonne, also während nahezu eines Jahres, derselben 365mal jeden Punkt des Aequators zeigt, während in der gleichen Zeit dieser Punkt von einem in der Bahnebene gelegenen weit ausserhalb der Bahn sich befindenden Standpunkt 366mal gesehen wird. Wir haben also als Dauer einer vollständigen Umdrehung der Erde oder eines Sterntages nahezu  $\frac{365}{366}$  Sonnentage. Der Sterntag ist somit

kürzer als der Sonnentag, und zwar um rund 3 Min. 56 Sek. Wir haben es in der Hand, eine Uhr zu bauen,

de Genève par exemple. On peut naturellement tenir compte de ces modifications en procédant à certains calculs; mais ceux-ci exigent un travail assez considérable du fait surtout que le déplacement du soleil au firmament n'est pas régulier. Il est vrai que les étoiles dites fixes se meuvent aussi; mais leurs mouvements comparés à celui du soleil sont insignifiants; il est beaucoup plus facile d'en tenir compte dans les calculs, et on peut les négliger entièrement lorsque les différences de longitude à observer ne sont pas trop grandes.

Le déplacement apparent du soleil au firmament est dû à la révolution annuelle de la terre autour du soleil. La terre parcourt, en une année, une orbite de forme elliptique, dont le soleil occupe un des foyers. La vitesse de la terre sur sa trajectoire est variable et dépend de sa distance au soleil. Pendant la révolution, l'axe de la terre reste dirigé à peu près vers le même point de l'espace, le pôle du monde. Cette direction est inclinée sur le plan de l'orbite. La vitesse variable de la terre sur sa trajectoire et l'inclinaison de son axe sur le plan de l'orbite sont les raisons essentielles pour lesquelles le mouvement du soleil au firmament est irrégulier.

Le mouvement diurne apparent du soleil autour de la terre a déterminé le choix de notre unité de temps. Mais ce mouvement étant irrégulier, il ne peut pas être pris lui-même comme unité de temps car nous ne pouvons pas construire de montres ayant une marche irrégulière et dont les irrégularités correspondent précisément aux irrégularités du mouvement du soleil. C'est pourquoi on fait l'hypothèse simplificatrice que l'orbite de la terre, au lieu d'être une ellipse, soit une circonférence de cercle dont le soleil occupe le centre; que sa vitesse soit constante; que l'axe de la terre soit perpendiculaire au plan du cercle et que la révolution sur cette circonférence fictive ait la même durée que la révolution sur l'ellipse réelle. Dans cette hypothèse, le soleil passerait chaque jour au zénith de tous les observateurs équatoriaux, les jours auraient tous exactement la même durée et il n'y aurait pas de saisons. Ce soleil fictif, appelé soleil moyen, nous donne une unité convenable de mesure de temps. Le soleil moyen est tantôt en avance, tantôt en retard sur le soleil vrai; cette différence varie, au cours de l'année, entre 0 et  $\pm 15$  minutes en nombre rond.

Nous pouvons facilement calculer en temps moyen la durée d'une révolution de la terre. Représentons-nous l'orbite de la terre avec le pôle nord de la terre tourné vers nous. La terre se déplace alors sur l'orbite dans le sens opposé à celui des aiguilles de la montre. Sa rotation quotidienne s'effectue également dans le même sens. On se rend compte immédiatement que pendant la révolution de la terre autour du soleil, c'est-à-dire au cours d'une année environ, un observateur solaire verra 365 fois un point quelconque de l'équateur terrestre; mais que, pendant le même temps, un observateur placé dans le plan de l'orbite, très loin à l'extérieur, verra le même point 366 fois. La durée d'une rotation complète de la terre ou d'un jour sidéral est donc égale à environ  $\frac{365}{366}$  jour solaire.

Le jour sidéral est ainsi plus court que le jour solaire d'environ 3 minutes 56 secondes. Rien ne nous

die so läuft, dass sie die für eine ganze Umdrehung benötigte Zeit in einer runden Zahl misst, also z. B. in 24 Stunden. Es entsprechen dann 24 Stunden der Sternzeituhr einer Drehung um  $360^\circ$ . Die Umrechnung von Zeitmass in Winkelmass ist einfach: 1 Stunde =  $15^\circ$ , 1 Min. =  $15'$ , 1 Sek. =  $15''$ .

Die Meridiane, deren Längenunterschiede wir bestimmen wollen, liegen aber, wie bereits bemerkt wurde, meist so weit auseinander, dass wir mit *einer* Uhr nicht auskommen. Wir müssen auf beiden Stationen je eine Uhr haben, an welcher wir die Durchgänge ablesen. Da diese Uhren aber nie für denselben Augenblick genau die gleiche Zeit angeben und nie genau gleich rasch laufen, müssen wir sie im Laufe eines Beobachtungsabends mindestens einmal nach irgendeinem Verfahren miteinander vergleichen.

Die instrumentelle Ausrüstung einer Station besteht also im wesentlichen aus einer Uhr, einer Zielvorrichtung und der elektrischen Installation zur Uhrvergleichung. Beide Stationen müssen so genau als möglich gleich ausgerüstet sein.

Als Beobachtungsuhr dienen für Arbeiten hoher Genauigkeit Pendeluhren. Damit ihr Gang möglichst gleichmässig sei, sollten sie vor Temperatur- und Luftdruckänderungen geschützt sein. Wo man ganz besonderen Wert auf sichere Erhaltung der Zeit legt, sind die Uhren in thermokonstanten, erschütterungsfreien Räumen in hermetisch abgeschlossenen Zylindern aufgestellt. Solche Uhren standen uns in Paris und Mailand zur Verfügung. Die Sekunden der Uhr werden auf elektrischem Wege mittels eines Chronographen auf einen Telegraphenstreifen als Punkte gestochen. Der Abstand der Sekundenpunkte beträgt ungefähr 1 cm. Diese Punktreihen dienen als Skala für die Zeichen, die bei der Durchgangsbeobachtung und der Uhrvergleichung gegeben werden.

Als Zielvorrichtung dient das sog. Durchgangsinstrument. Es ist im Prinzip ein Fernrohr mit Ziellinie, mit welcher jeder Punkt des Meridians über dem Horizont anvisiert werden kann. Das Fernrohr muss also um eine horizontale Achse gekippt werden können. Die horizontale Lage der Kippachse wird mit Hilfe einer guten Libelle hergestellt. Die Libelle ist so empfindlich, dass mit ihrer Hilfe eine Neigung von  $\frac{1}{10}''$  oder 0,007 Sek. noch festgestellt werden kann. Selbstverständlich sollte die Ziellinie des Fernrohres zur Kippachse senkrecht stehen. Das wird nie der Fall sein. Man muss die Abweichung der effektiven Stellung der Ziellinie von der Sollstellung (die Kollimation) entweder bestimmen und rechnerisch berücksichtigen oder die Beobachtungen so anordnen, dass der Fehleinfluss sich im Schlussresultat aufhebt. Letztere Methode ist die billigere und genauere und wird heute fast überall angewandt.

Mit einem solchen Instrument sind wir imstande, Zielungen in einer vertikalen Ebene auszuführen oder aus den Abweichungen von den Bedingungen (Neigung der Kippachse, Ziellinienschiefe) die ausgeführten Zielungen rechnerisch so zu verbessern, als ob sie in einer vertikalen Ebene ausgeführt worden wären. Wir müssen aber unsere Zielungen in einer

empêche de construire une montre marchant de telle façon qu'elle exprime par un chiffre rond, par exemple 24 heures, le temps nécessaire à une rotation complète. 24 heures sidérales correspondent donc à une rotation de  $360^\circ$ . La mesure de temps peut être facilement convertie en mesure angulaire, ce qui nous donne: 1 heure =  $15^\circ$ , 1 min. =  $15'$ , 1 sec. =  $15''$ .

Mais, comme nous l'avons déjà fait remarquer, les méridiens dont nous devons mesurer la différence de longitude sont généralement si éloignés l'un de l'autre qu'une seule montre ne suffit pas. Nous devons avoir dans chaque station une montre nous permettant de lire l'heure des passages. Mais comme ces montres n'indiquent jamais exactement la même heure au même instant, et n'ont jamais exactement la même marche, il est nécessaire de les comparer l'une à l'autre, par un moyen quelconque, au moins une fois au cours d'une soirée d'observations.

L'équipement d'une station se compose donc essentiellement d'une montre, d'un dispositif de visée et de l'installation électrique servant à la comparaison des montres. Les deux stations doivent, autant que possible, être équipées de la même manière.

Pour les observations exigeant une grande précision, on fait usage de pendules. Afin que leur marche reste aussi régulière que possible, elles doivent être protégées contre les variations de température et les changements de pression atmosphérique. Lorsqu'on attache une importance toute particulière à la conservation de l'heure exacte, on place les pendules dans des cylindres hermétiquement clos, qu'on installe dans des locaux à température constante et à l'abri de toute secousse. Des pendules de ce genre furent mises à notre disposition à Paris et à Milan. Les battements des secondes de la pendule garde-temps sont transmis électriquement à un chronographe, qui les imprime en points sur un ruban de papier. La distance entre ces points est d'environ 1 cm. Ces séries de points servent d'échelle pour les signaux qui sont transmis lors des observations de passages ou des comparaisons de montres.

L'appareil de visée utilisé se nomme instrument des passages. C'est en principe une lunette dont l'axe optique permet de viser tous les points du méridien situés au-dessus de l'horizon. Cette lunette doit donc pouvoir basculer autour d'un axe de rotation horizontal. La position horizontale de l'axe de rotation est contrôlée à l'aide d'un bon niveau d'eau. Le niveau doit être assez sensible pour permettre de constater une dénivellation de  $\frac{1}{10}''$  ou 0,007 sec. Naturellement, l'axe optique de la lunette devrait être perpendiculaire à l'axe de rotation. Ce n'est cependant jamais le cas. On doit donc, ou bien déterminer l'erreur de collimation, c'est-à-dire l'écart existant entre la position effective de l'axe optique et la position qu'il devrait occuper, et en tenir compte dans les calculs, ou bien disposer les observations de telle manière que l'influence de cette erreur s'annule dans le résultat final. Cette dernière méthode, meilleur marché et plus exacte, est, aujourd'hui, presque partout employée.

Un tel instrument des passages nous met en mesure de faire des observations dans un plan vertical ou du moins, en tenant compte des écarts instrumen-

ganz bestimmten vertikalen Ebene, dem Meridian, ausführen. Durch Anvisierung von polnahen Sternen gelingt es, das Instrument angenähert in den Meridian zu stellen. Während eines Beobachtungsabends wird die Stellung des Instrumentes zum Meridian mehrmals durch Anvisieren solcher polnaher Sterne geprüft. Die gefundenen Abweichungen oder das Azimut des Instrumentes werden rechnerisch ausgewertet und die beobachteten Durchgänge so verbessert, als ob sie wirklich im Meridian beobachtet worden wären.

Ueber die Beobachtung des Augenblicks, wo der Stern die Ziellinie passiert, ist noch einiges zu sagen. Die einfachste Ausführung einer Zielvorrichtung ist ein im Gesichtsfeld des Fernrohrs gespannter Faden, der so steht, dass er bei genauer Aufstellung des Instrumentes den Meridian darstellt. Der Moment, wo der Stern durch den Faden geht, wird durch Schliessung eines Stromkreises, der einen zweiten Anker des Chronographen betätigt, auf den laufenden Telegraphenstreifen „getoppt“. Der Nadelstich auf dem Streifen wird zwischen diejenigen der Sekundenschläge eingemessen. Spannen wir mehrere parallele Fäden, die paarweise symmetrisch zum Meridianfaden liegen, so stellt das Mittel der Durchgänge durch je 2 symmetrische Fäden einen Durchgang durch den Mittelfaden dar. Wir bekommen so während eines Durchganges eines Sternes durch das Gesichtsfeld des Fernrohrs mehrere Beobachtungen für den Durchgang durch den Meridian. Die einzelnen Beobachtungen sind natürlich nicht exakt; einmal toppt man zu früh, einmal zu spät, das Mittel aller Beobachtungen wird aber dem wahren Durchgang näher liegen als die Beobachtung nur eines Durchganges.

Ausser den zufälligen Fehlern passieren auch einseitig wirkende, sog. systematische Fehler. Nicht alle Beobachter fassen den Durchgang gleich auf und reagieren mit dem „Toppen“ gleich rasch. Je nach der „Länge der Leitung“ wird der eine Beobachter früher oder später toppen als der andere. Diese Verspätung nennt man den persönlichen Fehler des Beobachters. Es gibt Verfahren, den persönlichen Fehler zu bestimmen, und wir können die Durchgangsbeobachtung nachträglich verbessern. Leider aber ist der persönliche Fehler für ein und denselben Beobachter nicht konstant; er hängt von verschiedenen Einflüssen ab, am meisten vom Ermüdungsgrad des Beobachters. Durch die Einführung des sog. „unpersönlichen Mikrometers“ versuchte man den persönlichen Fehler zu vermeiden. Im Gesichtsfeld des Fernrohres ist ein zum Meridianfaden paralleler beweglicher Faden angeordnet. An diesen lässt man den durchgehenden Stern herantreten und bewegt mittels eines Getriebes dann den Faden so, dass er ständig den durchgehenden Stern deckt. Mit der Schraube, die den Faden bewegt, ist eine Trommel aus Achat verbunden, auf welcher ein Stromabnehmer sitzt. Die Trommel hat in regelmässigen Abständen eingelassene Metallstreifen, die, sobald sie den Stromabnehmer passieren, den Stromkreis des zweiten Chronographenankers schliessen und einen Punkt auf den Telegraphenstreifen setzen. Die Metallstreifen sind so angeordnet, dass

taux (dénivellation de l'axe de rotation, déviation de l'axe optique), d'améliorer par calcul ces observations et d'obtenir le même résultat que si les observations avaient été faites dans un plan vertical. Mais le plan vertical, dans lequel nous devons opérer, est un plan vertical bien déterminé, le plan méridien. On placera la lunette, d'une façon aussi approchée que possible, dans le plan méridien, en visant des étoiles circumpolaires. Au cours d'une soirée d'observations, on contrôle à plusieurs reprises la position de la lunette par rapport au méridien en visant un certain nombre de ces étoiles circumpolaires. La déviation constatée, qu'on nomme l'azimut de l'instrument, est évaluée par calcul; et en tenant compte de cet écart, on peut améliorer les passages observés et arriver au même résultat qu'on aurait obtenu en faisant effectivement les observations dans le plan méridien.

Nous ajouterons quelques mots sur la manière d'observer l'instant précis où l'étoile passe la ligne de visée. Le dispositif le plus simple d'un appareil de visée consiste en un fil tendu dans le champ de la lunette et placé de telle façon qu'il indique exactement le méridien lorsque l'instrument est convenablement mis en place. Au moment où l'étoile passe derrière le fil, on ferme un circuit électrique, la seconde pointe du chronographe est attirée et imprime un point sur le ruban de papier. On mesure ensuite la distance entre ce point et les points voisins marqués par les battements des secondes. Si l'on tend encore plusieurs fils parallèles au premier et placés deux à deux symétriquement par rapport à celui-ci, la moyenne des passages observés à 2 fils équidistants du centre équivaut à un passage au fil vertical moyen. Pendant le passage d'un astre dans le champ de la lunette, nous obtenons ainsi plusieurs observations pour le passage au méridien. Les observations isolées ne sont pas rigoureuses, cela va sans dire; car, pour fermer le circuit, on donne le top soit trop tôt, soit trop tard; mais il est évident que la moyenne de toutes les observations donne un résultat plus rapproché de la réalité que celui obtenu par une seule observation.

Indépendamment des erreurs accidentelles, il se produit encore d'autres erreurs, dont l'influence agit toujours dans le même sens et qu'on nomme des erreurs systématiques. Ainsi, tous les observateurs ne jugent pas également l'instant du passage, et tous ne réagissent pas avec la même rapidité pour donner le top. Suivant la durée du passage d'une étoile derrière un fil, un observateur donnera le top plus tôt ou plus tard qu'un autre. Cette erreur se nomme l'erreur personnelle des observateurs. Il existe des procédés permettant de déterminer l'erreur personnelle et d'améliorer en conséquence les observations de passages. Mais l'erreur personnelle d'un seul et même observateur n'est malheureusement pas constante; elle dépend de différentes influences, surtout du degré de fatigue de l'observateur. On a cherché à diminuer le rôle de l'erreur personnelle en introduisant le micromètre impersonnel, qui comporte un fil mobile tendu parallèlement au fil du méridien. Lorsque l'étoile qui traverse le champ de la lunette arrive à ce fil mobile, on entraîne celui-ci par un système d'engrenages, de telle sorte qu'il bissecte ou cache constamment l'image stellaire. La vis

ihre Kontakte den Durchgängen durch die vorhin beschriebenen parallelen Fäden im Gesichtsfeld entsprechen. Das Toppen der Durchgänge mit der Hand fällt somit weg. Leider ist es nicht gelungen, mit dem unpersönlichen Mikrometer den persönlichen Fehler ganz zu beseitigen. Immerhin wird er stark reduziert und schwankt auch viel weniger.

Für unsere Beobachtungen wählen wir Fixsterne der Grössenklassen 4 bis 6. Das sind Sterne, die an der Grenze des Sichtbaren für das unbewaffnete Auge liegen. Im 86fach vergrößernden Fernrohr erscheinen sie als gut sichtbare, jedoch nicht stark glänzende Lichtpunkte, die sehr scharf anvisiert werden können. Wir wählen sie so aus, dass sie nicht mehr als  $10^\circ$  südlich und nördlich des Zeniths vorbeigehen.

Die Zahl der pro Abend beobachteten Sterne hat im Laufe der Jahre starke Schwankungen durchgemacht. Wenn nur zufällige Fehler auftreten, nimmt nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz die Genauigkeit des Abendmittels proportional der Quadratwurzel aus der Zahl der beobachteten Sterne zu. Das wird wohl der Grund gewesen sein, warum man in den ersten 10 Jahren oft soviel Sterne als möglich beobachtete, bis zu 47 pro Abend. Später erkannte man, dass es keinen Sinn hat, die Zahl der Sterne zu hoch zu nehmen, weil neben den zufälligen Fehlern auch noch systematische auftreten. Man reduzierte die Zahl der Sterne und strebte mehr darnach, an allen Abenden ungefähr gleichviele zu beobachten. 1872—77 wurden durchschnittlich 8 Sterne beobachtet. Nachdem um die Wende des Jahrhunderts in der Schwachstromtechnik und im Instrumentenbau bedeutende Fortschritte ausgenutzt wurden, neigte man wieder eher zu einer Erhöhung der Zahl der Sterne. Das Programm ab 1912 sah 18 Sterne pro Abend vor. Infolge ungünstigen Wetters und anderer Hindernisse konnte es natürlich nicht immer eingehalten werden. Eine fehlertheoretische Untersuchung des gesamten Beobachtungsmaterials hat aber ergeben, dass diese Zahl doch zu hoch ist. Es scheint, dass etwa 10 bis 12 Sterne pro Abend die Grenze sind, von welcher an eine Genauigkeitssteigerung praktisch nicht mehr möglich ist und die wirtschaftlich noch verantwortet werden kann.

Die Vergleichung der Uhren beruht auf dem Prinzip, den Augenblick eines gegebenen Zeichens an beiden Uhren abzulesen. Die Differenz der Ablesungen ist die gesuchte Uhrdifferenz.

Die elektrische Einrichtung, die zur Uhrvergleichung dient, hat im Laufe der Jahre öfters Veränderungen durchgemacht. Im folgenden soll je eine für telegraphische und drahtlose Uhrvergleichung verwendete Anlage besprochen werden.

Die telegraphischen Verbindungen waren früher häufigen Störungen unterworfen, weil die Erde als Rückleitung diente. Bei sehr trockenem Wetter war die Erdung, bei feuchtem die Isolation oft ungenügend, so dass 120 in Serie geschaltete Elemente kaum genügten, einen Relais-Anker zu bewegen, geschweige denn einen Chronographenanker zur Regi-

servant à entraîner le fil est reliée à un cylindre d'agate, sur lequel repose une prise de courant. Sur ce cylindre sont placées, à intervalles réguliers, des lames métalliques ou ponts; chaque fois que ces ponts entrent en contact avec la prise de courant, ils ferment le circuit de la deuxième pointe du chronographe et un point s'imprime sur le ruban de papier. Les lames métalliques sont disposées de telle façon que les contacts qu'elles établissent correspondent aux passages successifs derrière les fils parallèles du champ de la lunette, et dont il a été question plus haut. Il n'est donc plus nécessaire de donner à la main le top des passages des étoiles. On n'est malheureusement pas encore parvenu à éliminer entièrement l'erreur personnelle avec le micromètre impersonnel; mais on a cependant réussi à la réduire sensiblement et à la rendre beaucoup moins variable.

Pour faire nos observations, nous choisissons des étoiles de la 4<sup>e</sup> à la 6<sup>e</sup> grandeur. Ce sont des étoiles qui sont à la limite de visibilité à l'œil nu. Dans une lunette grossissant 86 fois, elles donnent des images bien visibles, pas très brillantes, et pouvant être visées avec précision. Nous les choisissons parmi celles qui ne passent pas à plus de  $10^\circ$  au nord et au sud du zénith.

Suivant les époques, le nombre des étoiles observées en une seule soirée a beaucoup varié. S'il ne se produit que des erreurs accidentelles, l'exactitude du résultat moyen des observations d'un soir augmentera, d'après la loi de progression des erreurs, proportionnellement à la racine carrée du nombre d'étoiles observées. C'est probablement la raison pour laquelle pendant les 10 premières années, on s'efforça souvent d'observer le plus grand nombre possible d'étoiles, jusqu'à 47 par soir. On reconnut plus tard que c'était un non-sens de choisir un nombre d'étoiles aussi considérable, car aux erreurs accidentelles venaient s'ajouter les erreurs systématiques. On réduisit le nombre des étoiles et on s'attacha davantage à en observer autant que possible le même nombre chaque soir. De 1872 à 1877, on observa en moyenne 8 étoiles. De grands progrès ayant été accomplis vers la fin du siècle dernier et au commencement de ce siècle dans la technique des courants à basse tension et dans la construction des instruments, on inclina de nouveau à observer un plus grand nombre d'étoiles. Le programme de 1912 en prévoyait 18 par soir. Par suite du mauvais temps et pour d'autres raisons, il ne fut naturellement pas possible de s'en tenir toujours exactement à ce nombre. Une étude théorique des erreurs du matériel total d'observation a démontré que ce nombre était cependant trop élevé. Il semble qu'en observant 10 à 12 étoiles par soir, on atteint un nombre limite, au delà duquel il n'est pratiquement pas possible d'augmenter l'exactitude du résultat et de garantir l'utilité du travail.

La comparaison des montres repose en principe sur la lecture aux deux montres de l'heure à laquelle un signal est transmis. La différence entre ces deux lectures donne la différence d'état des deux montres.

Les installations électriques servant à la comparaison des montres ont, au cours des années, subi de fréquentes modifications. Nous allons décrire, ci-après, une installation télégraphique et une installa-

strierung von Signalen. Es mussten bis 180 Elemente verwendet werden. Später ist man davon abgekommen, den Chronographen direkt zu betätigen, weil durch die Veränderlichkeit der Linienstromstärke die Reaktionszeiten des Chronographenankers stark variierten. Damit die Stromstärke der Chronographen konstant sei, wurde ein Lokalkreis durch ein Relais geschlossen. Die Relais sind auf Variationen des Linienstromes weniger empfindlich als Chronographen.

Seit 1912 standen uns Schleifen zur Verfügung, wodurch die Betriebssicherheit bedeutend erhöht und die Spannung der Linienbatterien vermindert wurde.

Ueber die Reaktionszeiten und Verspätungen elektromagnetisch arbeitender Apparate haben wir besondere Untersuchungen angestellt, um uns gegen die in den Bewegungen liegenden Fehlerquellen zu schützen. Mit Hilfe eines Oscillographen konnten die Reaktionsverhältnisse des Ankers von zwei Relais untersucht werden. Von besonderem Interesse war der Einfluss der Primärstromstärke auf die Reaktionszeit. Es ergab sich, dass für beide Relais von 4 mA an die Reaktionszeit unter 0,01 Sek. blieb. Von 6 mA an war eine Veränderung der Reaktionszeit bei Erhöhung der Stromstärke praktisch nicht mehr eingetreten. Die Reaktionszeit betrug beim einen Relais rund 0,003 Sek., beim andern 0,006 Sek. Für die Beobachtungen trachteten wir stets danach, die Primärstromstärke mindestens auf 7—8 mA zu halten. Weitere Versuche ergaben, dass ein ständig fließender Strom im Primärkreis, der aber allein den Anker nicht zu bewegen vermag, die Reaktionszeit abkürzt.

Die Reaktionszeit des Chronographenankers ist bedeutend grösser, wegen der grösseren zu bewegendenden Masse und den grösseren Wegen. Sie beträgt rd. 0,050 Sek. Schwankungen des Stromes kommen nicht vor, solange die Stromquellen in Ordnung sind. Wie gefährlich aber erschöpfte Stromquellen werden können, zeigt folgender Versuch über die Verspätungen bei Spannungsabfall. Die unbelastete Klemmenspannung betrug 4,35 Volt.

Klemmenspannung bei Belastung	Spannungsabfall	Verspätung
4,35 Volt	0,00 Volt	0,000 Sek.
3,99 „	0,36 „	0,000 „
3,60 „	0,75 „	0,004 „
3,22 „	1,13 „	0,010 „
2,80 „	1,55 „	0,032 „
2,60 „	1,75 „	0,102 „

Wenn keine merklichen Verspätungen eintreten sollten, durfte der Spannungsabfall bei Belastung nicht grösser sein als 0,5 Volt.

Fig. 1 gibt die elektrische Einrichtung wieder, wie sie in den Jahren 1919—1923 verwendet wurde. Beide Stationen sind genau gleich gebaut. Im Schaltschema ist von der Oststation nur der Apparatentisch gezeichnet. Die Verbindung der Stationen

tion radiotélégraphique utilisées pour la comparaison des montres.

Les liaisons télégraphiques étaient autrefois sujettes à de nombreuses perturbations, parce que la terre servait de conducteur de retour. Par temps sec, la mise à la terre était souvent insuffisante, tandis que par temps humide c'était l'isolation qui laissait à désirer; si bien que 120 éléments reliés en série donnaient un courant tout juste suffisant pour actionner l'armature d'un relais, mais incapable d'attirer la palette d'un chronographe pour l'impression des signaux. On devait utiliser jusqu'à 180 éléments. Les variations du courant de la ligne ayant pour effet de modifier considérablement les temps de réaction de la palette du chronographe, on dut renoncer à l'actionner directement. Pour assurer le fonctionnement régulier du chronographe par un courant à intensité constante, on l'intercala dans un circuit local fermé par un relais; les relais sont beaucoup moins sensibles que les chronographes aux variations du courant de la ligne.

Depuis 1912, nous avons à notre disposition des lacets qui assurent une exploitation beaucoup plus sûre et permettent d'abaisser la tension du courant de la ligne.

Les temps de réaction et les retards de fonctionnement des appareils électriques ont été, de notre part, l'objet d'une étude spéciale ayant pour but de rechercher les moyens propres à éviter les erreurs dont la source réside dans les mouvements des appareils. On put déterminer, à l'aide d'un oscillographe, les rapports de réaction des armatures des deux relais. On s'intéressa particulièrement à l'influence du courant primaire sur les temps de réaction. Les expériences démontrèrent qu'avec un courant d'au moins 4 mA, le temps de réaction des deux relais restait inférieur à 0,01 seconde. En augmentant ce courant, on constata, qu'à partir de 6 mA, il ne se produisait plus en pratique aucune variation du temps de réaction. Ce temps était d'environ 0,003 seconde pour l'un des relais et de 0,006 seconde pour l'autre. Pendant les observations, on s'efforça de maintenir l'intensité du courant primaire à 7 ou 8 mA au minimum. D'autres expériences prouvèrent qu'un courant circulant constamment dans le circuit primaire, mais trop faible à lui seul pour attirer l'armature, raccourcissait le temps de réaction.

Le temps de réaction d'une palette de chronographe est passablement plus élevé du fait que la masse à mouvoir et le chemin à parcourir sont plus considérables. Il est d'environ 0,050 seconde. Aussi longtemps que les batteries sont en bon état, le courant ne varie généralement pas. Mais dès qu'elles sont épuisées, leur emploi devient dangereux pour nos observations, ainsi que le prouvent les expériences que nous avons faites sur les retards dus aux chutes de tension. Avec une tension aux bornes de 4.35 volts, nous avons obtenu les résultats suivants:

Tension aux bornes suivant la charge	Chute de tension	retard
4.35 volts	0.00 volts	0,000 sec.
3.99 „	0.36 „	0,000 „
3.60 „	0.75 „	0,004 „
3.22 „	1.13 „	0,010 „
2.80 „	1.55 „	0,032 „
2.60 „	1.75 „	0,102 „

durch die Fernleitung darf nur eine direkte metallische sein. Alle Zwischenapparate, die den Durchgang des für die Zeichen angewendeten Gleichstroms verhindern, müssen überbrückt werden. Ebenso dürfen keine elektromagnetisch arbeitenden Apparate eingeschaltet sein, weil die in denselben vorkommenden Zeitverluste nicht kontrollierbar sind. Ob Basis- oder Duplexlinien benützt wurden, war gleichgültig. Befürchtungen wegen induktiver Einwirkungen aus Starkstromleitungen, die mit den Telegraphenlinien parallel verliefen, waren unbegründet.

Die Station wird durch eine an die Fernleitung angebrachte, aus Funkenstrecke, Erdungsplatte, Grob- und Feinsicherung bestehende Blitzschutzvorrichtung gegen elektrische Entladungen geschützt. Der Umschalter  $U_2$  erlaubt die Fernleitung auf das Telephon oder die Signalapparatur zu schalten.

Der Signalwechsel vollzieht sich folgendermassen: Auf beiden Stationen sind der Umschalter  $U_2$  und der dreipolige Umschalter  $U_3$  auf „Signalwechsel“ (Si) gestellt. Auf der einen Station, z. B. der Weststation, ist der Umschalter  $U_1$  auf „Empfang“ (E), auf der anderen auf „Geben“ (G) gestellt. Der so entstehende Stromkreis enthält auf der Weststation eine Batterie, ein Milliampèremeter A, ein Relais R und einen Regulierwiderstand Kw, auf der Oststation ebenfalls Batterie, Ampèremeter, Relais und Widerstand, sowie einen Taster T, mit welchem der Stromkreis geschlossen werden kann. Nachdem der Stromkreis geschlossen ist, wird auf beiden Stationen mit Hilfe der Widerstände Kw die Stromstärke, die das Relais passiert, auf die gewünschte Höhe gebracht. Nun sind die Stationen zum Zeichenwechsel bereit. Mit Hilfe des Tasters gibt die Oststation eine Reihe von Signalen, die auf beiden Chronographen mit der Spitze Si und Mi registriert werden. Sodann gibt die Weststation, nachdem auf beiden Stationen der Schalter  $U_1$  umgelegt worden ist, eine Serie von Zeichen.

Vor jedem Signalwechsel wird von der einen Station aus (im Schema der Weststation) der Widerstand der Fernleitung bestimmt. In der Zeichnung ist die hierzu verwendete Schaltung strichpunktiert eingetragen. Die Schalter  $U_2$  und  $U_3$  der messenden Station sind geöffnet, der Kreis Relais-Ampèremeter-Kurbelwiderstand ist durch den Schalter C unterbrochen. Das Ampèremeter A ist über das Voltmeter Vm mit der Fernleitung verbunden. Diese wird auf der andern Station mit Hilfe des Schalters K kurzgeschlossen. So ist die Messung des Widerstandes der Schleife möglich.

Wie bereits bemerkt, werden die Signale jedesmal von beiden Stationen gegeben. Das ist notwendig wegen der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes. Würde diese wirklich den theoretischen Wert, die Lichtgeschwindigkeit, betragen, so könnte man bei bekannter Länge der Leitung die gefundene Uhrdifferenz um den Betrag der Stromzeit korrigieren. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist aber kleiner als die Lichtgeschwindigkeit und nicht konstant. Die Stromzeit zwischen zwei Stationen sei  $s$ , die Uhrzeit im Augenblick der Signalabgabe auf der Oststation  $U_E$ ,

Si l'on veut obtenir qu'il ne se produise pas de retards sensibles, on ne doit pas laisser tomber la tension de plus de 0,5 volt.

Le schéma N° 1 représente l'installation électrique employée de 1919 à 1923. Les deux stations ont exactement le même équipement; mais le schéma ne reproduit que la table des appareils de la station Est. Il est indispensable que la ligne métallique reliant les deux stations soit une ligne directe. Un pont doit être établi par dessus tous les appareils intermédiaires qui empêchent le passage du courant continu utilisé pour la transmission des signaux. On ne doit pas non plus intercaler sur la ligne des appareils électromagnétiques dont le fonctionnement provoque des pertes de temps incontrôlables. Par contre, on peut utiliser à volonté des lignes de base ou des lignes duplex. On a pu constater que les craintes émises au sujet de l'induction des lignes télégraphiques par des lignes parallèles à courant fort étaient sans fondement.

La station est protégée contre les décharges électriques par un dispositif de protection comprenant un parafoudre, une plaque de terre et des fusibles à forte et à faible intensité. Le commutateur  $U_2$  permet d'intercaler la ligne soit sur le téléphone soit sur les appareils de signalisation.

L'échange de signaux a lieu de la manière suivante: Dans les deux stations, le commutateur  $U_2$  et le commutateur tripolaire  $U_3$  sont placés dans la position „échange de signaux“ (Si). Dans l'une des stations, par exemple la station Ouest, le commutateur  $U_1$  est placé sur „réception“ (E) et dans l'autre sur „transmission“ (G). On forme ainsi un circuit qui comprend à la station Ouest une batterie, un milliampèremètre A, un relais R et une résistance réglable Kw; à la station Est se trouve également une batterie, un milliampèremètre, un relais et une résistance, plus un manipulateur T qui permet de fermer le circuit. Le circuit étant fermé, les deux stations, au moyen des résistances réglables Kw, ramènent à l'intensité voulue le courant passant dans le relais. Les deux stations sont alors prêtes à fonctionner. A l'aide du manipulateur, la station Est donne une série de signaux enregistrés par les deux chronographes au moyen des pointes Si et Mi. Les deux stations intervertissent ensuite la position des commutateurs  $U_1$  et la station Ouest donne à son tour une série de signaux.

Avant chaque échange de signaux, une des stations (dans notre schéma la station Ouest) doit déterminer la résistance de la ligne. Les connexions établies à cet effet sont indiquées sur le schéma par des pointillés. Les commutateurs  $U_2$  et  $U_3$  de la station chargée des mesures sont ouverts et le circuit relais-ampèremètre-résistance réglable est interrompu à l'aide du commutateur C. L'ampèremètre A est relié à la ligne à travers le voltmètre Vm. A l'autre station, la ligne est court-circuitée au moyen du commutateur K. Ces opérations faites, on peut mesurer la résistance du lacet.

Nous avons déjà vu que les deux stations doivent donner des signaux à tour de rôle. Cette nécessité est imposée par le fait que la vitesse de propagation de l'électricité n'est pas infinie. Si elle avait effectivement sa valeur théorique, qui est celle de la vitesse

Schaltschema für telegraphische Längenbestimmungen.

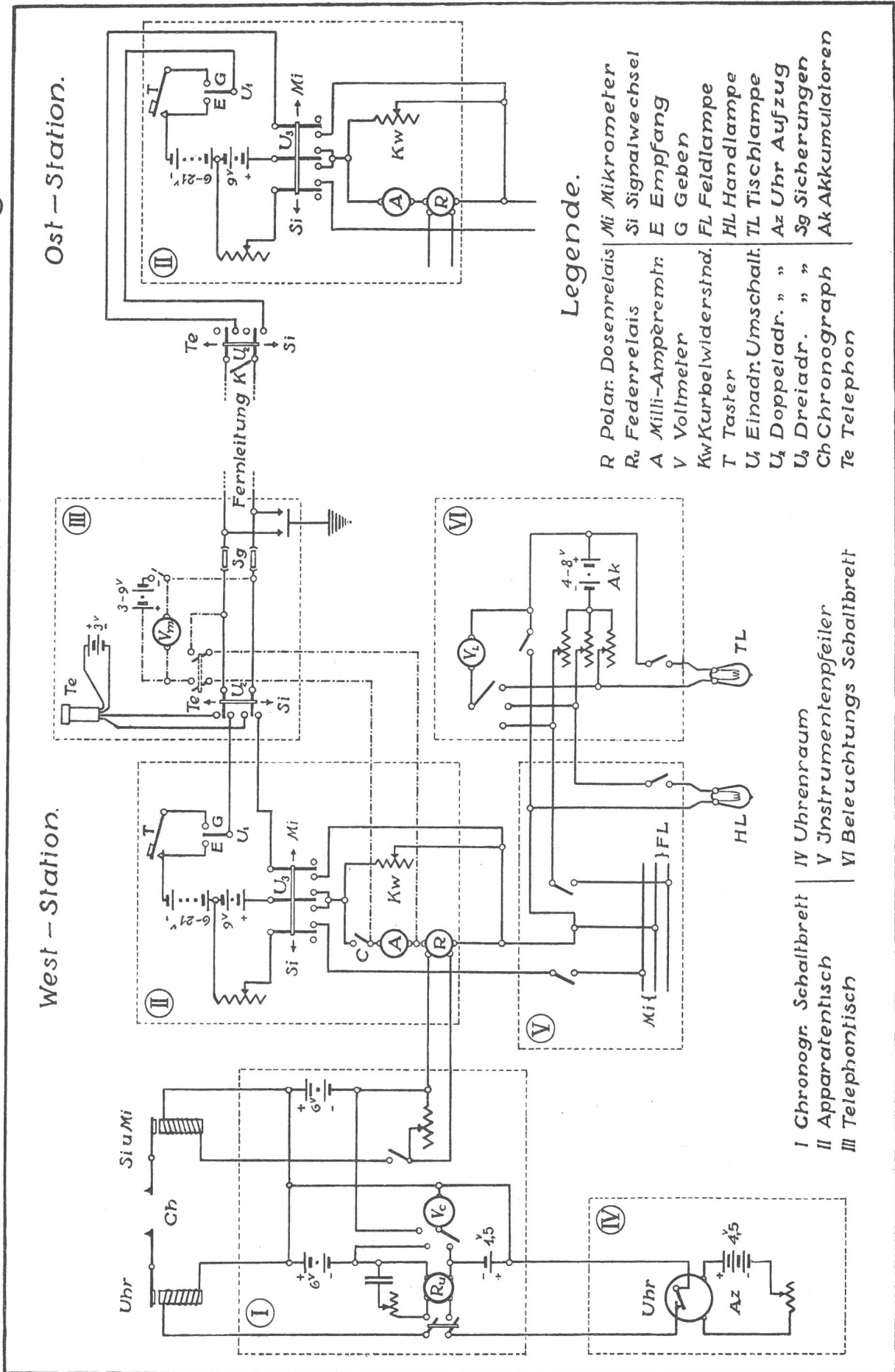


Fig. 1.

auf der Weststation  $U_W$ . Geben wir das Zeichen auf der Oststation, so lesen wir auf der Oststation die Uhrzeit  $U_E$ , auf der Weststation  $U_W + s$  ab. Die Uhrdifferenz im Sinne Ost minus West ist

$$D_E = U_E - U_W - s.$$

Wird auf der Weststation gegeben, so sind die Ablesungen  $U_E + s$  und  $U_W$  und die Uhrdifferenz

$$D_W = U_E - U_W + s.$$

Das Mittel beider Uhrdifferenzen ist

$$D = \frac{1}{2} (D_E + D_W) = U_E - U_W,$$

also die von der Stromzeit befreite Uhrdifferenz. Wir brauchen zu ihrer Ableitung die Stromzeit gar nicht zu berechnen.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit finden wir aus der Länge der Leitung und der Stromzeit. Letztere ist gegeben durch die Beziehung  $D_W - D_E = 2s$ . Bei den älteren Arbeiten, wo die Stationen nur durch einen Draht miteinander verbunden waren, betrug die Fortpflanzungsgeschwindigkeit durchschnittlich 16,000 km/Sek. Nach Einführung der Verbindung mittels Schleifen, also ganze Leitung metallisch, war die Fortpflanzungsgeschwindigkeit durchschnittlich 70,000 km/Sek. Sie war stets kleiner als der theoretische Wert 300,000 km/Sek. Interessant ist, dass in submarinen Kabeln die Geschwindigkeit ausserordentlich vermindert wird. So betrug sie z. B. zwischen Potsdam und Greenwich (1903), deren telegraphische Verbindung 425 km submarine Leitung enthält, nur 10,000 km/Sek.

Für die Registrierung der Sterndurchgänge wird der Schalter  $U_3$  auf „Mikrometer“ (Mi) gestellt. Dadurch bilden Ampèremeter, Relais und ein Widerstand mit einem Teil der Linienbatterie als Lokalbatterie einen Stromkreis, der durch die Kontakte des Stromabnehmers auf der Achatrommel geschlossen wird. Die Stromstärke wird mit Hilfe des Widerstandes  $K_w$  auf gleicher Höhe gehalten wie beim Signalwechsel, wodurch die Reaktionszeit des Relaisankers in beiden Fällen gleich bleibt. Signale und Durchgänge werden also unter gleichen Stromverhältnissen mit derselben Chronographenspitze registriert.

Zur Vervollständigung der elektrischen Einrichtung gehört noch die Beleuchtung. Es ist eine Tischlampe TL notwendig für die Führung des Feldbuches und Bedienung des Chronographen durch den Assistenten, ein Handlicht HL für die Manipulationen des Beobachters am Durchgangsinstrument und eine Feldbeleuchtung FL, die zur Sichtbarmachung der Mikrometerfäden das Gesichtsfeld erhellt.

Vor ca. 20 Jahren bemühte man sich, die drahtlose Telegraphie in den Dienst der Erdmessung zu stellen. Die ersten Versuche befriedigten aber keineswegs. Die telegraphische Uhrvergleichung wurde immer noch als zuverlässiger erachtet. Die während des Krieges und nachher gemachten bedeutenden Fortschritte in der drahtlosen Telegraphie ermöglichten dann ihre Anwendung bei den Längenarbeiten erster Ordnung.

de la lumière, on pourrait, connaissant la longueur des lignes, corriger les différences d'heure constatées du temps employé par le courant. Mais la vitesse de propagation est inférieure à celle de la lumière et n'est pas constante. Supposons que le courant parcourt la distance entre les deux stations en un temps déterminé  $s$ , et désignons par  $U_E$  l'heure de la station Est et par  $U_W$  l'heure de la station Ouest au moment de l'envoi d'un signal. Si le signal est donné par la station Est, on lira l'heure  $U_E$  à la station Est et l'heure  $U_W + s$  à la station Ouest. La différence de lectures des montres dans le sens „Est moins Ouest“ sera donc

$$D_E = U_E - U_W - s.$$

Si le signal est donné par la station Ouest, les lectures respectives des montres indiqueront les valeurs  $U_E + s$  et  $U_W$ , et la différence sera

$$D_W = U_E - U_W + s.$$

La moyenne des deux différences est

$$D = \frac{1}{2} (D_E + D_W) = U_E - U_W,$$

soit simplement la différence d'état des montres. Nous pouvons donc négliger complètement dans nos calculs le temps employé par le courant.

La vitesse de propagation dépend de la longueur de la ligne et du temps employé par le courant. Ce temps est représenté par la relation  $D_W - D_E = 2s$ . Lors des premiers travaux, à l'époque où les stations n'étaient reliées que par *un seul* fil, la vitesse de propagation était en moyenne de 16,000 km/sec. L'introduction des lacets, c'est-à-dire des lignes entièrement métalliques, porta cette vitesse à 70,000 km/sec. en moyenne. Mais elle restait toujours très inférieure à sa valeur théorique de 300,000 km/sec. A ce propos, il est intéressant de rappeler que, dans les câbles sous-marins, cette vitesse diminue dans des proportions extraordinaires. Ainsi dans la liaison télégraphique Potsdam-Greenwich (1903), qui comprend 425 km de câble sous-marin, elle n'atteint plus que 10,000 km/sec.

Pour enregistrer le passage des étoiles, on place le commutateur  $U_3$  sur „micromètre“ (Mi). L'ampèremètre, le relais, une résistance et une partie de la batterie de la ligne prise comme batterie locale, forment alors un circuit fermé par le contact établi sur un des ponts du cylindre d'agate par la prise de courant. Au moyen de la résistance  $K_w$ , l'intensité du courant est maintenue au même niveau que pendant l'échange des signaux, ce qui permet d'obtenir pour les armatures de relais des temps de réaction égaux dans les deux cas. Les signaux et les passages sont donc enregistrés dans les mêmes conditions de courant et par la même pointe de chronographe.

L'installation électrique est complétée par un dispositif d'éclairage, composé d'une lampe de table TL utilisée par l'assistant chargé du service des procès-verbaux et du service du chronographe, d'une lampe portative HL servant à l'observateur pour ses manipulations à l'instrument des passages, et d'une lampe de champ FL éclairant le champ visuel pour permettre à l'observateur de voir le réticule.

Il y a une vingtaine d'années, on commença à utiliser la télégraphie sans fil pour les mesures géodésiques; mais les premiers essais ne donnèrent nullement satisfaction. La comparaison des montres au moyen du télégraphe resta longtemps encore la

Die Schweizerische Geodätische Kommission stellte vor etwa 10 Jahren ebenfalls Versuche an. Die besonderen Verhältnisse einer mobilen Station forderten damals folgende Bedingungen: Rahmenempfang, Unabhängigkeit von bestehenden elektrischen Anlagen, einfache Transportmöglichkeit. Ein Versuch mit einer Einrichtung, die die Uhrvergleichung durch Abhören der rhythmischen Zeitzeichen und Vergleich mit den Sekundenschlägen der Beobachtungsuhr (Koinzidenzmethode) ermöglichte, befriedigte nicht. Die Uhrvergleichung darf nur durch Registrierung der drahtlosen Zeitzeichen erfolgen. Diese Bedingung erforderte natürlich eine bedeutende Erhöhung der Verstärkung.

Nach einigen Versuchen und Abänderungen gelangten wir zu einer Empfangseinrichtung, die wohl gute Resultate gibt und recht betriebssicher ist, nicht aber die Bedingung günstiger Transportverhältnisse erfüllt. Die Zahl der mitzuführenden Stromquellen ist viel zu gross.

Fig. 2 stellt die seit 1925 verwendete Station schematisch dar. Sie besteht aus Rahmenantenne RA von 1 m Seitenlänge mit 30 und 60 Windungen, Abstimmkreis A, Siebkreis SK, vierfachem Hochfrequenzverstärker HF (die vierte Lampe dient als Audion), Transformator Tr, Niederfrequenzverstärker NF zu vier Lampen, wovon drei hintereinander und die vierte mit der dritten parallel geschaltet sind, und einem für den Relaisbetrieb umgebauten Starkstromverstärker StV mit Doppelgitter Oxydfadenlampe. Für ungedämpfte Wellen kommt noch ein Ueberlagerer Ue hinzu. Alle Teile wurden von der Telefunken-Gesellschaft in Berlin bezogen, welche uns auch ihre Erfahrungen bei der Entwicklung der Empfangsstation zur Verfügung stellte.

Die am Ausgang des Starkstromverstärkers erhaltene Stromstärke der drahtlosen Zeitzeichen geht bis zu 20 mA. Sie kann leicht auf der Höhe gehalten werden, die der Mikrometerkreis bei der Registrierung der Sterndurchgänge hat (ca. 8 mA). Die gemachten Erfahrungen über Abkürzung der Reaktionszeit des Relaisankers bei Anwendung eines schwachen Dauerstromes (ca. 2 mA) verwertend, wird ein solcher durch Veränderung der Gittervorspannung im Starkstromverstärker hergestellt.

Die Registrierung der Zeitzeichen geschieht nun folgendermassen: Nach Bereitstellen der drahtlosen Empfangseinrichtung wird der zweipolige Umschalter 1 auf  $Si_I$  gestellt. Während der den Zeitzeichen vorangehenden Aufrufzeichen wird mit Hilfe der Verstärkung des Starkstromverstärkers und des Milliampèremeters die gewünschte Stärke des Zeichen- und Dauerstromes hergestellt. Der Primärkreis des Uhrrelais wird durch Stellung des Umschalters 2 auf  $U_I$  geschlossen. Kurz bevor die Zeitzeichen kommen, werden die Umschalter 3 und 4 auf  $Si_{II}$   $Mi_{II}$  resp.  $U_{II}$  gestellt und der Chronograph wird in Gang gesetzt. In der Regel wird nach Schluss der Zeitzeichen mit Hilfe des Parallaxschlüssels P die in der Transportrichtung des Bandes gemessene Entfernung beider Chronographenspitzen (die Parallaxe) auf das Band getoppt. Mit dem Parallaxschlüssel werden die Sekundärkreise der beiden Relais

méthode la plus sûre. Mais les perfectionnements extraordinaires apportés à la radiotélégraphie pendant et après la guerre permirent bientôt de l'utiliser pour des travaux de longitude de premier ordre.

La commission géodésique suisse, il y a dix ans environ, entreprit, elle aussi, des essais. Les circonstances spéciales d'une station mobile dictaient les conditions suivantes: elle devait permettre la réception sur cadre, être indépendante des installations électriques existantes et être facilement transportable. Les essais tentés avec une installation permettant la comparaison des montres par audition des signaux horaires et comparaison aux battements de secondes de la pendule d'observation (méthode des coïncidences) ne donnèrent pas satisfaction. On constata que, pour faire la comparaison des montres, il était indispensable d'enregistrer les signaux radiotélégraphiques, résultat qu'on ne pouvait naturellement obtenir qu'en augmentant l'amplification.

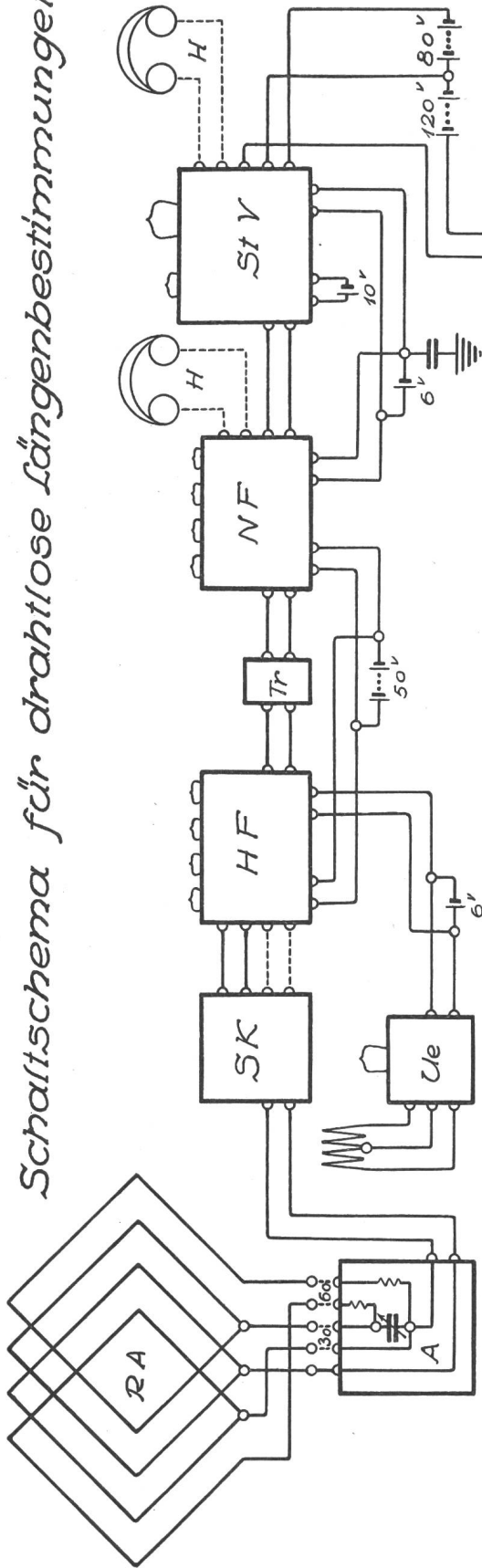
Après avoir fait quelques essais et modifié certains dispositifs, on obtint un type d'installation réceptrice donnant de bons résultats et facile à manier, mais d'un transport malaisé, le nombre des éléments à transporter étant beaucoup trop considérable.

Le schéma N° 2 représente la station employée depuis 1925. Elle se compose d'une antenne sur cadre RA, d'un mètre de côté à 30 et 60 enroulements, d'un circuit de syntonisation A, d'un filtre SK, d'un amplificateur à haute fréquence HF à quatre lampes (la quatrième lampe servant d'audion), d'un transformateur Tr, d'un amplificateur à basse fréquence NF à quatre lampes, dont les trois premières sont reliées en série et la quatrième reliée en parallèle avec la troisième, et d'un amplificateur à courant fort StV, établi spécialement pour actionner un relais et muni d'une lampe à filament à oxyde rapporté à double grille. Pour les ondes non amorties, on dispose encore d'une hétérodyne Ue. Tous ces appareils ont été fournis par la Société Telefunken à Berlin, dont l'expérience nous a aussi été très précieuse lorsque nous avons développé la station réceptrice.

L'intensité du courant servant à la transmission sans fil des signaux horaires atteint jusqu'à 20 mA à la sortie de l'amplificateur à haute tension. On peut donc maintenir facilement l'intensité du courant (8 mA) passant dans le circuit du micromètre et servant à l'enregistrement des passages. Mettant à profit les expériences faites en vue de réduire le temps de réaction de l'armature du relais par l'utilisation d'un courant continu de faible intensité (2 mA), on est arrivé à créer un courant de ce genre en modifiant la tension d'entrée de la grille de l'amplificateur à haute tension.

Les signaux sont alors enregistrés de la manière suivante: Les deux installations de réception sans fil étant prêtes à fonctionner, le commutateur bipolaire 1 est placé sur  $Si_I$ . Pendant la transmission des signaux d'appel précédant les signaux horaires, on règle le courant des signaux et le courant constant à l'intensité voulue, en se servant de l'amplificateur à haute tension et du milliampèremètre. Pour fermer le circuit primaire du relais de la montre, on place le commutateur 2 sur la position  $U_I$ . Quelques instants avant l'arrivée des signaux horaires, on pousse les commutateurs 3 et 4 sur  $Si_{II}$   $Mi_{II}$ , respective-

Schalt-schema für drahtlose Längenbestimmungen.



Legende.

- A. Abstimmkreis.
- AZ. Uhrzug.
- Ch. Chronograph.
- F. Funkenlöschg.
- H. Hörer.
- HF. Hochfrequenzverst.
- MA. Milliampèremeter.
- Mi. Mikrometer.
- NF. Niederfrequenzverst.
- P. Parallaxschlüssel.
- R. Relais.
- RA. Rahmenantenne.
- Sch. Schaltbrett.
- Sk. Siebkreis.
- Stk. Starkstromverst.
- T. Taster.
- Tr. Transformator.
- Ue. Überlagerer.
- V. Voltmeter.
- W. Regulierwiderstd.

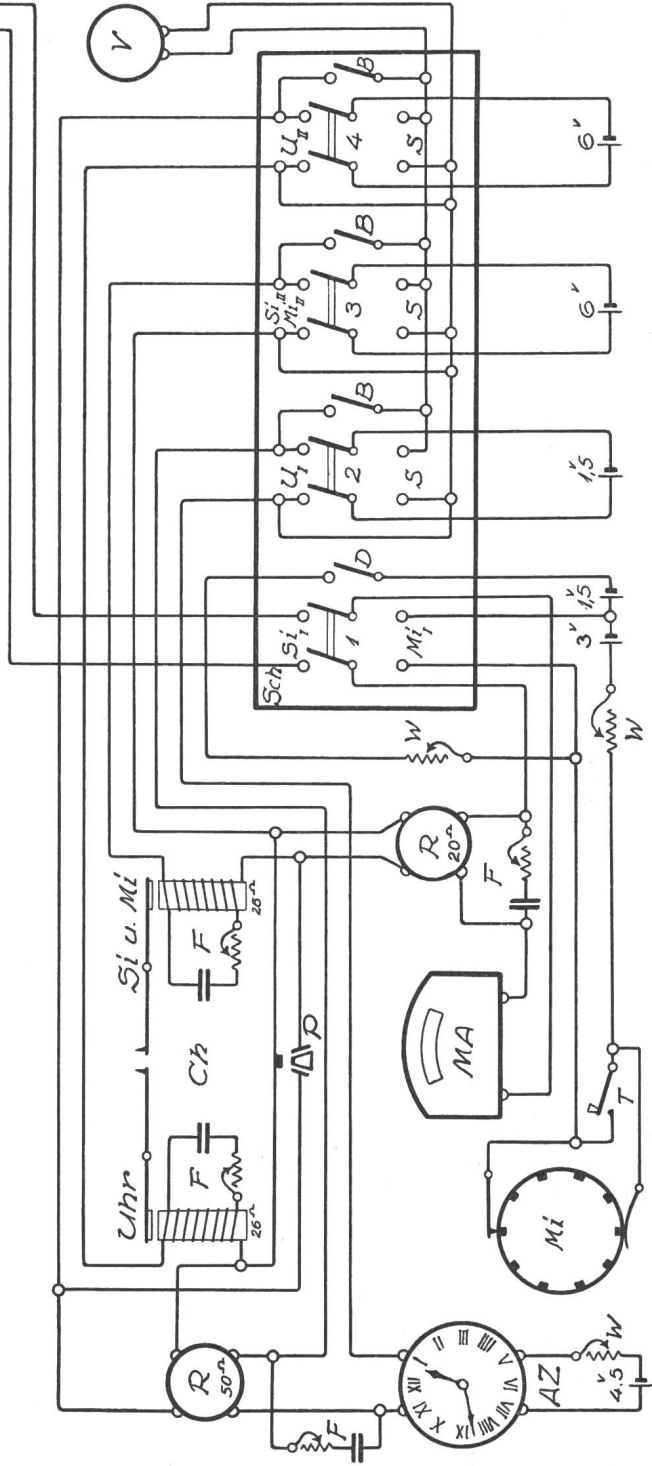


Fig. 2.

gleichzeitig geschlossen. Die Parallaxe muss für die Registrierung der Zeitzeichen und der Sterndurchgänge unverändert bleiben. Ist man gezwungen, zwischen der Registrierung der Zeitzeichen und der Durchgänge am Chronographen etwas zu ändern, so ist durch eine nochmalige Bestimmung der Parallaxe eine ev. Aenderung derselben feststellbar und zu berücksichtigen.

Für die Registrierung der Sterndurchgänge ist an der Schaltung nichts zu ändern, ausgenommen die Umlegung des Schalters 1 auf  $M_I$  und die Schliessung des Dauerstromkreises mit Hilfe des Schalters D. Die durch das Mikrometer  $M_i$  erzeugten Schlüsse des Mikrometerkreises werden also mit der gleichen Spitze registriert wie die drahtlosen Zeitzeichen.

Die Messung der Spannungen im primären Uhrkreis und den beiden Sekundärkreisen geschieht mit Hilfe des Voltmeters V durch Stellung der betreffenden Schalter auf S. Um den Spannungsabfall prüfen zu können, ist mit Hilfe der Schalter B auch der belastete Kreis auf das Voltmeter zu schalten.

Die Uhr, das Mikrometer und die beiden Relais sind durch Anbringung von Funkenlöschungen F vor Verbrennungen und Betriebsstörungen geschützt.

Eine Uhrvergleiche besteht in der Ablesung und Differenzbildung von ca. 120 auf beiden Stationen registrierten identischen Zeichen. Das Mittel der 120 Differenzen ist die gesuchte Uhrdifferenz, die einen mittleren Fehler von etwa 0,002 Sek. hat. Die so gefundenen Uhrdifferenzen müssen noch korrigiert werden, um den Unterschied des Eintreffens der Zeichen auf den beiden Empfangsstationen, da diese in der Regel nicht gleich weit von der Sendestation entfernt sind. Für die Berechnung des Unterschiedes wird eine Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen von 250,000 km/Sek. zugrunde gelegt.

Bei den Uhrvergleichen mit Draht haben wir gesehen, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes viel kleiner ist als der theoretische Wert. Zudem ist sie starken Schwankungen unterworfen. Wir hatten es jedoch in der Hand, die Geschwindigkeit zu bestimmen und in Rechnung zu ziehen. Es ist sehr wohl möglich, dass bei der drahtlosen Uhrvergleiche ebenfalls nicht mit einem konstanten Wert der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen gerechnet werden darf. Aus dem Beobachtungsmaterial ist aber der jeweilige wirkliche Wert nicht ableitbar. Man ist also Fehlern, die aus der Abweichung von dem oben angegebenen Wert entstehen, ausgeliefert. Immerhin scheinen die drahtlosen Uhrvergleiche doch besser zu sein als die telegraphischen; denn die Längendifferenzen mit drahtloser Uhrvergleiche sind genauer als diejenigen mit telegraphischer. Da die astronomischen Beobachtungen in beiden Fällen genau gleich durchgeführt wurden, fällt der Unterschied in der Genauigkeit der Längendifferenzen zu Lasten der Uhrvergleiche.

Der programmässige Verlauf eines Beobachtungsabends ist etwa folgender: Um 20 h 30 verständigen sich die Beobachter telephonisch über die Witterungs-

ment sur  $U_{II}$ , et on met en marche le chronographe. En règle générale, à la fin des signaux horaires, on marque sur la bande, au moyen de la clé parallaxique P, la distance (la parallaxe), mesurée dans le sens du déplacement de la bande, qui sépare les deux pointes du chronographe. La clé parallaxique ferme en même temps les circuits secondaires des deux relais. Pendant toute la durée de l'enregistrement des signaux horaires et des passages, la parallaxe doit rester inchangée. Si, entre l'enregistrement des signaux horaires et celui des passages, on doit apporter un changement quelconque au chronographe, on doit alors déterminer une nouvelle fois la parallaxe en tenant compte éventuellement des modifications intervenues.

L'enregistrement des passages ne nécessite aucune modification des connexions sauf que le commutateur 1 doit être placé sur  $M_I$  et que le circuit du courant de repos doit être fermé au moyen du commutateur D. Les fermetures du circuit du micromètre provoquées par le micromètre  $M_i$  sont ainsi enregistrées par la même pointe qui enregistre les signaux horaires radiotélégraphiques.

La tension du courant dans le circuit primaire de la montre et dans les deux circuits secondaires se mesure à l'aide du voltmètre V, en plaçant le commutateur correspondant dans la position S. Pour pouvoir contrôler la chute de tension, on doit également, à l'aide du commutateur B, connecter le circuit chargé sur le voltmètre.

La montre, le micromètre et les deux relais doivent être protégés, à l'aide de condensateurs F, contre les étincelles et contre les dérangements que celles-ci occasionnent.

La comparaison des montres est une opération qui consiste à lire les heures de 120 signaux identiques enregistrés dans les deux stations et à déterminer les différences d'état correspondantes. La moyenne de ces 120 différences donne la différence cherchée de l'état des montres, différence qui accuse une erreur moyenne de 0,002 seconde. Les différences d'état des montres ainsi trouvées doivent encore être corrigées du défaut de simultanéité des arrivées des signaux dans les deux stations réceptrices qui, généralement, ne se trouvent pas à une égale distance du poste d'émission. Pour calculer cet écart, on admet que les ondes électromagnétiques ont une vitesse de propagation de 250,000 km/sec.

Nous avons déjà vu que la vitesse de propagation du courant utilisé pour la comparaison des montres par fil est loin d'avoir sa valeur théorique. Elle est en outre sujette à de grandes variations. Cependant, nous avions les moyens de la déterminer pour en tenir compte dans nos calculs. Nous sommes en droit de supposer que la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques utilisées pour la comparaison des montres par télégraphie sans fil n'a pas non plus une valeur constante; mais malheureusement la valeur réelle de cette vitesse ne peut pas toujours être déduite du matériel d'observation. On est ainsi à la merci des erreurs qui peuvent se produire par suite d'une modification de la valeur indiquée ci-dessus. Cependant, les comparaisons de montres faites par T. S. F. semblent être plus précises que celles faites par télégraphie, car les différences de longi-

verhältnisse und fassen, wenn diese günstig und beide Stationen betriebsbereit sind, den Beschluss zur Beobachtung. Ein vollständiger Abend besteht in der Beobachtung der Durchgänge von 18 zenitnahen und 4 polnahen Sternen und 3 Uhrvergleichen. Die Uhrvergleichen werden vor Beginn, in der Mitte und nach Schluss der Durchgangsbeobachtungen vorgenommen. Erfolgen die Uhrvergleichen telegraphisch, so hat man für die zeitliche Anordnung der Arbeiten etwelche Freiheit. Bei drahtloser Uhrvergleichen ist man an die Epochen der Emission von Zeitzeichen gebunden. Wir benützten zur drahtlosen Uhrvergleichen die Sender Bordeaux (FYL, ungedämpft, Wellenlänge 18900 m) um 21 Uhr M. E. Z.; Paris (FLE, gedämpft, 2650 m) früher um 23 Uhr, jetzt um 23 1/2 Uhr, und Nauen (DFY, ungedämpft, 18060 m) um 1 Uhr.

Wenn das vorgesehene Programm auf der einen Station oder auf beiden nicht ganz erfüllt werden kann, so ist der Abend nicht verloren; er wird bei der Ableitung der Längendifferenz mit geringerem Gewicht berücksichtigt als die vollständigen Abende.

Die Zahl der ausgeführten Uhrvergleichen war seit Anwendung der drahtlosen Methode geringer als bei der Drahtvergleichen, da Registrierungen infolge innerer oder äusserer Störungen nicht möglich waren oder Emissionen ausblieben. In Mailand z. B. konnten wir mit unserer Einrichtung, die leider nicht sehr selektiv ist, nur FYL mit einiger Sicherheit registrieren. Trotzdem sind die drahtlosen Längendifferenzen, wie schon bemerkt, genauer als die telegraphischen.

Aus den beobachteten Durchgangszeiten und den Uhrvergleichen kann die Längendifferenz abgeleitet werden. Bezeichnet man mit  $L$  die Längendifferenz, mit  $U_E$  die Durchgangszeit eines Sternes auf der Oststation an der dortigen Uhr abgelesen, mit  $U_W$  die Durchgangszeit desselben Sternes auf der Weststation und mit  $D$  die Uhrendifferenz im Sinne Ost minus West, so finden wir für diesen Stern einen Wert der Längendifferenz aus:

$$L = U_W - U_E + D.$$

Statt für jeden Stern einen Wert der Längendifferenz abzuleiten, können wir alle Durchgangszeiten pro Station und ebenso die 3 Uhrendifferenzen mitteln und nach derselben Gleichung die Längendifferenz berechnen, wo nun  $U_E$  und  $U_W$  die gemittelten Durchgangszeiten und  $D$  die gemittelten Uhrendifferenzen sind.

Zwecks Erhöhung der Genauigkeit wird an mehreren Abenden beobachtet, und die verschiedenen Abendwerte werden nach Gewichten gemittelt. Die Zahl der Abende der seit 1912 beobachteten Längendifferenzen schwankt zwischen 7 und 12.

Nun müssen wir nochmals auf den persönlichen Fehler zurückkommen. Wie bereits bemerkt, ist eine gänzliche Beseitigung des persönlichen Fehlers trotz Einführung des unpersönlichen Mikrometers nicht möglich. Es ist auch wahrscheinlich, dass trotz gleicher Bauart der Instrumente und aller

tude déterminées par la comparaison sans fil sont plus exactes que celles déterminées par l'autre méthode. Les observations astronomiques étant effectuées tout à fait de la même manière dans les deux cas, il en résulte que les écarts constatés dans l'exactitude des différences de longitude doivent être imputés à la méthode de comparaison des montres.

Le programme d'un soir d'observations est, dans ses grandes lignes, le suivant: A 20 h. 30, les observateurs se renseignent mutuellement, par téléphone, sur l'état de l'atmosphère; et, s'ils constatent que les conditions sont favorables et que les deux stations sont prêtes à fonctionner, ils prennent leurs dispositions pour procéder aux observations. On observe en tout, au cours d'une soirée, les passages de 18 étoiles voisines du zénith et de 4 étoiles circumpolaires; et on procède à 3 comparaisons de montres, une avant le commencement des observations, une au milieu et une à la fin. Si la comparaison des montres se fait par télégraphe, on peut plus ou moins fixer à sa convenance le moment des travaux. Par contre, si elle se fait par T. S. F., on est obligé de s'en tenir aux heures d'émission des signaux horaires. Pour faire cette comparaison, nous avons utilisé les émissions des postes de Bordeaux (FYL, ondes non amorties de 18,900 m) qui ont lieu à 21 h. HEC, de Paris (FLE, ondes amorties de 2650 m) qui avaient lieu auparavant à 23 h. et qui ont lieu maintenant à 23 h. 1/2, et de Nauen (DFY, ondes non amorties de 18,060 m) qui ont lieu à 1 h.

Si, dans l'une ou dans l'autre des stations ou dans toutes les deux le programme fixé ne peut pas être entièrement exécuté, la soirée n'est cependant pas perdue; mais dans les calculs ultérieurs, on lui attribuera une importance inférieure à celle attribuée aux soirées à programme complet.

Depuis qu'on emploie la T. S. F., les comparaisons de montres effectuées sont moins nombreuses que lorsqu'on avait recours à l'autre méthode, car il arrive parfois que des dérangements dus à des causes internes ou externes empêchent les enregistrements, ou même que certaines émissions échappent complètement. A Milan par exemple, l'installation dont nous disposions et qui malheureusement n'était pas très sélective, ne nous permettait d'enregistrer avec quelque certitude que les signaux de FYL. Mais, comme nous l'avons déjà dit, les différences de longitude déterminées par T. S. F. sont plus exactes que celles déterminées par télégraphie.

La différence de longitude des deux stations sera déduite des heures de passage observées et des comparaisons des montres. Si l'on désigne par  $L$  la différence des longitudes, par  $U_E$  l'heure du passage d'une étoile à la station Est, lue à la montre de cette station, par  $U_W$  l'heure du passage de la même étoile à la station Ouest, et par  $D$  la différence d'état des montres constatée dans le sens Est moins Ouest, cette étoile fournira une valeur de la différence de longitude égale à

$$L = U_W - U_E + D.$$

Au lieu de calculer la valeur de cette différence pour chaque étoile séparément, on peut prendre la moyenne de tous les passages à chaque station ainsi que la moyenne des 3 différences d'état des montres, et établir la différence de longitude par la même

erdenklicher Vorsichtsmassregeln noch gewisse einseitig wirkende Fehler, die eine Eigenart des Instrumentes sind, in die Beobachtungen eingehen. Die Summe des persönlichen und instrumentellen Fehlers hat also zur Folge, dass jeder Beobachter seine Durchgänge um einen mehr oder weniger konstanten Betrag im gleichen Sinne (zu früh oder zu spät) falsch beobachtet. Bezeichnen wir den persönlichen und instrumentellen Fehler des Beobachters A mit  $F_A$  und denjenigen des Beobachters B mit  $F_B$ . Die Fehler seien positiv, wenn zu spät beobachtet wird. Ist A auf der Oststation und B auf der Weststation, so haben wir die Gleichung der Längendifferenz:

$$L = (U_W - F_B) - (U_E - F_A) + D \\ = U_W - U_E + F_A - F_B + D = U_W - U_E + D + F_G.$$

Den Betrag  $F_A - F_B = F_G$  nennt man die persönliche und instrumentelle Gleichung, um welche die Längendifferenz systematisch verfälscht ist. Würde A auf der Weststation und B auf der Oststation beobachten, so bekämen wir als Wert der Längendifferenz:

$$L = (U_W - F_A) - (U_E - F_B) + D \\ = U_W - U_E + D - F_G.$$

Der Unterschied der beiden Werte für L ist gleich dem doppelten Betrage der persönlichen und instrumentellen Gleichung. Damit haben wir ein Mittel in der Hand, diese zu bestimmen und die einzelnen Abendwerte zu korrigieren. Die eine Hälfte der vorgesehenen Abende beobachtet man in der Kombination: A mit seinem Instrument auf der Oststation und B auf der Weststation und die andere Hälfte umgekehrt. Der Wechsel der Beobachter und Instrumente verlängert und verteuert die Arbeiten beträchtlich; leider ist es aber nicht möglich, auf andere Weise die persönliche und instrumentelle Gleichung mit der gleichen Sicherheit zu beseitigen.

Die um die persönliche und instrumentelle Gleichung verbesserten Abendwerte der Längendifferenz werden nach Gewichten gemittelt, was den endgültigen Wert der Längendifferenz ergibt. Aus den Abweichungen der einzelnen Abendwerte vom Gesamtmittel können wir die Genauigkeit eines Abendwertes und des Gesamtmittels berechnen. Der mittlere Fehler eines Abendwertes betrug für die seit 1912 beobachteten Längendifferenzen durchschnittlich  $\pm 0,018$  Sek., derjenige des Gesamtmittels  $\pm 0,006$  Sek. Wollen wir die Fehlermasse in Längenmass ausdrücken, so ist zu berücksichtigen, dass in unseren Breiten 1 Sekunde rund 300 m beträgt. Das ist also der Weg, den wir infolge der Rotation der Erde in einer Sekunde zurücklegen. Obige Fehlermasse in Längenmass ausgedrückt sind also  $\pm 5,4$  m, resp.  $\pm 1,8$  m.

équation, dans laquelle  $U_E$  et  $U_W$  représenteront alors les moyennes des heures des passages et D la moyenne des différences des montres.

Afin d'obtenir une plus grande précision, on fait les observations plusieurs soirs de suite, et l'on prend la moyenne des résultats obtenus. Le nombre des soirées consacrées à l'observation d'une différence de longitude varie, depuis 1912, entre 7 et 12.

Il est nécessaire que nous revenions encore une fois sur la question de l'erreur personnelle. Comme nous l'avons déjà vu, l'erreur personnelle ne peut pas être éliminée complètement, malgré l'emploi du micromètre impersonnel. Il est probable d'autre part que, malgré la similitude des instruments employés et malgré toutes les précautions imaginables prises, certaines erreurs systématiques inhérentes à la nature de l'instrument s'introduisent dans les observations. Par suite de l'influence simultanée de l'équation personnelle et l'erreur instrumentale, chaque observateur enregistre ses passages avec une erreur plus ou moins constante, mais de même sens (en avance ou en retard). Désignons par  $F_A$  la somme de l'erreur personnelle et instrumentale de l'observateur A, et par  $F_B$  celle de l'observateur B, et soient les erreurs positives si l'observation est faite avec un retard. Si A se trouve à la station Est et B à la station Ouest, on obtiendra pour la différence de longitude l'équation:

$$L = (U_W - F_B) - (U_E - F_A) + D \\ = U_W - U_E + F_A - F_B + D = U_W - U_E + D + F_G.$$

La valeur  $F_A - F_B = F_G$  représente l'erreur systématique qui fausse les différences de longitude; elle porte le nom d'équation personnelle et instrumentale. Si A observait à la station Ouest et B à la station Est, la différence de longitude serait représentée par la valeur suivante:

$$L = (U_W - F_A) - (U_E - F_B) + D \\ = U_W - U_E + D - F_G.$$

La différence des deux valeurs de L est égale au double de l'erreur systématique. Cette erreur peut être déterminée et l'on peut corriger en conséquence les résultats de la soirée. Les soirées prévues pour les observations sont partagées en deux séries. Pendant la première série, A fait ses observations avec son instrument à la station Est, et B avec le sien à la station Ouest; ils intervertissent leurs postes pour la deuxième série. Le déplacement des observateurs et le transport de leurs instruments retardent et renchérissent passablement les travaux; mais on n'a malheureusement pas d'autre moyen d'éliminer, avec la même sûreté, l'équation personnelle et instrumentale.

Les résultats obtenus pendant les différentes soirées, corrigés de l'équation personnelle et instrumentale, sont combinés suivant les poids qui leur sont attribués; et leur moyenne donne la valeur définitive de la différence de longitude. Les écarts constatés entre les résultats isolés des différentes soirées et la moyenne générale nous permettent d'évaluer l'exactitude du résultat d'un soir et de la moyenne générale. L'erreur moyenne d'un soir d'observations s'élève, pour les différences de longitudes observées depuis 1912, à  $\pm 0,018$  seconde, et l'erreur moyenne de la moyenne générale à  $\pm 0,006$  seconde. Pour convertir ces valeurs en unités de longueur, nous

Seit 1912 wurden im ganzen 31 Längendifferenzen beobachtet. Das schweizerische Längennetz umfasst 12 Punkte. Die Sternwarten Zürich und Genf sind als Hauptstationen gewählt worden. Ihre Längendifferenz wurde 3mal direkt bestimmt. Die andern 10 Punkte wurden an diese beiden Stationen angeschlossen. Ebenso beobachteten wir die Längendifferenzen zwischen je einer Sternwarte der 4 Nachbarstaaten und unseren Hauptstationen. Die Summe oder Differenz der Anschlüsse einer Station an die Basispunkte ergeben paarweise wieder einen Wert der Längendifferenz Zürich-Genf. Im ganzen erhalten wir so 17 Werte für diese Basis. Die gefundenen Werte der einzelnen Längendifferenzen sowie diejenigen der Basis sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

devons nous rappeler qu'à notre latitude 1 seconde de temps équivaut à 300 m en chiffre rond. C'est là le chemin que la rotation de la terre nous fait parcourir en une seconde. Les erreurs ci-dessus, exprimées en unités de longueur sont donc de  $\pm 5,4$  m ou  $\pm 1,8$  m.

Depuis 1912, on a observé en tout 31 différences de longitude. Le réseau suisse des longitudes comprend 12 points. Les observatoires de Zurich et Genève ont été choisis comme stations de base. Leur différence de longitude a été déterminée trois fois directement. Les 10 autres points ont été raccordés à ces deux stations. Nous avons également observé les différences de longitude entre nos stations principales et un observatoire de chacun des 4 États voisins. En additionnant ou en soustrayant, suivant le cas, les différences de longitude constatées entre une station quelconque et les stations de base, on obtient une nouvelle valeur de la différence de longitude Zurich-Genève.

Nous avons ainsi déterminé au total 17 valeurs de cette différence de base. Les valeurs trouvées pour les diverses différences de longitude ainsi que pour la différence de base sont reproduites dans le tableau ci-après:

Beobachtete Längendifferenzen in den Jahren 1912—1930.  
Différences de longitudes observées de 1912 à 1930.

Jahr Année	Stationen Stations	Längendifferenz Différence de longitude	Zürich—Genf Zurich—Genève	Abweichung vom Mittel Ecart de la moyenne	
1912	Zürich-Basel . . . . .	3 Min. 52,849 Sek.	9 Min. 35,737 Sek.	—0,005 Sek.	
1913	Basel-Genève . . . . .	5 „ 42,888 „			
1912	Zürich-Gurten . . . . .	4 „ 25,574 „		9 „ 35,714 „	— 28 „
1913	Gurten-Genève . . . . .	5 „ 10,140 „			
1914	Zürich-Neuchâtel . . . . .	6 „ 22,496 „		9 „ 35,732 „	— 10 „
1914	Neuchâtel-Genève . . . . .	3 „ 13,236 „			
1919	Chur-Zürich . . . . .	3 „ 51,521 „		9 „ 35,748 „	+ 6 „
1919	Chur-Genève . . . . .	13 „ 27,269 „			
1920	Zürich-Genève . . . . .	9 „ 35,764 „		9 „ 35,764 „	+ 22 „
1920	Zürich-Brig . . . . .	2 „ 11,427 „		9 „ 35,743 „	+ 1 „
1920	Brig-Genève . . . . .	7 „ 24,316 „			
1921	Poschiavo-Zürich . . . . .	6 „ 2,310 „		9 „ 35,746 „	+ 4 „
1921	Poschiavo-Genève . . . . .	15 „ 38,056 „			
1922	Bellinzona-Zürich . . . . .	1 „ 53,597 „		9 „ 35,755 „	+ 13 „
1922	Bellinzona-Genève . . . . .	11 „ 29,352 „			
1923	Gäbris-Zürich . . . . .	3 „ 40,212 „		9 „ 35,766 „	+ 24 „
1923	Gäbris-Genève . . . . .	13 „ 15,978 „		9 „ 35,727 „	— 15 „
1923	Zürich-Genève . . . . .	9 „ 35,727 „			
1924	Potsdam-Zürich . . . . .	18 „ 3,826 „	9 „ 35,768 „	+ 26 „	
1925	Potsdam-Genève . . . . .	27 „ 39,594 „			
1925	Zürich-Rigi . . . . .	0 „ 15,905 „	9 „ 35,752 „	+ 10 „	
1925	Rigi-Genève . . . . .	9 „ 19,847 „			
1926	Zürich-Paris . . . . .	24 „ 51,388 „	9 „ 35,749 „	+ 7 „	
1926	Genève-Paris . . . . .	15 „ 15,639 „	9 „ 35,730 „	— 12 „	
1927	Zürich-Genève . . . . .	9 „ 35,730 „			
1928	Wien-Zürich . . . . .	31 „ 9,135 „	9 „ 35,705 „	— 37 „	
1928	Wien-Genève . . . . .	40 „ 44,840 „			
1929	Milano-Zürich . . . . .	2 „ 33,554 „	9 „ 35,747 „	+ 5 „	
1929	Milano-Genève . . . . .	12 „ 9,301 „			
1930	Zürich-Binningen . . . . .	3 „ 52,263 „	9 „ 35,745 „	+ 3 „	
1930	Binningen-Genève . . . . .	5 „ 43,482 „			
		Mittel:	9 Min. 35,742 Sek.		

Mehrere der in der Tabelle gegebenen Längendifferenzen sind schon früher (1861—1877) beobachtet worden. Die damals gefundenen Werte sind durchwegs kleiner als die seit 1912 beobachteten, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Längendifferenz Différence de longitude	1861 — 1877	1912 — 1930	Unterschied Différence
Neuchâtel-Genève . . .	3 Min. 12,966 Sek.	3 Min. 13,241 Sek.	—0,275 Sek.
Zürich-Rigi . . . . .	0 .. 15,839 ..	0 .. 15,900 ..	—0,061 ..
Zürich-Neuchâtel . . .	6 .. 22,367 ..	6 .. 22,501 ..	—0,134 ..
Rigi-Neuchâtel . . . . .	6 .. 6,528 ..	6 .. 6,601 ..	—0,073 ..
Gäbris-Zürich . . . . .	3 .. 40,070 ..	3 .. 40,224 ..	—0,154 ..
Zürich-Genève . . . . .	9 .. 35,333 ..	9 .. 35,742 ..	—0,409 ..
Milano-Neuchâtel . . .	8 .. 55,989 ..	8 .. 56,057 ..	—0,068 ..
Wien-Genève . . . . .	40 .. 44,830 ..	40 .. 44,858 ..	—0,028 ..

Wodurch diese z. T. beträchtlichen Differenzen verursacht worden sind, ist noch nicht abgeklärt.

Zum Schlusse wollen wir noch auf Zweck und Bedeutung solcher Arbeiten kurz eintreten.

In erster Linie dienen die Längenbestimmungen in Verbindung mit Breitenbestimmungen zur Festlegung der geographischen Koordinaten, d. h. der Lage eines Punktes auf der Erdoberfläche. Die geographischen Längen werden von einem bestimmten Meridian (im Jahre 1924 ist für geodätische Arbeiten endgültig derjenige von Greenwich als Ausgangsmeridian festgelegt worden) aus gezählt. Mit Hilfe der Längenanschlüsse an die vier Nachbarstaaten, die wir in den Jahren 1924 bis 1929 ausführten, und der geographischen Längen der Anschlusspunkte können wir die Längen der Punkte unseres Netzes ableiten. Die Ausgleichung ergab z. B. für die Länge des Meridiankreises der Sternwarte in Zürich den Wert

34 Min., 12,286 Sek. östl. Greenwich.

Weil die Längen der 4 Anschlusspunkte im Ausland mit gewissen Unsicherheiten behaftet und unsere Anschlussmessungen ebenfalls nicht fehlerlos sind, stimmt dieser Wert natürlich nicht bis auf die letzte Stelle. Immerhin dürfte er auf ganz wenige Hundertstel einer Sekunde sicher sein.

Sodann ermöglichen solche Messungen die wahre Form des Erdkörpers (abgesehen von den topographischen Unregelmässigkeiten) zu ermitteln. Die Landesvermessung stützt sich auf ein Dreiecksnetz erster Ordnung, das über das ganze zu vermessende Gebiet gelegt wird. In diesem Dreiecksnetz werden die Winkel zwischen den Dreiecksseiten und mindestens die Länge einer Seite gemessen. Damit ist es möglich, die gegenseitige Lage aller Punkte zu berechnen. Nimmt man als Erdform eine bestimmte Fläche, z. B. ein Umdrehungsellipsoid von bestimmten Dimensionen an, so kann man die geographischen Koordinaten der Dreieckspunkte berechnen, also auch ihre Längenunterschiede. Diese sollten mit den auf astronomischem Wege direkt bestimmten übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, so können die Annahmen über die Erdform nicht richtig sein. Entweder sind die Krümmungsverhältnisse (die Abplattung des Ellipsoides) anders als angenommen wurde, oder die mathematische Erd-

Plusieurs des différences de longitude figurant dans ce tableau avaient déjà été déterminées auparavant (1861—1877). Ainsi que le montre le tableau suivant, les valeurs trouvées à cette époque sont toutes plus petites que celles observées depuis 1912.

On n'est pas encore arrivé à connaître les causes de ces différences, dont quelques-unes sont assez importantes.

Pour terminer, examinons encore rapidement le but et l'importance de ces travaux.

Les déterminations des longitudes et celles des latitudes servent en tout premier lieu à établir les coordonnées géographiques, c'est-à-dire à fixer la position d'un point sur la sphère terrestre. Les longitudes sont mesurées à partir d'un méridien initial (en 1924, le méridien de Greenwich fut adopté définitivement comme premier méridien pour les travaux géodésiques). Les différences de longitude que nous avons mesurées avec les 4 pays voisins de 1924 à 1929, ainsi que les longitudes connues des points de raccordement, nous ont permis de déterminer les longitudes des points de notre réseau. Par exemple, nous avons pu déduire de leur comparaison que le cercle méridien installé à l'observatoire de Genève se trouvait à 24 min. 36,544 sec. de longitude Ouest de Greenwich.

L'exactitude des longitudes des 4 points de raccordement étrangers étant sujette à caution et les mesures que nous avons effectuées avec ces stations n'étant pas non plus exemptes d'erreur, il en résulte que la position trouvée pour Genève n'est naturellement pas d'une absolue précision; cependant, cette valeur doit être juste à quelques centièmes de seconde près.

Ces mesures nous permettent en outre de déterminer la forme exacte de la terre (abstraction faite des irrégularités topographiques). La mensuration d'un pays repose sur un réseau de triangulation de premier ordre qui s'étend sur tout le territoire à mesurer. On mesure les angles de chacun des triangles du réseau et au moins un des côtés; il est alors possible de calculer la position relative de tous les points. Si l'on admet que la terre a une forme déterminée, par exemple celle d'un ellipsoïde de révolution aux dimensions connues, on peut calculer les coordonnées géographiques de tous les points du réseau de triangulation, ainsi que leurs différences de longitude. Ces dernières devraient correspondre à celles déterminées directement par les observations astronomiques. Si ce n'est pas le cas, c'est que notre supposition concernant la forme de la terre est fautive. Ou bien la courbure (aplatissement de l'ellipsoïde) est autre que nous ne le supposions; ou bien, ce qui est en effet le cas, la surface géométrique de la terre

oberfläche ist gar kein Rotationsellipsoid. Das ist effektiv der Fall. Aus den Abweichungen der astronomisch bestimmten geographischen Koordinate von den geodätischen kann die wahre Erdform, das sog. *Geoid*, abgeleitet werden. Das ist die vornehmste Aufgabe der höheren Geodäsie, an deren Lösung schon mehr als 2000 Jahre gearbeitet wird und die heute noch nicht restlos gelöst ist, die vielleicht überhaupt nicht lösbar ist, weil die Erdform möglicherweise nicht beständig ist.

Als drittes wesentliches Problem, das durch Längenbeobachtungen erforscht werden kann, ist die Veränderung der Lage der Punkte auf der Erdoberfläche zu erwähen. Wir haben bereits festgestellt, dass die modernen schweizerischen Längenbestimmungen gegenüber den älteren im gleichen Sinne stark veränderte Resultate ergeben. Es ist noch nicht abgeklärt, ob diese Unterschiede wirklich auf der Veränderung der gegenseitigen Lage der Punkte beruhen, oder ob die Unterschiede nur scheinbar sind, also durch gewisse äussere Umstände bei den Messungen vorgetäuscht wurden. Dass Verschiebungen von Punkten der Erdoberfläche in grossem Stil vorgekommen sind, wird heute in der Fachwelt wohl kaum mehr bezweifelt. Die Verschiebung ganzer Kontinente auf der Erdoberfläche wurde schon 1668 von P. Placet angenommen und von Snider 1858 in einer mit Zeichnungen versehenen Publikation verfochten. In neuerer Zeit hat Wegener sich eingehend mit dieser Theorie beschäftigt, weshalb die Hypothese der Kontinentalverschiebungen (zu Unrecht!) nach ihm benannt wurde. Nach dieser Hypothese sollen z. B. Nord- und Südamerika mit Europa und Afrika einmal zusammengehangen haben. Die beiden ersteren Kontinente hätten sich vor Jahrmillionen von letzteren getrennt und der Atlantische Ozean sei ständig breiter geworden. Solche Bewegungen gehen nur langsam vor sich, und nichts lässt sich gegen die Annahme, dass sie heute noch fort dauern, einwenden. Durch Längenbestimmungen zwischen bestimmten Punkten, die von Zeit zu Zeit wiederholt werden, müssen sich Verschiebungen feststellen lassen. So hat man z. B. aus Längenbeobachtungen der letzten Dezennien eine relative Drift zwischen Punkten von Europa und Amerika von etwa einem Meter jährlich berechnet. Diese Zahl ist im Hinblick auf den kurzen Zeitabschnitt, den die Beobachtungen einschliessen, noch unsicher.

Um solche Kontinentalverschiebungen zu überwachen, hat die internationale Erdmessung im Jahre 1924 die Beobachtung von Längendifferenzen, die den ganzen Erdball umschliessen, organisiert. Im Jahre 1926 gelangten die Messungen zur Ausführung. Das Resultat der Arbeiten war insofern überraschend, als die Summe aller Längendifferenzen nur um wenige Tausendstel einer Sekunde vom theoretischen Wert (24 Std.) abweicht. Ob die Genauigkeit der gefundenen Längen der einzelnen Punkte des Polygons gleich gross ist, ist noch nicht erwiesen. Diese Punkte sollen als Basis für künftige Messungen dienen. Im Jahre 1930 ist in Stockholm beschlossen worden, die Operation der Weltlängenbestimmungen im Jahre 1933 zu wiederholen.

Dr. P. Engi, Zürich.

n'est pas du tout un ellipsoïde de révolution. L'écart constaté entre les coordonnées géographiques déterminées par des observations astronomiques et celles établies par les procédés géodésiques nous permet de trouver la forme exacte de la terre, le géoïde. C'est là le problème capital dont s'occupe la géodésie supérieure et à la solution duquel on travaille depuis plus de 2000 ans; problème qu'on n'est pas encore parvenu à résoudre et qu'on ne résoudra peut-être jamais car il est fort probable que la forme de la terre varie constamment.

Le troisième grand problème que les mesures de longitudes nous permettent d'approfondir est celui du changement de position des lieux à la surface du globe. Nous avons déjà constaté que les mesures de longitude effectuées en Suisse ces dernières années avaient donné des résultats très différents de ceux obtenus auparavant et que ces résultats variaient tous dans le même sens. On n'est pas encore parvenu à savoir si ces différences proviennent véritablement d'un déplacement des positions relatives des lieux ou si elles ne sont qu'apparentes, c'est-à-dire dues à des circonstances extérieures ayant influencé les mesures. Le P. Placet supposait déjà en 1668 que des continents entiers se déplaçaient, supposition qui fut propagée en 1858 par Snider, qui discuta ce problème dans un ouvrage illustré de dessins. Wegener s'étant, à une époque plus récente, occupé plus en détail de cette théorie, on donna (à tort!) son nom à l'hypothèse des translations continentales. Selon cette hypothèse, par exemple, il fut un temps où l'Amérique du Nord et du Sud étaient réunies à l'Europe et à l'Afrique. Les deux premiers continents se seraient ensuite séparés des deux autres, il y a des millions d'années, laissant entre eux l'Océan Atlantique qui serait allé constamment en s'élargissant. Des mouvements de cette nature ne s'effectuent que lentement, et il n'y a pas de raisons qui puissent nous empêcher de croire que ces mouvements continuent aujourd'hui encore. L'importance de ces déplacements peut être déterminée par des mesures de longitudes effectuées de temps en temps entre certains points déterminés. C'est ainsi, par exemple, que les mesures de longitudes entreprises au cours des dernières décennies ont permis d'observer un déplacement relatif annuel d'un mètre entre certains points d'Europe et certains points d'Amérique. Etant donné le court espace de temps sur lequel se répartissent les observations, ce chiffre ne peut pas encore être considéré comme définitif.

Afin de contrôler ces déplacements de continents, l'association géodésique internationale organisa en 1924 des observations de différences de longitude devant englober toute la terre. Ces mesures furent faites en 1926 et donnèrent ce résultat surprenant que la somme des différences de longitude observées correspond à quelques millièmes de seconde près à la somme théorique (24 heures). Mais il n'est pas encore prouvé que les longitudes déterminées pour les différents points du polygone aient une exactitude aussi grande. Ces points doivent servir de base pour les mesures à venir. En 1930, à Stockholm, il a été décidé que les opérations de mesures de longitudes étendues au globe entier seraient renouvelées en 1933.

Dr. P. Engi, Zurich.