

Relative Schweremessungen in Württemberg.

1. 10 Stationen auf dem Tübinger Meridian (Fürfeld, Schwaigern, Brackenheim, Freudenthal, Markgröningen, Solitude, Schönaich, Lustnau, Mössingen, Bitz).

Mit Tafel XII—XIV und 8 Textfiguren.

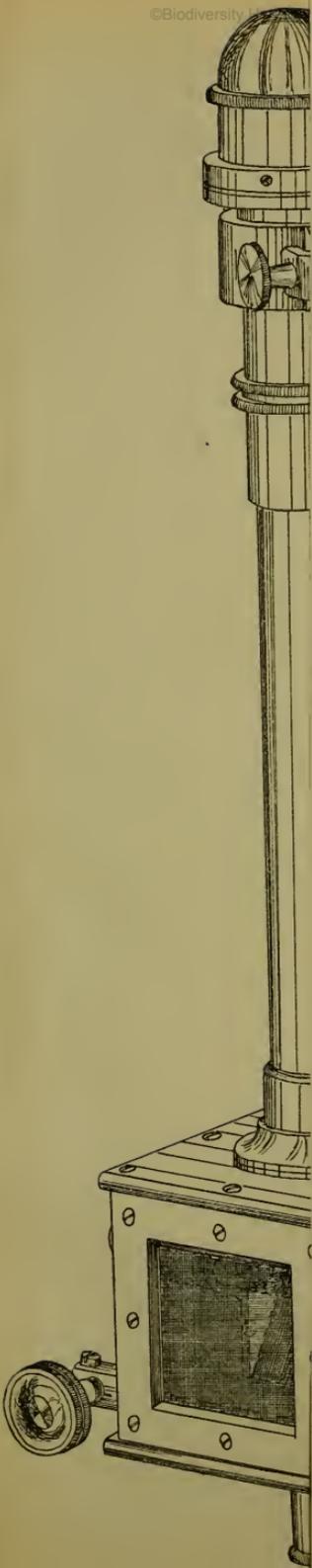
Von K. R. Koch.

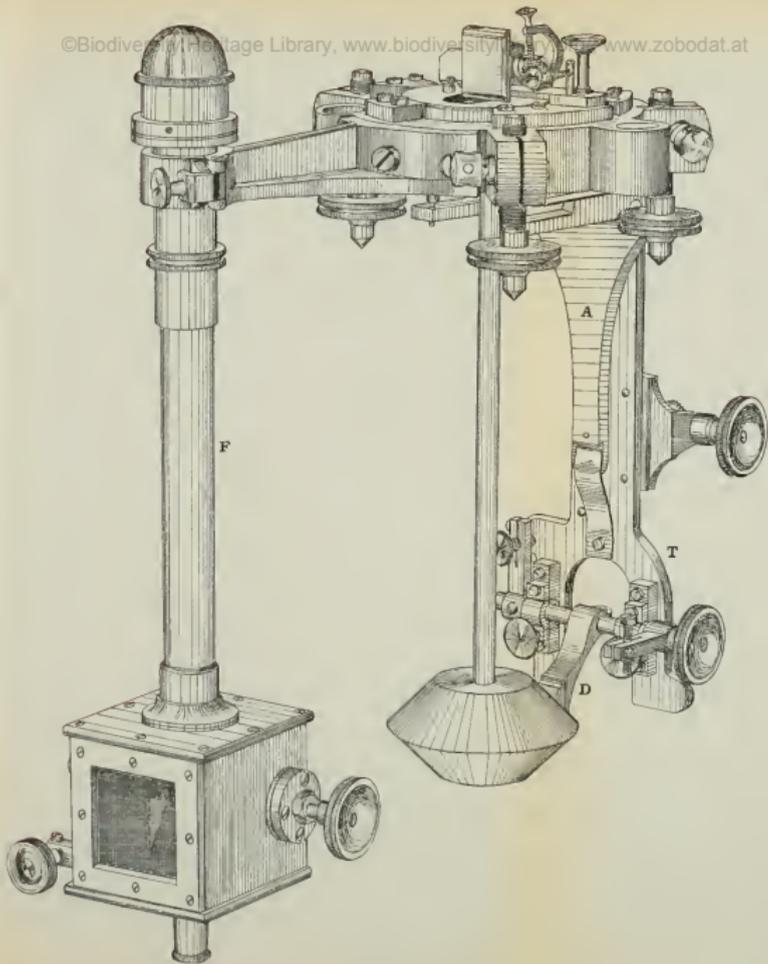
Einleitung.

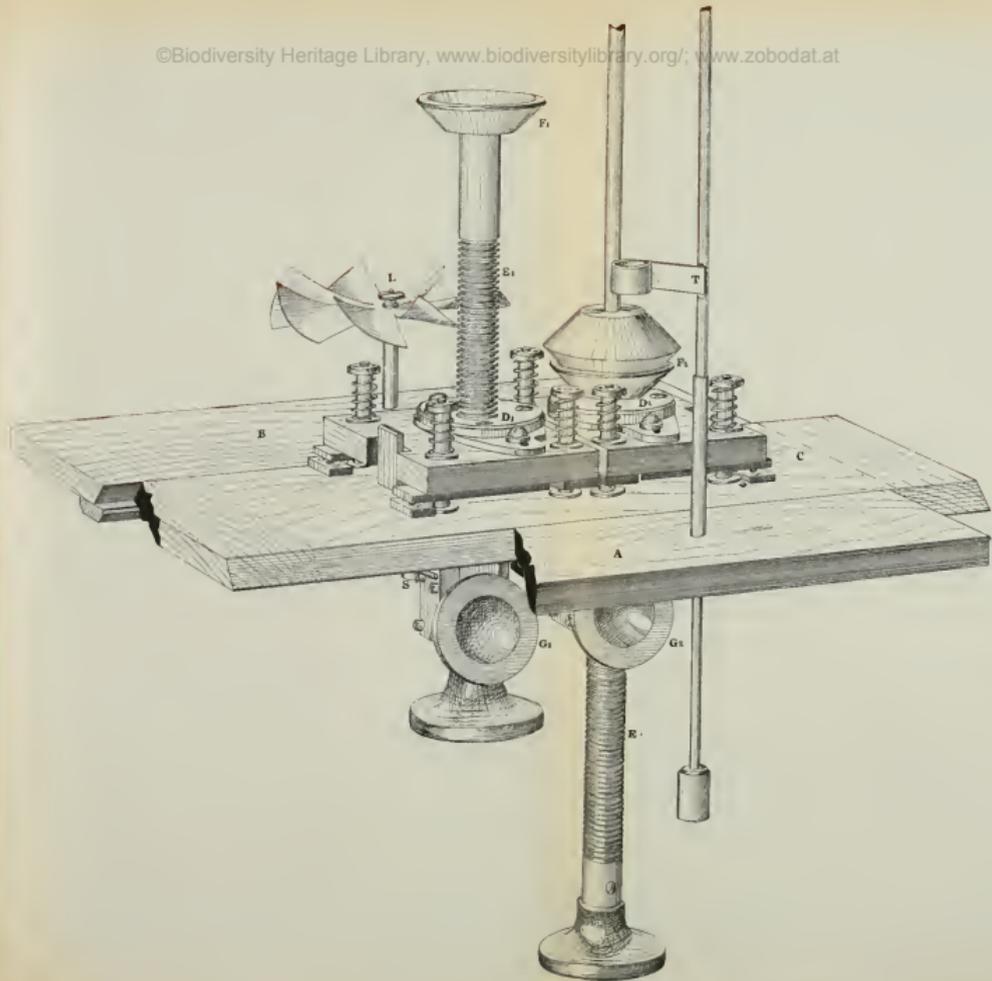
Im Jahre 1895 wurden durch Beschluss des Kgl. württembergischen Ministeriums des Kirchen- und Schulwesens Mittel beim Landtage beantragt und für die folgenden Etatsperioden von diesem bewilligt, um im Königreich Württemberg relative Schweremessungen auszuführen. Nach einem daraufhin vom Verfasser dieses ausgearbeiteten Plan sind in Abständen von ungefähr 10—20 km Entfernung Orte ausgewählt worden, in denen die Messungen angestellt werden sollen, so dass Württemberg mit einem verhältnismässig dichten Netz von Stationen bedeckt sein wird. Die Anzahl derselben beträgt ungefähr 90, auf denen in 10—12 Jahren die Beobachtungen ausgeführt sein dürften; bei der Auswahl der Stationen war auf leichte Zugänglichkeit — es wurden möglichst solche Orte gewählt, die in der Nähe der Eisenbahnen lagen —, sowie, entsprechend der angewandten Methode, auf Nähe des Fernsprechnetzes gesehen worden; hierdurch ist es erklärlich, dass die Stationen nicht ganz genau in gleichen Abständen sich befinden.

In erster Reihe wurden die Schweremessungen auf den zehn (württemb.) Stationen des Tübinger Meridians ausgeführt, auf denen in den Jahren 1898—1899 Polhöhenmessungen¹ angestellt worden sind, so dass für diese Stationen nunmehr Richtung und Intensität der Schwerkraft festgelegt erscheinen.

¹ Veröff. d. Kgl. Württ. Komm. f. d. internationale Erdmessung. IV. Heft. Astronom. Nivellement durch Württemberg; bearb. von Dr. E. Hammer. Stuttgart 1901.







Taf. XIV.



©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



Erst im Jahre 1899 jedoch konnte definitiv mit den Schwere-messungen begonnen werden; dieselben erfuhren nämlich notgedrungen mehrfach Aufschub aus nachstehenden Gründen. Sogleich beim Empfang (im Jahre 1895) des von E. SCHNEIDER in Wien gelieferten Apparates schien es mir nach Erfahrungen, die ich längere Zeit vorher bei Untersuchungen mehr physikalischer Natur zu machen Gelegenheit hatte, äusserst zweifelhaft, ob die Stabilität des ganzen Apparates so gross sein möchte, dass man von dem Fehler des Mitschwingens des Stativs und Pfeilers, wie bis dahin geschehen war¹, absehen konnte. Ein nur provisorisch und äusserst primitiv konstruiertes Fadenpendel² zeigte denn auch, dass ein nicht unbedeutendes Mitschwingen thatsächlich vorhanden war. Ich beschloss deshalb, zu versuchen, eine Methode aufzufinden, bei der nicht sowohl diese, sondern auch noch andere mögliche Fehler thunlichst vermieden werden möchten. Da ich diese Untersuchungen nur neben meinen zahlreichen beruflichen Geschäften und meinen sonstigen wissenschaftlichen Arbeiten ausführen konnte, jede Neuerung zudem grössere konstruktive mechanische Abänderungen der Apparate erforderte, so mag es begreiflich erscheinen, dass die Ausarbeitung dieser Methode eine verhältnismässig längere Zeit in Anspruch nahm.

Um irgend eine Fehlerquelle zu eliminieren, kann man offenbar verschiedene Wege einschlagen. Vielfach sucht man weniger den Fehler selbst zu beseitigen, als vielmehr eine Methode ausfindig zu machen, ihn mit möglicher Schärfe zu bestimmen und in Rechnung zu ziehen. Mir scheint geratener zu sein, den Fehler, soweit es möglich ist, selbst so klein zu machen, dass er als verschwindend zu vernachlässigen ist; hierbei ist jedoch selbstverständlich zur Konstatierung seiner thatsächlichen Kleinheit eine möglichst empfindliche Methode unumgänglich notwendig.

Ausser diesem durch das Mitschwingen erzeugten Fehler werden auch noch andere in Betracht kommen und eine Korrektion, bezw. wenn möglich eine Beseitigung verlangen. Es wird sich, um dieselben im Zusammenhang aufzuführen, hauptsächlich um folgende Fehler handeln:

¹ Die Versuche, die hierüber bereits zu jener Zeit im Kgl. preussischen geodätischen Institut in Berlin (Potsdam) im Gange waren, waren mir damals noch unbekannt.

² Es bestand dies einfach aus einem gespaltenen Schrotkugelchen, in das ein Kokonfaden geklemmt war, der am Kopf des Pendelstativs mit Klebwachs befestigt wurde. Zum Schutze gegen Luftströmungen war das Ganze von einem einseitig geschlossenen Glasrohr umgeben.

1. Der Fehler, wie soeben erwähnt, der durch das Mitschwingen der Auflagevorrichtung des Pendels hervorgerufen wird.

2. Der Fehler, der aus Temperaturschwankungen während der Beobachtung resultiert, denen das Pendel in der Regel in anderer Weise als die angewandten Thermometer folgen wird.

3. Der Fehler, der aus ungenauer Kenntnis der Länge der Zeitsekunde folgt.

4. Der Fehler, der durch ungenaue Fixierung des Zeitpunktes der Koincidenzen begangen wird.

Den unter (1.) erwähnten Fehler suchte ich durch Konstruktion eines neuen Pendelstativs, den unter (2.) durch Anbringen einer Vorrichtung am Schutzkasten zu heben, durch welche die Pendel, ohne denselben zu öffnen, ausgewechselt werden konnten, ferner noch dadurch möglichst unschädlich zu machen, dass ich alle Beobachtungen in Kellern, also Räumen möglichst konstanter Temperatur und zu einer passenden Jahreszeit anstellte. Der Fehler unter (3.) des Uhganges wurde durch gleichzeitige Beobachtungen auf der Central- und Feldstation beseitigt, der Fehler unter (4.) thunlichst durch günstige Gruppierung der Koincidenzbeobachtungen um wahre (nicht interpolierte) Koincidenzen zu eliminieren gesucht.

Der Pendelapparat.

Das neu konstruierte Pendelstativ ist im Princip bereits in meiner Mitteilung: Über relative Schweremessungen (Z.-S. f. Instrumentenkunde 1898, S. 293 ff.) beschrieben worden; dasselbe sollte der Forderung gerecht werden, den Fehler, der durch das Mitschwingen hervorgerufen wird, so zu verkleinern, dass er zu vernachlässigen ist. Diese geforderte Stabilität glaube ich in folgender Weise erreicht zu haben.

In einer Mauerecke — wenn möglich der Hauptfundamentmauern eines massiven Hauses — ist beiderseits (Fig. 1) — also quer übers Eck — ein eiserner -Träger eingemauert. Dieser bildet die Unterlage für das auf ihm festgeschraubte eigentliche Pendelstativ. Die Dimensionen dieses eisernen Balkens sind $60 \times 12 \times 5.5$ cm bei 2,5 cm Materialdicke; die Tiefe der Einmauerung betrug mindestens 20 cm; sie war ausgeführt mit Cement, da die Verbindung dieses Materials mit dem Eisen (des Trägers) bekanntermassen eine sehr innige ist. Es hat sich in der That gezeigt, dass von 15 bisher eingemauerten und später benutzten Trägern nur einer Spuren einer Lockerung zeigt; ich glaube wenigstens das an

ihm zu beobachtende Mitschwingen des Fadenpendels — das allerdings immer noch so gering ist, dass es erst in höheren nicht mehr in Betracht kommenden Decimalen der Schwingungsdauer eingeht — auf eine solche sonst nicht weiter nachweisbare Lockerung zurückführen zu müssen, zumal das Mitschwingen an diesem Träger erst nach längerer Zeit (etwa nach zwei Jahren) aufgetreten ist. Den Grund für diese grosse Stabilität glaube ich darin zu finden, dass die beiden Mauern, in denen der Träger eingemauert ist, gleichsam als unendlich grosse Massen wirken, die an den beiden Enden des Trägers

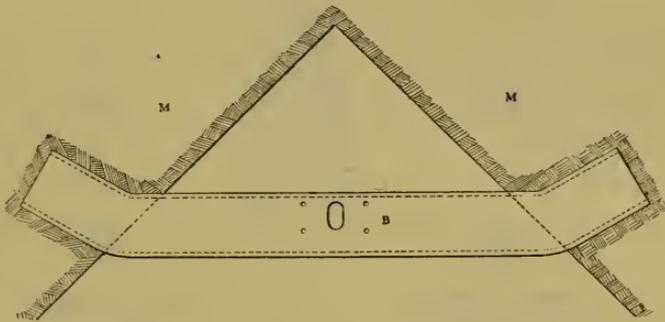


Fig. 1.

befestigt sind; dies System wird infolgedessen an den Schwingungen des Pendels nicht teilnehmen können¹.

Auf diesen Träger war zunächst eine 10 mm dicke Eisenplatte (*A*) (cfr. Fig. 2) mit vier starken Schrauben fest aufgeschraubt; diese trug drei gleichfalls starke Zapfen (*Z*) mit Gewinde, die durch drei Öffnungen der eigentlichen sehr dicken Stativplatte (*P*) hindurchgingen. Diese Öffnungen waren oben cylindrisch erweitert, um Platz für eine sehr starke Stahlspiralfeder (*S*) zu schaffen, auf welche die Muttern (*M*) drückten. Die Stativplatte (*P*) selbst trug drei Fusschrauben (*F*). Mit Hilfe der Muttern (*M*) konnte mithin die Platte (*P*) so fest, wie es gewünscht wurde, gegen die Auflageplatte (*A*) gepresst werden, da die Muttern (*M*) bis zur Berührung mit der Platte (*P*), wenn nötig, herabgeschraubt werden konnten. Da die Platte eine Stärke von 2,5 cm hatte, so ist eine nennenswerte Deformation (Verziehen) der Platte nicht zu befürchten. Auf der ebenen Oberfläche dieser Platte war dann die ebene Achat-

¹ Ein Mauerstativ anderer Art ist auch von Herrn Oberst v. Sterneck 1894 konstruiert und in Veröffentlichungen des hydrographischen Amtes der K. u. K. Kriegsmarine Gr. III: Relative Schwerebestimmungen 1. Heft, Pola 1897, beschrieben worden.

platte, welche das eigentliche Lager der Pendelschneide bildete, in derselben Weise, wie auf den v. STERNECK'schen Apparaten, befestigt. Die für die Beobachtung notwendige horizontale Stellung der Achatplatte wurde dann in der Weise ausgeführt, dass vermittelst der bekannten Aufsatzlibelle, nachdem die Muttern (*M*) gelockert waren, durch die drei Fusschrauben (*F*) die Achatplatte horizontal gestellt wurde, alsdann wurden die drei Muttern (*M*) möglichst gleichmässig mehr und mehr angezogen, hierbei das aufgesetzte Niveau beobachtet

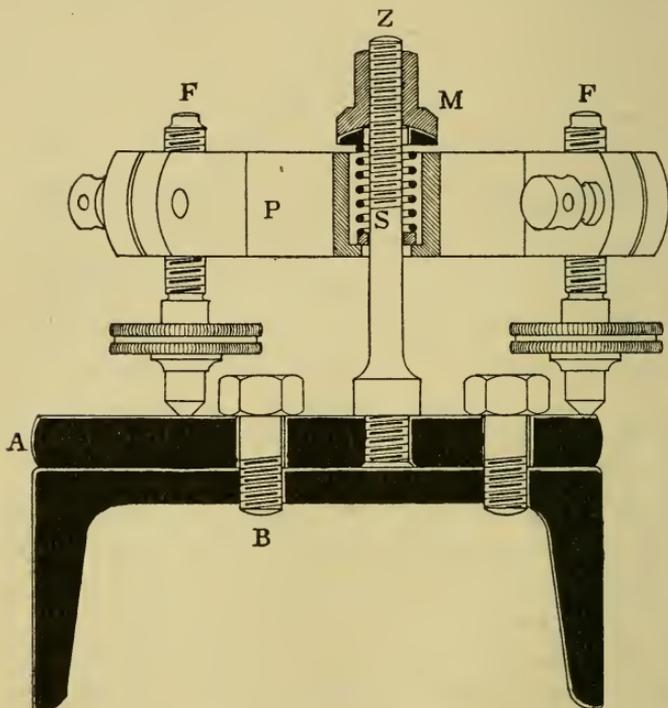


Fig. 2.

und etwaige Anschläge des Niveau durch Schrauben an (*F*) oder an den Muttern (*M*) rückgängig gemacht. Durch allmähliches Anziehen der Muttern (*M*) gelang es dann sowohl, wie bemerkt, die Horizontalität der Auflage- (Achat-) Platte zu erhalten, als auch die Platte (*P*) äusserst fest gegen (*A*) und damit auch (*F*) zu pressen, so dass Balken (*F*), Unterlageplatte (*A*) und Stativplatte (*P*) nebst der Achatplatte als ein starrer Körper anzusehen sind. An der Stativplatte (*P*) ist nun ausser dem sogleich zu beschreibenden Fadenpendel (*F*) (cfr. Totalansicht Taf. XII) ein nach unten gerichteter Arm (*A*) angebracht, der die dem v. STERNECK'schen Apparat

nachgebildeten Vorrichtungen zur Erzeugung der Amplitude und zur Arretierung des Pendels, bezw. Entlastung seiner Schneiden trägt. Da diese instrumentellen Anordnungen ausser in den Originalabhandlungen v. STERNECK's in den meisten späteren Publikationen anderer Beobachter jeweils wieder beschrieben sind, so kann hier füglich von einer nochmaligen Beschreibung Abstand genommen werden und mögen diese Vorrichtungen aus der Totalansicht Taf. XII oder aus den früheren Beschreibungen entnommen werden.

Die Stabilität* der Aufstellung.

Zur Prüfung der Stabilität dieser neuen Pendelaufstellung dient das an der Stativplatte *P* befestigte Fadenpendel *F*; dasselbe ist im Prinzip bereits in meiner oben citierten kleinen Mitteilung S. 293 bis



Fig. 3.

294 beschrieben. Gerät die Unterlage, also auch die Achatplatte nebst der Stativplatte (*P*) in Mitschwingungen, so muss das an ihr befestigte Fadenpendel ebenfalls Schwingungen ausführen. Gewöhnlich verfährt man bei dieser Beobachtung so, dass man ein Mikroskop auf einen möglichst tiefen Punkt des Fadens, der also in möglichst grossem Abstand vom Aufhängepunkt sich befindet, richtet; durch ein Okularmikrometer wird die Grösse des Ausschlags des Pendels bestimmt und unter Berücksichtigung des Abstandes des beobachteten Punktes vom Aufhängungspunkt in Winkelwert ausgedrückt. Da ich diese Methode nicht sehr grosser Genauigkeit für fähig halte, so verfuhr ich in der l. c. 293/4 angegebenen Weise.

An dem Kokonfaden *F* (Fig. 3 bezw. Taf. XII) dessen Länge

durch eine feine Suspensionsvorrichtung (*B*) beliebig variiert werden konnte, war ein horizontal gerichteter Spiegel (*S*) unifilar aufgehängt, der zugleich das Gewicht des Fadenpendels abgab. Vermittelt des Reflexionsprisma (*P*), Fernrohr *T* und Skala (*Sk*) konnten etwaige Schwingungen desselben mit grosser Präcision bestimmt werden. Es wurde auch wohl, da möglicherweise nicht nur Schwingungen des Fadenpendels nach vor- und rückwärts, also parallel den Schwingungen des Hauptpendels auftreten möchten, die gewöhnlich vertikal gestellte Skala durch Koordinatenpapier (Millimeterpapier) ersetzt, um auch Schwingungen in anderer Ebene zu beobachten; doch fanden die etwa vorkommenden Schwingungen (wenn z. B. mit Absicht die Verschraubungen an der Stativplatte etwas gelockert wurden) fast ausschliesslich in einer zur Schwingungsebene des Hauptpendels parallelen Ebene statt. Das Fadenpendel war in einem Rohr (*R*) und Kasten (*G*) luftdicht (Lederdichtung) eingeschlossen, das Rohr (*R*) oben durch eine ebenfalls luftdicht schliessende Kappe (*K*) geschlossen; dies war geschehen um einesteils das Pendel vor störendem Luftzug zu schützen, andernteils war beabsichtigt zur grösseren Empfindlichkeit das Fadenpendel in einem Vakuum schwingen zu lassen; es war zu dem Zwecke bei *C* ein Stutzen angesetzt durch den der Anschluss an eine Luftpumpe bewerkstelligt werden konnte. Es zeigte sich jedoch, dass in einem guten Vakuum das Fadenpendel bei dem Fehlen der Luftdämpfung überhaupt nicht zur Ruhe kam, da zumal in einer verkehrsreichen Strasse der Boden niemals frei von Erschütterungen ist; andererseits ist das Mitführen einer passenden Luftpumpe auf die Feldstationen beschwerlich und die Dichtungen des würfelförmigen Prismenkastens (*G*) sind nicht immer zuverlässig. Ich sah deshalb bei den Beobachtungen auf den Feldstationen von einer Evakuierung ab. Beim Transport ruhte der Spiegel (*S*) des Fadenpendels auf der ringförmigen Arretierungsvorrichtung (*A*), die durch Drehen an der excentrischen Vorrichtung (*E*) zwecks der Arretierung des Spiegels gehoben werden konnte. Der Spiegel wird natürlich, nachdem die Arretierung gelöst ist, anfänglich auch langsame Drehungen um die vertikale Achse (Torsionsschwingungen) ausführen und da es kaum gelingen wird, wenigstens nicht durch einfache Mittel die Ebene des Spiegels genau senkrecht zur Vertikale des Fadens zu orientieren, so wird im Fernrohr ein entsprechendes scheinbares Wandern des Skalenbildes nicht zu vermeiden sein; bei Vorhandensein von Luft im Fadenpendelraum stellt sich jedoch infolge der dämpfenden

Wirkung der Luft der Spiegel nach einigen Stunden in die Gleichgewichtslage ein.

Da es sich bei dem Mitschwingen des Fadenpendels um Resonanzschwingungen handelt, so werden dieselben offenbar um so eher auftreten, es wird dasselbe also um so empfindlicher sein, je genauer das Fadenpendel auf das Hauptpendel abgestimmt ist. Diese Abstimmung lässt sich nun aber in sehr genauer Weise mittelst des Koincidenzapparates¹ vornehmen, da die Schwingungen des Fadenpendels wie die des Hauptpendels ebenfalls durch Beobachtung mit Spiegel, Fernrohr und Skala stattfinden. Beobachtet man am Hauptpendel ein Koincidenzintervall von n -Sekunden, so lässt sich ebenso (indem man das Fadenpendel künstlich in Schwingungen versetzt) durch Veränderung der Länge des Fadens leicht auf 0,5 Sekunden dasselbe Koincidenzintervall herstellen. Da nun einer Änderung im Koincidenzintervall von 0,1 Sekunde eine Änderung von 2 Hunderttausendstel Sekunden in der Schwingungsdauer entspricht, so ergibt sich, dass die Abstimmung auf $\frac{1}{10000}$ Sekunde leicht zu bewerkstelligen ist.

Die Genauigkeit mit der sich ein Schwingen des Fadenpendels — als das Mitschwingen selbst — bestimmen lässt, ist wie bei allen Instrumenten, bei denen Spiegelablesung angewendet wird, sehr gross. Bei hinreichender Güte der spiegelnden Flächen, und überhaupt der Optik des Fernrohrs etc., starker Vergrösserung und hinlänglicher Helligkeit der Skala kann man letztere in verhältnismässig grossen Entfernungen aufstellen — das Fernrohr etwa ebenfalls mit der Skala zu entfernen hat keinen Zweck, man wird es vielmehr möglichst nah an den Spiegel, also an das Fadenpendel bringen —; ich habe zum Teil Abstände zwischen Spiegel und Skala von 9 bis 10 m benutzt; bei dieser Entfernung entspricht einem Skalenausschlag von $\frac{1}{10}$ mm, der noch gut beobachtbar ist, ungefähr eine Bogensekunde Amplituden-Ausschlag des Fadenpendels. Beobachtet man mit einer derartigen Genauigkeit, so findet man allerdings, dass das Fadenpendel, auch wenn das Hauptpendel vollkommen aus dem Apparat entfernt ist, niemals ganz zur Ruhe kommt, wenigstens nicht in Stuttgart, wo diese Beobachtungen angestellt sind.

Es kann jetzt die Frage nach der Stabilität des ganzen beantwortet werden. Auf allen Stationen wurde nach jeder Messungs-

¹ Da sich der von mir benutzte Koincidenzapparat nur in unwesentlichen Dingen von dem von Herrn v. Sterneck benutzten unterscheidet, so mag hier von einer Beschreibung abgesehen und auf die Originalbeschreibung verwiesen sein.

reihe eine Beobachtung des Fadenpendels vorgenommen; hierbei wurde niemals eine nennenswerte Schwingung desselben beobachtet — wie schon erwähnt, befindet sich dasselbe meist in einer gewissen Unruhe, auch ohne dass das Hauptpendel Schwingungen ausführt — nie wurde aber eine Vergrößerung derselben beim Schwingen des Hauptpendels beobachtet, die Schwingungsamplituden des letzteren betragen hierbei 10 bis 15 Bogenminuten. Es wurden ferner dem Hauptpendel Amplituden, so gross wie die Dimensionen des Apparates es erlaubten, nämlich ungefähr von 12 Grad = 720 Bogenminuten erteilt; auch bei einer solchen Gewaltprobe blieb das Fadenpendel vollkommen ruhig; nur an einem der 15 eincementierten Balken und zwar an einem der Balken in Stuttgart zeigte sich hierbei ein Mitschwingen, das, wie schon anfänglich erwähnt, wahrscheinlich auf eine geringe Lockerung des Trägers in der Mauer zurückzuführen ist; auch hier ist dies Mitschwingen aber nur gering, die erreichte Maximalamplitude des Fadenpendels betrug bei der Schwingungsamplitude des Hauptpendels von 720 Minuten nur 2 Bogenminuten; dies würde an dem Wert der Schwingungsdauer des Hauptpendels nur eine Korrektion hervorrufen, die eine Einheit der 7. Decimale noch nicht erreicht, also die Schwingungsdauer des benutzten Halbsekundenpendels noch nicht um $\frac{1}{10000000}$ einer Sekunde ändern würde.

Ich glaube, dass hierdurch eine genügende Stabilität der Aufstellung gewährleistet werden kann. Alle sonstigen von mir versuchten Aufstellungen, bei denen die Fläche, welche zur Auflage der Pendel dient, konsolartig in der Wand befestigt ist, also mit einem gewissen Stück aus der Wand frei herausragt (z. B. nach vorn gekröpfter Träger), sind meiner Erfahrung nach nicht ganz frei vom Mitschwingen.

Die Temperaturänderungen im Pendelkasten und ihre Verhütung.

Bekanntlich wird zum Schutze des Pendels gegen Luftströmungen, Wärmestrahlung und Leitung der Pendelapparat mit einem Kasten überdeckt unter dem das Pendel seine Schwingungen ausführt und durch dessen Spiegelglasscheiben hindurch die Beobachtungen stattfinden.

¹ cf. v. Orff: Abh. der Kgl. bayer. Akad. II, Cl. XIV, 3. Abt. — Schumann: Astr. Nachr. Bd. 140, No. 3353, 1896. — Kühnen: In: Bestimmung der Polhöhe und Intensität der Schwerkraft auf 22 Stationen etc. 1896, p. 248 ff. — Haid: Astr. Nachrichten Bd. 143, No. 3418, 1897. — Ders.: Astr. Nachrichten Bd. 146, No. 3499, 1898.

Auch der vorher beschriebene Pendelapparat wurde mit einem solchen Schutzkasten versehen; selbstverständlich musste derselbe etwas anders konstruiert sein, da der eiserne Träger in gewisser Hinsicht hinderlich ist. Der Kasten war deshalb aus zwei Teilen, einem oberen bis zum Träger reichenden und einem unteren zusammengesetzt, die beide an einem eisernen Rahmen aneinandergeschraubt werden; die Seitenwände waren entsprechend der Form des -Trägers ausgeschnitten. Um auch etwaigen Staub möglichst abzuhalten, wurden die noch bleibenden Spalten und Fugen mit Watte ausgestopft. Damit das Ganze namentlich vor Strahlungseinflüssen geschützt wäre, war der ganze Kasten (der aus Holz und Glas konstruiert war) an den Wänden mit hochglanzpolierten vernickelten Eisenblechen verkleidet, die nur an den Stellen, durch die die Beobachtungen stattfanden, mit Ausschnitten versehen waren.

Bekanntlich müssen alle beobachteten Werte der Schwingungsdauern, um sie miteinander vergleichbar zu machen, auf eine Normaltemperatur (gewöhnlich 0° C.) reduziert werden. Ist der Ausdehnungskoeffizient bekannt, so ist diese Reduktion in bekannter Weise leicht auszuführen, wenn die Temperatur speciell der Pendelstange hinreichend genau bekannt ist. Die Ermittlung des Temperaturkoeffizienten wird in einem besonderen Kapitel behandelt werden. Eine grosse Schwierigkeit liegt jedoch in der Ermittlung der wahren Temperatur des Pendels. Anzustreben ist eine Genauigkeit der Bestimmung der Schwingungsdauer auf $\frac{1}{10000000}$ der Sekunde, also auf 1 Einheit der 7. Decimale der Schwingungsdauer; der Temperaturkoeffizient, d. h. also die Änderung der Grösse der Schwingungsdauer für eine Temperaturänderung von 1° beträgt jedoch circa 50 Einheiten der 7. Decimale, es folgt daraus, dass die Temperatur der Pendelstange auf $\frac{2}{100}^{\circ}$ genau bekannt sein sollte, wenn die reduzierte Schwingungsdauer mit jener Genauigkeit bestimmt werden soll. Für einen Raum konstanter Temperatur und ohne Temperaturgradienten bietet eine solche Bestimmung keinerlei Schwierigkeit, dagegen wird dies nahezu unmöglich, wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind. Ich versuchte die gewünschte Genauigkeit in folgender Weise zu erreichen. Zunächst wählte ich als Beobachtungsräume solche, die sich von selbst schon durch ziemlich konstante Temperatur auszeichnen, nämlich möglichst tief gelegene Keller, ferner brachte ich

¹ Hierdurch sind zugleich die erdmagnetischen Kraftlinien im Innern beseitigt, da ein Einfluss auf die Schwingungsdauer des Pendels von seiten der erdmagnetischen Kräfte nicht undenkbar wäre.

am Pendelkasten eine Vorrichtung an, um die notwendige Auswechslung der Pendel vornehmen zu können, ohne den Kasten irgendwie zu öffnen; um endlich Temperaturgradienten, die auf irgend eine Weise im Kasten entstehen möchten, zu beseitigen, war im Boden des Kastens eine Luftschraube angebracht, die eine Mischung etwa ungleich temperierter Luftschichten hervorbringen sollte.

Zu fürchten sind offenbar am meisten grössere Temperaturänderungen bei der Beobachtung, da es äusserst schwer erscheint, ein Thermometer zu konstruieren, das den Temperaturänderungen in demselben Tempo folgt wie das benutzte Pendel. In der Regel zeigt das Thermometer Temperaturänderungen eher an als das Pendel, ist also empfindlicher; es handelt sich mithin zunächst darum, das Thermometer träger zu machen. Ich versuchte dies mit verhältnismässig gutem Erfolg durch Überschieben von passend dimensionierten unten geschlossenen Messingröhren über das Thermometer. Vollständig möchte dieses Gleichmachen wohl kaum gelingen und wäre bei Vorhandensein horizontaler Temperaturgradienten auch wohl illusorisch; es wird sich deshalb auch in diesem Falle empfehlen, die Fehlerquelle selbst möglichst zu verstopfen.

Zunächst wurde bei jeder Messung so verfahren, dass nach Aufstellung und Justierung des Apparates, die beiden Pendel, mit denen die Beobachtungen angestellt werden sollten, sogleich in den Pendelkasten hineingebracht wurden; darauf blieb der ganze Apparat während 27—30 Stunden sich selbst überlassen und erst dann begannen die Beobachtungen. Auch so jedoch sind konstante Temperaturen durch den ganzen Raum des Kastens nicht zu erwarten, wenn nicht der eingemauerte Balken genau die Temperatur des Kellerraumes hat, da er sonst als Wärme- bzw. Kältequelle für den Pendelkasten wirken wird. Es wurde deshalb durch ein in einer Mauerritze in der Nähe des Trägers eingestecktes Thermometer und durch ein zweites in innige Berührung mit dem Träger gebrachtes Thermometer die Temperatur beider bestimmt und mit der Lufttemperatur des Kellerraumes bzw. der im Pendelkasten verglichen. Im allgemeinen werden diese drei Thermometer nicht dieselbe Temperatur zeigen, da durch das Ein- und Ausgehen in den Kellerraum die Temperatur desselben geändert werden wird; ebenso werden die notwendigen Beleuchtungslampen, die Anwesenheit der Beobachter im grossen und ganzen Steigerungen der Lufttemperatur hervorrufen; passend wird es deshalb sein, die Beobachtungen zu einer Jahreszeit anzustellen, in der die äussere Temperatur mit der Temperatur der

Kellerräume übereinstimmt, bezw. noch etwas tiefer liegt; dann lässt sich durch geeignetes Lüften eine ungefähre Gleichheit der Temperaturen erreichen. Auf der Centralstation in Stuttgart hat es sich sehr bewährt, den Raum, in dem sich das Pendel befindet, durch einen Verschlag und eine Thür (mit Spiegelglasscheibe für die Beobachtung) von dem Raum, in dem sich der Beobachter mit Koincidenzapparat etc. befindet, zu trennen. Zur Erhellung des Raumes bezw. Erleuchtung der Thermometerskalen empfiehlt es sich, kleine, etwa 4 voltige Glühlampen (1—2 Kerzenstärke) event. zur Abhaltung der Strahlung unter Zwischenschaltung eines Glastrogs mit Alaunlösung zu benutzen. Unter Einhaltung dieser Vorsichtsmassregeln gelang es hier und da auf der Zentralstation Stuttgart die Temperatur im Pendelkasten auf einige Hundertstel Grad während der ganzen Nacht, d. h. von 9^h p. m. bis gegen 3—4^h a. m. (der Dauer der Beobachtung) konstant zu halten oder doch die Änderung so niedrig zu halten, dass sie in der Stunde nicht mehr wie ein bis zwei Hundertstel Grad betrug; dagegen traten trotz aller Vorsicht, wenn der Beobachter die Auswechslung der Pendel vornahm, doch grössere Temperaturänderungen (bis zu 0,05⁰) auf, die dann im weiteren Verlauf der Beobachtungen häufig wieder rückgängig wurden. Zur Bestimmung der Temperatur wurden Magazinthermometer in $\frac{1}{10}^0$ geteilt, in der von Herrn v. STERNECK vorgeschlagenen Form benutzt, bei denen also das Gefäss hinter der Skala auf die Länge des Halbsekundenpendels in die Höhe gezogen war, um parallel zum Pendel und in derselben Höhe angebracht allen möglicherweise verschiedenen Temperaturen in verschiedenen Höhen wie das Pendel selbst ausgesetzt zu sein. Diese Magazinthermometer, wie auch die übrigen benutzten Thermometer, waren von der hiesigen Firma Dr. MOLLENKOPF mit der grössten Sorgfalt aus Normalglas angefertigt und zeigten mit dem Normalthermometer des Instituts verglichen — für dieses ist durch sorgfältige Untersuchung die Korrektionsgrösse für die in Betracht kommenden Temperaturen bekannt — für das Temperaturintervall von 0—20⁰ eine mittlere Korrektur von $\pm 0,06$ gefunden; der Kaliberfehler war in diesem Intervall unmerklich. Diese Vergleichen waren nicht leicht auszuführen, da diese Magazinthermometer eine

¹ Es ist deshalb geplant, bei der Fortführung der Beobachtungen eine derartige transportable Scheidewand mitzuführen. Der Beobachter hat dann in dem abgeschlossenen Raum, in dem das Pendel in seinem Schutzkasten schwingt, sich nur aufzuhalten zum Zweck der Temperaturablesungen, zur Neuauflegung des Pendels bezw. zum Auswechseln desselben.

bedeutende Trägheit besitzen, weil sie von einer Glashülle umgeben sind. Es wurde deshalb bei der Bestimmung ihrer Korrektur so verfahren, dass in Räumen, in denen die Temperatur ziemlich konstant war, grosse Gefässe mit Wasser von ungefähr derselben Temperatur (wie sie der Raum besass) aufgestellt wurden, in diese wurde das Magazinthermometer in horizontaler Richtung unmittelbar neben dem in vertikaler Stellung befindlichen Normalthermometer aufgestellt und dann durch mehrere Stunden hindurch darin gelassen und von Zeit zu Zeit Ablesungen an beiden Thermometern gemacht, selbstverständlich wurde das Wasser fleissig gerührt, um die Bildung von Temperaturgradienten zu verhindern. Die Thermometer sind in $\frac{1}{10}^{\circ}$ geteilt, die Hundertstel wurden geschätzt. Die erhaltenen Werte gaben für verschiedene Versuchsreihen wegen der erwähnten Schwierigkeit nicht genau identische Werte, wenn nahezu bei denselben Temperaturen beobachtet wurde; die Werte schwankten auch hierbei um einige Hundertstel Grad; ich zog es deshalb vor, die obige mittlere Korrektionsgrösse von $+ 0,06^{\circ}$ für alle Temperaturen in Rechnung zu setzen, die auch der Nullpunktkorrektur entspricht.

Ausserdem waren anfänglich noch drei weitere Thermometer (ebenfalls in $\frac{1}{10}$ geteilt) angebracht, eines in unmittelbarer Nähe des Pendelkopfes, das zweite in der Nähe der Mitte der Pendelstange und das dritte in der Nähe der Pendellinie. Auch für diese waren mit grosser Sorgfalt die Korrekturen bestimmt. Da die Mittelwerte aus den Angaben dieser 3 Thermometer mit den korrigierten Werten, welche die Magazinthermometer ergaben, auf einige Hundertstel Grad übereinstimmten, ein merkliches horizontales Temperaturgefälle also im allgemeinen nicht vorhanden war (die Abweichungen waren bald $+$, bald $-$), so zog ich vor, zur Bestimmung der Temperatur des Pendels nur die Angaben der Magazinthermometer zu benutzen, da bei der Ablesung aller 4 Thermometer, durch die hierbei notwendige längere Beleuchtung und die Nähe des Beobachters am Pendelkasten grössere Fehler infolge von Temperaturerhöhung hervorgerufen werden, so dass die grössere Genauigkeit der Temperaturbestimmung durch die 4 Thermometer damit illusorisch werden würde, wenn das Pendel und die Thermometer den Temperaturänderungen gegenüber verschiedene Trägheit besitzen.

Führt man mit einem und demselben Pendel mehrere Messungen hintereinander aus, so beschränken sich die Arbeiten in unmittelbarer Nähe des Pendelkastens auf die folgenden: Man wird das zunächst auf die Hilfslager gehobene Pendel auf das Achatlager her-

unterlassen, ihm eine neue Amplitude in bekannter Weise erteilen und endlich eine Ablesung am Magazinthermometer vornehmen. Bei einiger Übung wird diese ganze Manipulation in einer Minute beendet sein, eine Beleuchtung in unmittelbarer Nähe des Pendels wird nur bei Ablesung des Thermometers notwendig sein, so dass die durch Strahlung hervorgerufenen Temperaturerhöhungen minimale sein werden. In der That stieg auch bei solchen Beobachtungen die Temperatur (am Magazinthermometer abgelesen) bei 6—7 Beobachtungsreihen, die 5—6^b dauerten, im ganzen im Mittel um nicht mehr als 0,08°.

Diese günstigen Verhältnisse ändern sich jedoch, wenn eine Auswechslung der Pendel vorgenommen wird. Dass bei gewöhnlicher Behandlung, wenn man die Pendel mit der Hand auswechselte, grosse Irrtümer und Unsicherheiten in Bezug auf die wahre Temperatur der Pendel nicht zu vermeiden sind, liegt auf der Hand. Eine bedeutende Verbesserung der Methode wird schon erreicht werden, wenn man so verfährt, wie es von den Beobachtern des Kgl. preussischen geodätischen Instituts bei den Beobachtungen auf der Linie Kolberg—Schneekoppe¹ geschehen ist, die die Auswechslung der Pendel vermittelt einer mit Leder überzogenen Art Zange vornahmen.

Ich beschloss, zur möglichst vollständigen Beseitigung dieser Fehlerquelle, die Auswechslung in dem Pendelkasten von aussen vorzunehmen. Für ganz genaue Standardbeobachtungen würde ich jedoch ganz auf eine Auswechslung verzichten, da durch die Nähe des Beobachters und der Beleuchtungslampe immer ein plötzliches Steigen der Temperatur von $\frac{5}{100}$ — $\frac{1}{10}$ ° am Magazinthermometer nachzuweisen ist, während man nicht genau weiss, in welcher Weise das Pendel selber an dieser Temperaturänderung teilnimmt. Bei den Anschlussbeobachtungen Stuttgart—Karlsruhe wurden in der That die Beobachtungen in der Weise ausgeführt, dass in jeder Beobachtungsnacht nur je mit einem Pendel die Messungen angestellt wurden; nach Abschluss der Beobachtungen wurde dann sofort das neue Pendel eingehängt justiert, das dann während ca. 40 Stunden sich selbst überlassen blieb und so sich sicher mit der Luft im Pendelkasten in einen Temperaturgleichgewichtszustand setzen konnte.

Um die Pendel von aussen her, ohne den Schutzkasten zu öffnen, auswechseln zu können, war folgende Einrichtung getroffen.

¹ Bestimmung der Polhöhe und der Intensität der Schwerkraft auf 22 Stationen von der Ostsee bei Kolberg bis zur Schneekoppe. Berlin 1896, S. 185.

Der Boden des Schutzkastens war in der Weise geteilt, dass das mittlere Stück (*C*) (Taf. XIII) verschiebbar war; auf diesem verschiebbaren Stück waren zwei¹ Büchsen (*D*₁, *D*₂) befestigt, die zur Führung je einer vertikalen Triebstange (*E*₁, *E*₂) dienten; die Zähne dieser Triebstange liefen ringförmig (als sogenanntes totes Gewinde) um dieselbe herum, so dass bei einer Drehung um die vertikale Achse der Trieb nicht etwa ausgeschaltet wurde. An dem oberen Ende der Triebstangen befand sich ein Teller (*F*₁, *F*₂) aus Ebonit, der genau die Form des unteren konischen Teiles der Pendellinse hatte und zur Aufnahme des Pendels bestimmt war. Durch die Triebsschrauben (*G*₁, *G*₂) konnten die Triebstangen beliebig gehoben und gesenkt werden, also auch das auf ihnen befindliche Pendel bis zur Höhe des länglichen Schlitzes (Taf. XII), der im Träger, in der Stativplatte und Achatplatte zur Durchführung des Pendels sich befand, gebracht werden, nach Hindurchbringen des Pendelkopfes konnte Triebstange samt aufsitzendem Pendel um 90° gedreht werden und letzteres mit seinen Hilfsschneiden auf die höher als die Achatplatte befindlichen Hilfslager herabgelassen werden. Nach Hinabschrauben der Triebstange hing das Pendel dann frei auf den Hilfslagern, durch Senken dieser wurde das Pendel dann wie beim v. STERNECK'schen Apparat auf das Achatlager (Achatplatte) herabgelassen; selbstverständlich konnten auch diese Manipulationen durch Handhabung von aussen bewerkstelligt werden. Die Köpfe sämtlicher Schrauben und Handgriffe, sowie die Teller (*F*), welche die Pendel trugen, waren zur Vermeidung der Wärmeleitung aus Material gefertigt, das die Wärme schlecht leitet. Es war hierbei nicht ganz leicht, bei der soeben erwähnten Drehung des Pendels um ca. 90° das Pendel genau mit den Hilfsschneiden über die Einkerbungen der Hilfslager zu bringen, da die angewandten Beleuchtungskörper möglichst fern vom Pendelkasten gehalten werden sollten; die richtige Stellung konnte jedoch leicht dadurch gefunden werden, dass an der vorderen Spiegelscheibe eine kleine, als Diopter wirkende, in einem Metallplättchen befindliche Öffnung angebracht war, durch die hindurch auf den Pendelspiegel geblickt wurde. Neben derselben, ebenfalls an der Spiegelglasplatte des Schutzkastens, befand sich eine kleine transparente Skala; es war nun leicht, den Teilstrich dieser Skala zu bestimmen, der beim

¹ Nur zwei, da nur mit je zwei Pendeln auf den Stationen beobachtet wurde; es lassen sich natürlich bei entsprechender Vergrößerung des Schutzkastens, bzw. einer Anordnung der Pendel auf einer um eine vertikale Achse drehbaren Scheibe leicht mehr Pendel zum Auswechseln unterbringen.

Hängen des Pendels in seinen Hilfslagern mit einer Marke im Spiegel selbst zusammenfiel, wenn der Beobachter durch das Löchelchen in dem Metallplättchen blickte; bis dieser Teilstrich mit der Spiegelmarke zusammenfiel, musste also auch beim Stehen des Pendels auf den Tellern (F) die Triebstange in der einen oder anderen Richtung gedreht werden.

Während dieser Arbeiten wurde die im Boden des Kastens angebrachte Luftschraube in Bewegung gesetzt, wie dies überhaupt jedesmal geschah, wenn der Beobachter in der unmittelbaren Nähe des Pendels, bezw. des Schutzkastens irgendwelche Arbeiten oder Ablesungen vorzunehmen hatte, um irgendwelche Temperaturgradienten innerhalb des Schutzkastens möglichst zu beseitigen.

Die Elimination des Fehlers des Uhrgangs.

In meiner Mitteilung: Über relative Schwerebestimmungen (Zeitschr. f. Instr. 1898, p. 293 ff.) habe ich Untersuchungsergebnisse über den Gang von sogenannten Felduhren mitgeteilt und hierbei gefunden, dass der Gang derselben sich, wie es scheint, sprunghaft ändern kann; ich habe in jener Arbeit darauf aufmerksam gemacht, dass bei Benutzung derartiger Uhren zu den Koincidenzbeobachtungen die Genauigkeit der Bestimmung der Schwingungsdauer des untersuchten Pendels notwendig heruntergedrückt werden muss. Denn die Kontrolle der Uhr vor und nach den Beobachtungen, etwa durch telegraphische Vergleichung mit der Normaluhr einer Hauptstation am Morgen und Abend des Beobachtungstages, giebt nach diesen Untersuchungen noch keine Gewähr dafür, dass der Gang in der Zwischenzeit identisch mit dem auf diese Weise ermittelten mittleren Gange ist. Ich hatte demgemäss eine Methode ausgearbeitet (l. c. 297 ff.), durch welche die Beobachtungen der Schwingungsdauern der Pendel auf den Feldstationen samt und sonders durch Benutzung der Normaluhr auf der Hauptstation ausgeführt werden. Durch Versuche auf rund 100 km Entfernung hatte ich nachgewiesen, dass diese Methode auch praktisch brauchbar sein dürfte. Der Gang dieser Normaluhr sollte alsdann durch ständige Vergleichung mit einer zweiten Normaluhr, deren Gang durch astronomische Beobachtungen kontrolliert würde, festgelegt werden. Erwägungen jedoch, dass die hiermit dem Beobachter auf der Hauptstation zugemuteten Beobachtungen nicht geringeren Zeitaufwand erfordern würden als Pendelbeobachtungen selber, ausserdem jedoch Gespräche auf der in Stuttgart im September 1898 abgehaltenen Generalkonferenz der internationalen Erd-

messungskommission mit mehreren Delegierten, vornehmlich mit Herrn Geh.-Rat HELMERT, liessen es mir ratsamer erscheinen, den Fehler des Uhrganges dadurch zu eliminieren, dass gleichzeitig mit dem Pendel auf der Feldstation ein zweites auf der Centralstation beobachtet wurde, wobei die beiden zur Beobachtung der Koincidenzen benutzten Koincidenzapparate von derselben Normaluhr der Hauptstation getrieben werden. Dass hierbei der Fehler des Uhrganges vollkommen herausfällt, zeigt eine einfache Überlegung. Zunächst mag jedoch die angewandte Anordnung selbst beschrieben sein. Bedeutet in Fig. 4 (*U*) die Uhr auf der Centralstation, bezw. das Uhr-(Sekunden-)Pendel, das nahe seinem Aufhängepunkt einen Querarm (*a*) mit Stift (*s*) besitzt; schwingt das Pendel nach rechts

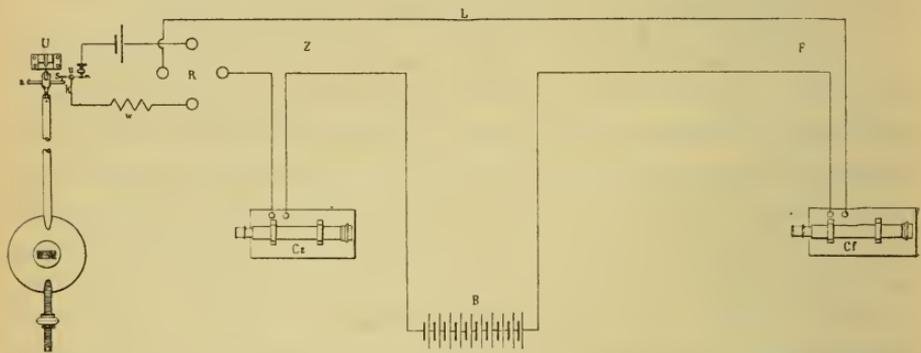


Fig. 4.

(in der Figur), so lehnt sich der Stift gegen den kleinen um (*u*) drehbaren Hebel, hebt denselben ein wenig und unterbricht damit bei (α) einen schwachen Strom eines Elementes (*E*), das durch einen grossen Widerstand (*n*) und ein empfindliches Relais (*R*)¹ geschlossen ist; im Moment der Stromunterbrechung, die offenbar immer nach zwei Sekunden stattfinden wird, wird der Anker des Relais abgerissen und damit auch ein Stromkreis unterbrochen, der von einer starken Batterie nach Bedarf (bis zu 20 Accumulatoren) (*B*) gespeist wurde; dieser Strom ging, wie aus der Figur ersichtlich, durch den Koincidenzapparat der Centralstation, von hier durch die Linienleitung zum Koincidenzapparat der Feldstation und zurück zu der Hauptstation und dem anderen Pol der Batterie. Es werden also in demselben Moment

¹ Dadurch, dass durch das Uhrpendel zunächst ein sehr schwacher Strom geöffnet und geschlossen wird, ist die Funkenbildung am Kontakt α nahezu ganz unterdrückt und der Kontakt sehr lange Zeit brauchbar.

die Ströme in beiden Ankern der Koincidenzapparate aufhören zu fließen und so jeweils durch Abreißen des Ankers jede zweite Sekunde, auf beiden Stationen gleichzeitig, markieren, und in bekannter Weise einen momentanen Lichtblitz gegen den Spiegel des schwingenden Pendels schicken (ich sehe auch hier von einer Beschreibung des bekannten v. STERNECK'schen Koincidenzapparates füglich ab, da derselbe schon so häufig beschrieben ist). Die Zählungen der Stunden, Minuten und Sekunden der eintretenden Koincidenzen auf der Feldstation sowohl, wie im Pendelraum der Centralstation, wurden durch ein mit der Pendeluhr nach mittlerer Zeit reguliertes Chronometer vorgenommen. Da dasselbe nur als Zählwerk benutzt wird, so kommt es auf etwaige kleine Gangdifferenzen dieser Zählchronometer nicht an.

Man wird nun zunächst Bestimmungen der Schwingungsdauern (t_1) und (t_2) der beiden Pendel, die mit I und II bezeichnet seien, auf der Centralstation vornehmen; der Uhrgang sei gegeben durch einen Faktor (f), mit dem t_1 und t_2 zu multiplizieren wären, um die wahren Schwingungsdauern, entsprechend dem Werte der Schwere (g_z) auf der Centralstation (selbstverständlich die Werte reduziert auf den leeren Raum und die Temperatur von 0^0 C.), zu erhalten; es bedeuten ferner t_1' und t_2' die Schwingungsdauern für die beiden Pendel, wenn jetzt Pendel II auf der Feldstation Schwingungen ausführt, während Pendel I auf der Centralstation geblieben ist; der Uhrgang wird für diesen zweiten Satz von Beobachtungen im allgemeinen ein anderer sein, und möge durch den Faktor (f') gegeben sein. Seien ferner noch die reduzierten Pendellängen der beiden Pendel mit l_1 und l_2 , der Wert der Schwerkraft auf der Feldstation mit g_f bezeichnet, so werden folgende Beziehungen gelten:

A. Für die Messung auf der Centralstation:

Pendel I.		Pendel II.
$f t_1 = \pi \sqrt{\frac{l_1}{g_z}}$ (1)		$f t_2 = \pi \sqrt{\frac{l_2}{g_z}}$ (2)

B. Für die Messung, wenn Pendel I sich auf der Centralstation, Pendel II auf der Feldstation befindet:

$f' t_1' = \pi \sqrt{\frac{l_1}{g_z}}$ (3)		$f' t_2' = \pi \sqrt{\frac{l_2}{g_f}}$ (4)
--	--	--

Durch Division von (1) durch (2) und (3) durch (4) erhält man:

$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\sqrt{l_1}}{\sqrt{l_2}}$ (5)	und	$\frac{t_1'}{t_2'} = \frac{\sqrt{l_1}}{\sqrt{l_2}} \cdot \frac{\sqrt{g_f}}{\sqrt{g_z}}$ (6)
---	-----	---

daraus

$$\frac{t_1'}{t_2'} = \frac{t_1}{t_2} \cdot \frac{\sqrt{g_f}}{\sqrt{g_z}} \text{ oder}$$

$$g_f = g_z \cdot \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{t_1'}{t_2'}\right)^2$$

Da der Uhrgang, wie sich hieraus ergibt, vollkommen eliminiert wird, so könnte bei genau synchronen Beobachtungen jede beliebige Uhr mit beliebigem Gang benutzt werden. Ich zog es indessen doch vor, die für diesen Zweck durch Allerhöchste Entschliessung Sr. Majestät des Königs angeschaffte Pendeluhr No. 50 von E. KUTTER hier zu benutzen, deren Gang, soweit bis jetzt gelegentliche Untersuchungen gezeigt haben, ganz hervorragend zu sein scheint¹. Bei Benutzung einer solchen Uhr wird es dann, da ihr Gang innerhalb kürzerer Zeitintervalle als hinreichend invariabel anzusehen sein dürfte, erlaubt sein, auf absolut genau-synchrone Beobachtungen zu verzichten und Mittelwerte für einen Satz von Beobachtungen (während einer Nacht) aus den einzelnen Bestimmungen der Schwingungsdauer zu bilden.

Unerlässliche Bedingung für die Beobachtungen nach dieser Methode ist offenbar die, dass beide Orte durch eine passende Drahtleitung miteinander verbunden sind. Bei dem ausgebildeten Telephonnetz Württembergs und dem grossen Entgegenkommen der betreffenden Behörden war es jedoch nicht schwierig, nahezu überall passende gelegene Orte, die in telephonischer Verbindung mit Stuttgart standen, oder doch solche Orte zu finden, in deren Nähe eine Fernsprechleitung vorüberführt, die dann durch Legen einer Hilfsleitung ebenfalls an das allgemeine Fernsprechnetzt angeschlossen werden konnten.

Einige Bemerkungen über diese elektrische Verbindung mögen hier am Platze sein. Einfache Leitungen, bei denen als Rückleitung die Erde benutzt wird, sind nicht günstig, da durch Erdströme, namentlich wenn die Atmosphäre selbst elektrisch gestört ist, oder durch Erdschluss, der durch Berührung der Leitung mit Baumzweigen etc. oft hervorgerufen wird, häufig Störungen und Unterbrechungen in der Übermittlung der Sekundensignale auftreten. Es ist deshalb, wenn irgend möglich, die Benutzung einer metallischen Hin- und Rückleitung, also einer sogen. Schleifenleitung, zu empfehlen. Um möglichst von Störungen durch atmosphärische Elektrizität frei

¹ Eine genaue Untersuchung ihres Ganges wird in nächster Zeit ausgeführt werden.

zu sein, wird man passend die Beobachtungen in eine solche Jahreszeit verlegen, in denen elektrische Entladungen weniger zu befürchten sind, also jedenfalls nicht in die Sommermonate. Da ausserdem der Beobachter, wenigstens bei Benutzung der Apparate gewöhnlicher Konstruktion mit dem Auge, also dem Kopf, dicht am Fernrohr des Koincidenzapparates, in den die Fernleitung eingeführt ist, sich befindet, so ist die Beobachtung unter solchen Umständen, wenn man an das tragische Schicksal RICHMANN's denkt, nicht unbedenklich. Die Anschlussbeobachtungen nach Karlsruhe, die besonderer Verhältnisse halber im Monat Mai-Juni stattfanden, wurden thatsächlich eine Nacht hindurch durch Gewitterstörungen unmöglich gemacht. In Württemberg sind deshalb die Monate März-April für die Messungen jeweils in Aussicht genommen; diese Jahreszeit bietet ausserdem noch den zweiten Vorteil, dass in diesen Monaten die äussere Lufttemperatur von der Temperatur der für die Beobachtungen zu benutzenden Kellerräume nicht sonderlich abweicht; diese Zeit ist also auch für das Konstanthalten der Temperaturen in den Räumen, in denen die Beobachtungen stattfinden, eine sehr passende.

In zuvorkommendster Weise wurden seitens der K. württembergischen Generaldirektion der Posten und Telegraphen, sowie durch das Entgegenkommen der K. Telegrapheninspektion in Stuttgart die betreffenden Telephonleitungen für die Messungen nach Schluss der Dienststunden — also von 9^h p. m. bis 7^h a. m. — zur Verfügung gestellt. Ein von der K. Telegrapheninspektion mitgesandter Vorarbeiter besorgte auf jeder Station sachkundig die nötigen Anschlüsse an die vorhandenen Leitungen. Diese Leitungen für den Fernverkehr bestehen im württembergischen Telephonnetz aus Kupfer bzw. Kupferbronze, es sind Doppelleitungen (so dass also auch für metallische Rückleitung gesorgt ist), die für die grösseren Entfernungen einen verhältnismässig grossen Querschnitt haben, so dass der Widerstand nicht gross und die oben beschriebene Anordnung bei ca. 36—40 Volt Betriebsspannung zur sicheren Übermittlung der Signale ausreicht. Nur bei der abgelegenen südlichsten Station Bitz, zu der nur eine einfache Leitung zur Verfügung stand, also die Erde als Rückleitung benutzt werden musste, war es notwendig, die E. M. K. zu vermehren und in Bitz vor dem Koincidenzapparat ein Relais einzuschalten, das vermittelt Lokalelement den Koincidenzapparat betrieb; später ergab sich allerdings, dass auf einer Zwischenstation eine der vorgenommenen Schaltungen ungenügende Verbindung, also sehr grossen Widerstand hatte, wäre das nicht der Fall

gewesen, so würde die Beobachtung mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln gerade so gut auszuführen gewesen sein, wie auf der benachbarten nur ca. 18 km näher gelegenen Station Mössingen.

Selbstverständlich befand sich sowohl auf der Centralstation Stuttgart, wie auf der Feldstation ein Umschalter, um an Stelle von Uhr oder Coincidenzapparat einen Telephonapparat einzuschalten, so dass bei irgendwelchen Differenzen die beiden Beobachter sich miteinander verständigen konnten¹.

Die Pendel.

Wenn ich so die Hoffnung hegte, nachdem die Fehlerquellen möglichst unschädlich gemacht waren, bei den im Frühjahr 1899 auf den Stationen des Tübinger Meridians begonnenen Messungen sehr zuverlässige Resultate zu erhalten, so wurde ich hierin stark enttäuscht. Während das Verhältnis der Schwingungsdauern der beiden auf der Centralstation gebliebenen Pendel, die ruhig in ihren Pendelkästen während der ganzen Dauer der auswärtigen Messungen auf jenen Stationen geblieben waren, merkwürdigerweise auch etwas, jedoch nicht sehr wesentlich geändert war, hatte sich dies Verhältnis des einen der transportierten Pendel um 106 Einheiten (entsprechend einer Abnahme), das des anderen um 30 Einheiten (entsprechend einer Zunahme) gegen die auf der Hauptstation verbliebenen offenbar infolge des Transportes geändert.

Es war mithin die prinzipielle Voraussetzung der Methode, nämlich die Invariabilität der Pendel, nicht erfüllt; die von der württembergischen Kommission erworbenen Pendel waren nicht invariabel.

Da die Pendel auf dem Transport mit derselben Sorgfalt wie etwa das Chronometer behandelt waren, rationell verpackt, in aufrechter Stellung, in einem in der Hand getragenen Kasten, so ist ein prinzipieller Konstruktionsfehler bei denselben zu vermuten.

Da Herr Oberst v. STERNECK die Pendel seiner Zeit in Wien

¹ Soweit mir die z. Th. schwer zu beschaffende Litteratur zugänglich war, scheint eine ähnliche Methode, bisher in ausgiebiger Weise nur von Herrn P. S. Rosén bei der Bestimmung der Intensität der Schwerkraft auf den Stationen Haparanda, Hernösand, Upsala, Stockholm und Lund (Bihang till K. Svenska Vet. Akad. Handlingar. Bd. 24, Afd. I No. 1, Stockholm 1898) angewandt zu sein. Das Verfahren ist allerdings nicht genau beschrieben und die Bemerkung, dass bei dieser Methode der Fehler des Uhrgangs „fast vollständig beseitigt ist“, während er doch offenbar vollkommen herausfällt, möchte eine andere Methode als die meinige vermuten lassen.

untersucht, ihre Schwingungsdauer und Konstanten bestimmt hatte, so waren dieselben natürlich bisher mit äusserster Sorgfalt behandelt, und eine nähere Untersuchung mit ihnen nicht vorgenommen, um den damit gegebenen Anschluss an die Schwerebestimmungen in Wien nicht illusorisch zu machen. Die nach der verfehlten Campaigne des Jahres 1899 jedoch angestellte Untersuchung der Pendel förderte sehr merkwürdige Ergebnisse zu Tage. In einem auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte 1899 in München gehaltenen Vortrag¹, auf den ich wegen weiterer Einzelheiten verweise, sind die konstruktiven Mängel der benutzten Pendel von mir klargelegt. Hier mag nur erwähnt werden, dass weder die angewandte Befestigung der Pendellinie an der Pendelstange, noch die der Achatschneide im Pendelkopf eine hinreichende und einwandfreie Gewähr für die Unveränderlichkeit der Pendel zu bieten scheint. Ich beschloss deshalb, unter möglichster Benutzung des vorhandenen Materials (also speciell der Pendellinse, der Achatschneide und des Spiegels) eine Umarbeitung der Pendel vorzunehmen, die vom Mechaniker des physikalischen Instituts der Technischen Hochschule, Herrn KLOPPER, in befriedigender Weise ausgeführt wurde. Schon bei den Beobachtungen selbst war mir in unliebsamer Weise aufgefallen, dass die Pendelstangen sämtlicher Pendel etwas gekrümmt waren. Beim Auswechseln der Pendel vermittelt der beschriebenen Auswechslungsvorrichtung machte dies Krümmsein der Stangen jeweils Einstellungsschwierigkeiten. Dies Krümmwerden von ursprünglich geraden Messingstangen bei der Bearbeitung (Abdrehen) auf der Drehbank ist eine jedem Mechaniker geläufige Erscheinung; von 10 Messingstangen bleibt beim Abdrehen derselben kaum eine gerade, die meisten krümmen sich, einige oft so, dass die Bearbeitung nicht weitergeführt werden kann. Dies merkwürdige Verhalten weist offenbar auf eine gewisse Anisotropie des Materials hin, die von Anomalien der Ausdehnung bei Erwärmung eventuell begleitet sein kann; derartiges Material erscheint mir deshalb für eine Pendelstange nicht brauchbar. Es wurde eine ganze Reihe von 12—15 mm dicken Messingstangen (im ganzen ca. 20—30) auf die passende Dicke von ca. 9 mm abgedreht, bis sich 4 für die 4 Pendel fanden, die hierbei gerade geblieben waren.

Die Befestigung der Pendellinsen war bei den alten Pendeln von dem Verfertiger so geschehen, dass der entsprechende untere

¹ Siehe: Verhandl. 1899 II. 1, p. 39, 1900.

Teil der Stange cylindrisch abgedreht und in die cylindrische Durchbohrung der Pendellinse eingepasst (eine Verlotung war beim Auseinandernehmen nicht zu bemerken) und alsdann der untere Rand vernietet war; der hierdurch entstandene, nur sehr dünne Nietrand erscheint aber natürlich nicht hinreichend, um die 1 kg schwere Pendellinse wirklich starr mit der Pendelstange zu verbinden, zumal bei zwei ineinander gepassten Cylindern. Bei der Umarbeitung wurde der untere Teil nicht cylindrisch, sondern konisch abgedreht, ebenso wurde die Durchbohrung in der Pendellinse genau ebenso konisch hergestellt; beim Vernieten von unten wird dann der Konus

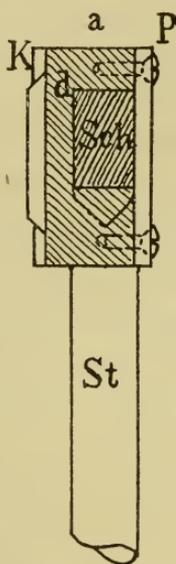


Fig. 5a.

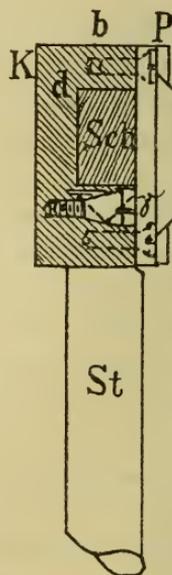


Fig. 5b.

der Stange fest in den Konus der Durchbohrung getrieben; ausserdem fand noch eine Verlotung beider statt.

Ebenso grosse Sorgfalt wurde der Befestigung der Achatsschneide im Pendelkopf gewidmet, diese war bei den alten Pendeln nur in das Kopfstück des Pendels eingepasst (cf. Fig. 5a), und da die Schneide (*Sch*) einen rechteckigen Querschnitt hatte, wurde sie nur durch den seitlich wirkenden Druck der Platte (*P*) gehalten. Diese Befestigungsart kann offenbar ein Festsitzen der Schneide und damit eine absolute Unveränderlichkeit der Pendellänge nicht bewirken. Da bei der Benutzung des Pendels (beim Schwingen) das Pendel mit den Schneiden auf der Achatplatte ruht, so wird hierbei die Schneide immer gegen die obere Fläche gedrückt; es wird

deshalb notwendig sein, durch irgend eine Vorrichtung die obere Fläche der Schneide konstant gegen jene Fläche zu drücken; da der rechtwinklige Querschnitt der Achatschneide gegeben war, so verfahren wir so, dass unterhalb der Schneide (Fig. 5 b) (γ) ein horizontaler Sägeschnitt gemacht wurde, nachdem vorher ein Gewinde an zwei Stellen eingeschnitten war, in diese beiden wurden Schrauben mit konischen Köpfen eingesetzt, durch die das über γ liegende Stück gegen die Schneide (*Sch*) gepresst wurde; hierdurch wurde dann (*Sch*) gegen die obere Fläche gedrückt. Eine Lockerung dieser Pressschrauben wurde durch die aufgeschraubte Platte *P*, gegen die die Schraubenköpfe lehnten, verhindert. So schien mir eine Änderung der Lage der Schneide ausgeschlossen.

Konstanten für Luftdichte und Temperatur der Pendel.

A. Konstanten für die Luftdichte.

Für die ursprünglichen Pendel, wie sie seiner Zeit durch die Firma E. SCHNEIDER in Wien geliefert waren, waren durch die gütige Untersuchung des Herrn Obersten v. STERNECK die Luftdichte-Konstanten bestimmt, und zwar für die Pendel No. 75, 77, 79 zu 542. d. für das später gelieferte Pendel No. 110 mit massiverer Stange zu 575. d., wenn d. die entsprechende Luftdichte bezeichnet. Bei der Umarbeitung der Pendel wurden innerhalb geringer Abweichungen die Dimensionen dieses letzten Pendels zum Vorbild genommen und deshalb angenommen, dass der Koeffizient 575. auch für die neuen Pendel der richtige wäre, da eine entsprechende Vorrichtung zur experimentellen Bestimmung desselben noch nicht beschafft werden konnte. Da die Barometerhöhen und damit die Luftdichten nur Schwankungen zwischen den einzelnen Stationen von 680 mm (Bitz) bis 740 mm (Fürfeld), also Dichtigkeit von rund 0,86—0,94 aufweisen, so wird dieser genäherte Wert der Konstanten von 575 für die Berechnung der relativen Werte, um die es sich nur handelt, genügen.

B. Konstanten für die Temperatur.

Da der für die Ausdehnung mit der Temperatur hauptsächlich in Betracht kommende Teil des Pendels, die Pendelstange, erneuert war, so erschien es notwendig, eine neue Bestimmung der Temperatur-Koeffizienten der Pendel vorzunehmen.

Zur Bestimmung derselben wurde ein Thermostat konstruiert, der folgende Bedingungen erfüllen sollte: 1. Die Temperatur soll innerhalb des Intervalles von 15°—100° C. auf $\frac{1}{10}^0$ genau hergestellt

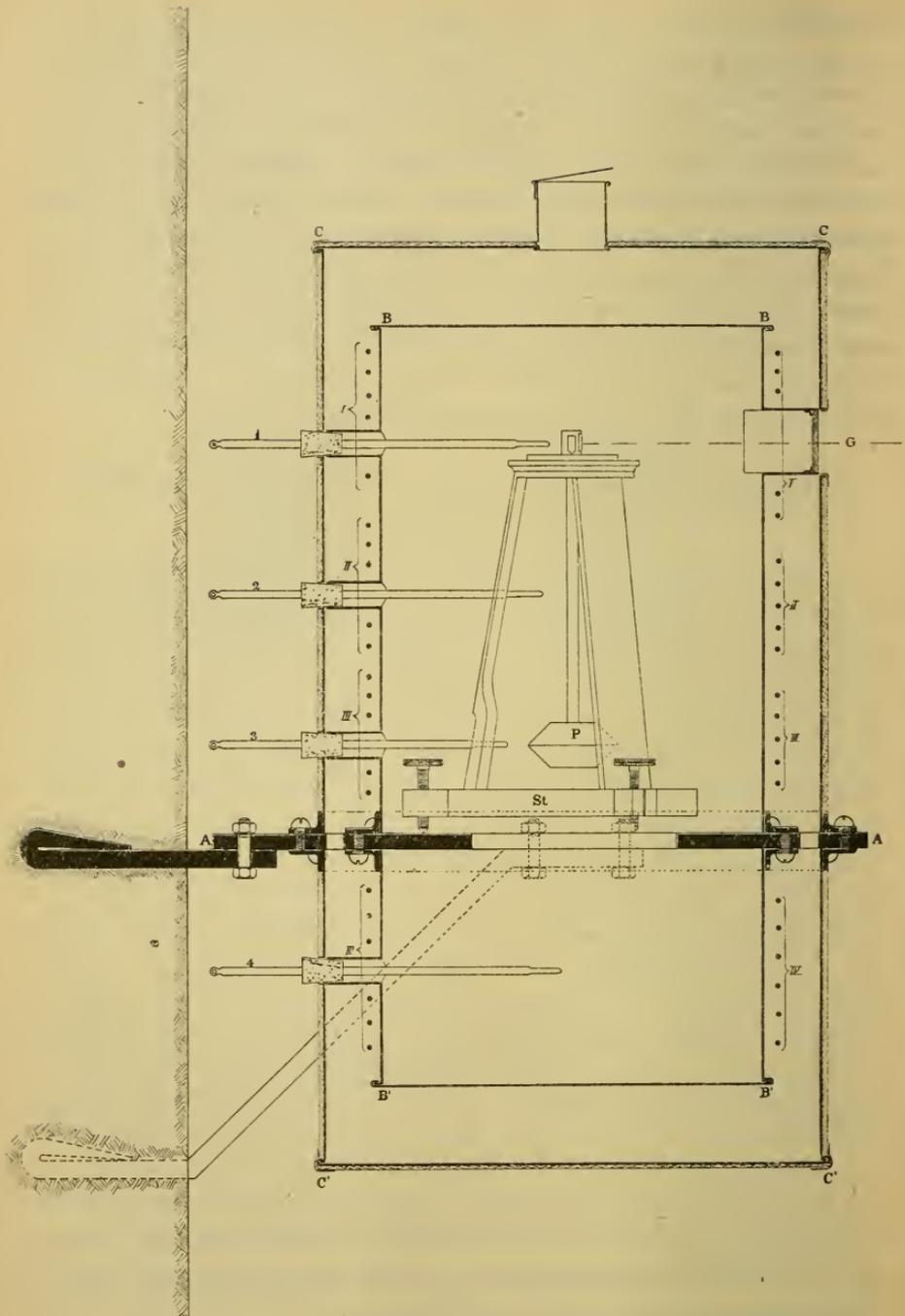


Fig. 6.

und beliebig lang erhalten werden können. 2. Ein Temperaturgefälle soll im Innern der Thermostaten nicht vorhanden sein. Diese For-

derungen glaube ich in folgender Weise durch elektrische Heizung genauer und besser erfüllt zu haben, als es mit den bisher gebräuchlichen Thermostaten möglich gewesen ist¹.

Auf einer starken Konsole (*A*) (Fig. 6), die in der massiven Hauswand eingemauert ist, ist Raum für die Aufstellung des v. STERN-ECK'schen Pendelstativs. Das Konsol ist unterhalb des Stativs durchbrochen, ebenso ist die untere horizontale, dünne Schutzplatte des Pendelstativs selbst entfernt, so dass Luft von oben nach unten und umgekehrt leicht cirkulieren kann. Über das Stativ (*St*) ist ein oben geschlossener cylindrischer Eisenblechkasten (*B*) gestülpt, ebenso ein zweiter unten geschlossener (*B'*) an der unteren Seite von *A* angeschraubt, so dass auch unterhalb *A* noch ein Luftraum sich befindet; das Vorhandensein desselben halte ich für notwendig, um die Einwirkung des Konsols (*A*), das gewöhnlich eine bedeutend andere Temperatur haben wird, auszugleichen. Das Pendel befindet sich also auf diese Weise in einem vollständig geschlossenen Hohlraum, selbstverständlich ist dem Pendelspiegel gegenüber ein Fensterchen (*G*) durch eine Spiegelglasscheibe verschlossen angebracht, um die Schwingungen des Pendels beobachten zu können, ferner sind verschliessbare Öffnungen vorgesehen, um das Pendel auf seine Lager auflegen und ihm die nötige Amplitude geben zu können. Vier Thermometer (1—4), von denen die Thermometer No. 1—3 zur Bestimmung der Pendeltemperatur benutzt werden, ragen bis ungefähr zur Mitte des Hohlraums, No. 1—3 in möglichste Nähe des Pendels. Der innere Cylinder (*BB'*) ist nun in ca. 5 cm Abstand umgeben von einem zweiten Cylinder, der ebenfalls aus zwei Stücken (*C*) und (*C'*) besteht; aussen ist derselbe mit dicker Asbestpappe bedeckt, um den Wärmeaustausch gegen die Umgebung möglichst zu hindern. In dem Zwischenraume zwischen beiden befindet sich die elektrische Heizvorrichtung. Der innere Cylinder *BB'* ist nämlich von vier Eisendrahtspulen I—IV, deren Drähte durch Porzellanröllchen voneinander und vom inneren Cylinder isoliert sind, umgeben; durch jede dieser vier Spulen kann ein durch einen Rheostaten beliebig regulierbarer Strom geschickt werden. Hierdurch kann bei entstehendem Temperaturgefälle im Innern des Thermostaten, dasselbe durch Variieren der Stromstärke in der einen oder anderen Spule beseitigt werden.

¹ Dieser Thermostat wurde im Jahre 1897 konstruiert und wurde auf der Generalkonferenz der internationalen Erdmessung, die 1898 in Stuttgart tagte, einigen Mitgliedern vorgeführt.

Die angewandte Schaltung ist aus Fig. 7 ersichtlich. $P+$ und $P-$ sind die Endklemmen der städtischen elektrischen Centrale von 110 bzw. 220 Volt Potentialdifferenz. A ist ein Ampèremeter, W ein Vorschaltwiderstand, um die gesamte Stromstärke variieren zu können, bei U findet die Verzweigung in die 4 Spulen $s_1 s_2 s_3 s_4$ statt, vor jeder befindet sich ein auf $1/100$ Ohm regulierbarer Vorschaltwiderstand $w_1 w_2 w_3 w_4$. Die Gesamtstromstärke, die zu einer Temperaturerhöhung auf 100^0 C. notwendig war, betrug circa 50 bis 60 Ampère. Die Temperatur liess sich beliebig lang auf $1/10^0$

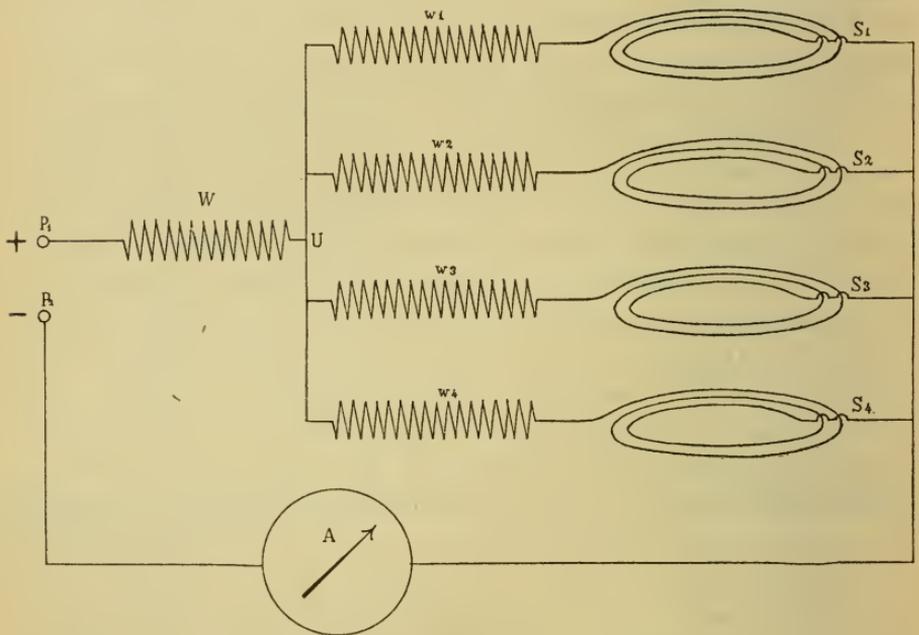


Fig. 7.

konstant halten, vorausgesetzt, dass in der Leitung der elektrischen Centrale keine Spannungsänderungen auftraten; in diesem Falle musste der Hauptwiderstand W in passender Weise geändert werden. Durch passende Regulierung der Widerstände $w_1 w_2 w_3 w_4$ liess sich nun das im Beginn auftretende Temperaturgefälle im Bereich des Pendels beseitigen. Bei Thermostaten mit Dampfheizung, namentlich wenn es sich um grössere Räume wie bei diesen Versuchen handelt, verschwindet das Temperaturgefälle erst nach längerer Zeit, bei der Anwendung der Heizung mittels irgendwelcher Flammengase ist meiner Erfahrung nach das Temperaturgefälle überhaupt nie ganz zu beseitigen; bei der angewandten getheilten elektri-

schen Heizung lässt sich dies, vorausgesetzt dass sich durch die Widerstände $w_1 - w_4$ die Stromstärken hinreichend variieren lassen, in vollständiger Weise und in verhältnismässig sehr kurzer Zeit bewirken. Eine an passender Stelle angebrachte Luftschraube bewährt sich ebenfalls als sehr praktisch zur Herbeiführung schnellen Temperatursausgleichs.

Die Bestimmung der Temperaturkoeffizienten der Pendel wurde nun in der Weise ausgeführt, dass das zu untersuchende Pendel zunächst bei Zimmertemperatur (also circa 15° C.) und dann bei höherer Temperatur (in der Regel bei $90-100^{\circ}$) mit einem zweiten im Pendelraum befindlichen verglichen wurde durch synchrone Beobachtung, so dass der etwaige Fehler des Uhganges eliminiert wird; beide Koincidenzapparate waren hintereinander geschaltet und wurden durch dieselbe Uhr (Normaluhr des Instituts) getrieben. Verwendet man eine derartige Normaluhr, deren Gang als nicht variabel angenommen werden kann, wenigstens nicht innerhalb der ungefähr drei Stunden, die eine solche Vergleichung bei verschiedenen Temperaturen in Anspruch nehmen möchte, so kann man auf die synchrone Beobachtung eines Vergleichspendels verzichten; es könnte sogar unter diesem Umstande richtiger sein dies zu thun, da, wie weiter unten noch näher zu erörtern sein wird, zwei unmittelbar nacheinander mit einem Pendel vorgenommene Bestimmungen seiner Schwingungsdauer leider nicht genau identische Werte geben. Sind s_t und s_{ϑ} die beobachteten auf ∞ kleine Amplitude und leeren Raum reduzierten Schwingungsdauern des Pendels, dessen Temperaturkoeffizient bestimmt werden soll, bei den Temperaturen t und ϑ (wobei $\vartheta > t$), seien s und s' die vermittelst Näherungswertes der Temperaturkoeffizienten auf Null Grad und leeren Raum etc. reduzierten Schwingungsdauern des Vergleichspendels (die Temperaturen mögen nahezu konstant geblieben sein), wobei s zu s_t und s' zu s_{ϑ} gehört, so findet man für die Temperaturkonstante (a) leicht die Bezeichnung:

$$a = \frac{s \cdot s_{\vartheta} - s' \cdot s_t}{s_{\vartheta} - s' \cdot t}$$

Die Beobachtungen ergaben nun bei den ersten Beobachtungsreihen für die Grösse (a) um einige Prozente höhere Werte als später. Analoge Erscheinungen treten bekanntlich häufig auf, beispielsweise ergeben erstmalige Bestimmung einer elastischen Biegung eines neu bearbeiteten und hergestellten Stabes regelmässig andere Werte als spätere Messungen; es liegen offenbar anfänglich von der Bearbeitung

her Spannungszustände im Material vor, die sich nach und nach ausgleichen. Die darauf folgenden Beobachtungen ergaben dann für a folgende Mittelwerte:

Pendel I.	Pendel II.	Pendel III.	Pendel IV.
49,3 . 10 ⁻⁷	49,5 . 10 ⁻⁷	49,6 . 10 ⁻⁷	50,0 . 10 ⁻⁷

im Mittel für die 4 Pendel 49,6 . 10⁻⁷ als Zahl der Temperaturkonstante; es wäre also die auf 0^o reduzierte Schwingungsdauer so aus der bei der Temperatur t beobachteten s_t zu berechnen nach der Formel:

$$s_0 = s_t - 49,6 \cdot 10^{-7} t.$$

Es erschien jedoch angezeigt, wegen der grösseren Abweichung, die Pendel IV zeigte, nicht denselben Temperaturkoeffizienten für alle Pendel zu benutzen, sondern für Pendel I, II, III den Mittelwert 49,5, für Pendel IV dagegen 50,0.

Beobachtung der Koincidenzen.

Wie eine einfache Überlegung ergibt, können die Zeiten zwischen zwei aufeinanderfolgenden durch Interpolation festgelegten Koincidenzen nicht gleich sein, da nur nach Ablauf einer gewissen Zeit genau wirkliche Koincidenzen auftreten. Ich nenne hierbei eine wirkliche Koincidenz eine solche, bei der der Lichtblitz wirklich genau in der Richtung der Achse des Fernrohrs vom Pendelspiegel reflektiert wird, dabei also die Mitte des kleinen reflektierten Spaltbildes mit dem horizontalen Faden zusammenfällt, es fällt dann offenbar die Koincidenz mit einem Sekundenschlage selbst zusammen; der Moment der anderen Koincidenzen, bei denen dies nicht der Fall ist, die Koincidenz also zwischen zwei Sekunden fällt, wird bekanntlich dadurch bestimmt, dass die Abstände der beiden Lichtblitze (dem n und n + 1 Sekundenschlage entsprechend) vom horizontalen Faden geschätzt und dadurch der Moment der Koincidenz, indem man die verflossenen Zeiten jenen Abständen proportional setzt, bestimmt wird. Die hierbei benutzte lineare Interpolation kann offenbar nicht genaue Resultate liefern, da die Sekundenschläge auf verschiedene Phasen der Schwingungen des Halbsekundenpendels fallen können. Die Richtigkeit dieser Bemerkung wird durch die Beobachtungen bestätigt. Bei einiger Übung ist es leicht den Eintritt der Koincidenzen auf $\frac{1}{10}$ Sekunde genau zu bestimmen; trotzdem erhält man thatsächlich Abweichungen die $\frac{5}{10}$ — $\frac{6}{10}$ Sekunden betragen können. Diese lassen sich nicht etwa auf einen mangelnden Isochronismus der Schwingungen der Pendels oder der Uhr zurückführen, sondern haben ihren Grund in der angegebenen Asymmetrie

der Koincidenzmomente. Diese Fehlerquelle wird sich dadurch un-
schädlich machen lassen, dass man entweder jedesmal möglichst viele
Koincidenzen zur Berechnung des Mittelwertes verwendet, um jedes-
mal alle Möglichkeiten zu erschöpfen, oder dass man die Beobach-
tungen in geringerer Anzahl immer in gleicher Weise um die wahren
Koincidenzen gruppiert. Da man gewöhnlich so verfährt, dass man
(Beobachtungsreihe I) eine Anzahl a Koincidenzen beobachtet und nach
Ablauf von n Koincidenzen wiederum die gleiche Zahl a Koincidenzen
(Beobachtungsreihe II) festlegt und den Wert der Zeitintervalle
zwischen zwei Koincidenzen dadurch bestimmt, dass man die Diffe-
renzen der Werte $II-I$ bildet und durch n dividiert, so wird man
den angedeuteten Fehler vermeiden, wenn man die Beobachtungs-
reihe II mit einer gleichsinnigen Koincidenz beginnt. Es werden
dann allerdings in den Beobachtungsreihen I und II für sich be-
trachtet die Zweideutigkeiten bestehen bleiben, aber in den Aus-
drücken $\frac{II-I}{n}$ wegfallen. Um diese Bedingungen zu erfüllen, verfuhr

ich folgendermassen: Jede Beobachtungsreihe begann mit einer
wahren Koincidenz, bei der also der Lichtblitz genau im horizontalen
Faden erschien, auch ist es notwendig die Bewegungsrichtung des
Lichtblitzes im Gesichtsfeld zu notieren (z. B. die Bewegung erfolgt
von oben nach unten); darauf werden in gewöhnlicher Weise die
folgenden Koincidenzen beobachtet bzw. in bekannter Weise ihr
Eintritt in Bezug auf den horizontalen Faden geschätzt; ich setzte
die Beobachtungen so lange fort, bis wieder eine wahre Koincidenz
(bei derselben Bewegungsrichtung) eintrat; bei den von mir benutzten
Pendeln war dies meist nach 12—22 Koincidenzen der Fall. Jetzt
lässt man wie gewöhnlich eine Reihe n von Koincidenzen ablaufen, be-
ginnt jedoch nicht wie bisher gebräuchlich mit der 51. oder 61., um
sich die Berechnung zu erleichtern, sondern erwartet etwa zwischen
der 40. bis 60. Koincidenz auf eine wahre, bei der die Bewegung des
Lichtblitzes im Gesichtsfeld in demselben Sinne erfolgt wie bei der
allerersten Koincidenz; von dieser Koincidenz ab beobachtet man dann
die gleiche Anzahl der Koincidenzen wie im Anfang und berechnet
den mittleren Wert der Dauer der einzelnen Koincidenz in bekannter
Weise. Man erhält auf diese Weise Werte die untereinander besser
vergleichbar sind, als die auf gewöhnlichem Wege erhaltenen.

Ein Beispiel mag dies näher erläutern, das beliebig heraus-
gegriffen ist:

Beobachtet man in gewöhnlicher Weise, so erhält man:

Stuttgart. Pendelraum. Pendel I.

Nummer der Koincidenz.	Uhrzeit der Koincidenz.	Nummer der Koincidenz.	Uhrzeit der Koincidenz.	Beobachtete Dauer von 50 Koincidenzen.	Abweichungen vom Mittelwert δ .	$[\delta\delta]$
1	9h 26m 12,0s	51	9h 56m 24,8s	30m 12,8s	+ 0,33	0,1089
2	48,2	52	57 0,6	12,4	- 0,07	0,0049
3	27 24,7	53	37,0	12,3	- 0,17	0,0289
4	28 0,8	54	58 13,0	12,2	- 0,27	0,0729
5	37,0	55	49,3	12,3	- 0,17	0,0289
6	29 13,0	56	59 25,4	12,4	- 0,07	0,0049
7	49,3	57	10 0 2,1	12,8	+ 0,33	0,1089
8	30 25,4	58	38,0	12,6	+ 0,13	0,0169
9	31 2,0	59	1 14,8	12,8	+ 0,33	0,1089
10	38,2	60	50,8	12,6	+ 0,13	0,0169
11	32 14,8	61	2 27,0	12,2	- 0,27	0,0729
12	50,8	62	3 3,0	12,2	- 0,27	0,0729
				Mittel 30m 12,47s		0,6468
				Mittlerer Fehler der einzelnen Bestimm.	$= \sqrt{\frac{0,6468}{11}} = \pm 0,24 \text{ sec.}$	

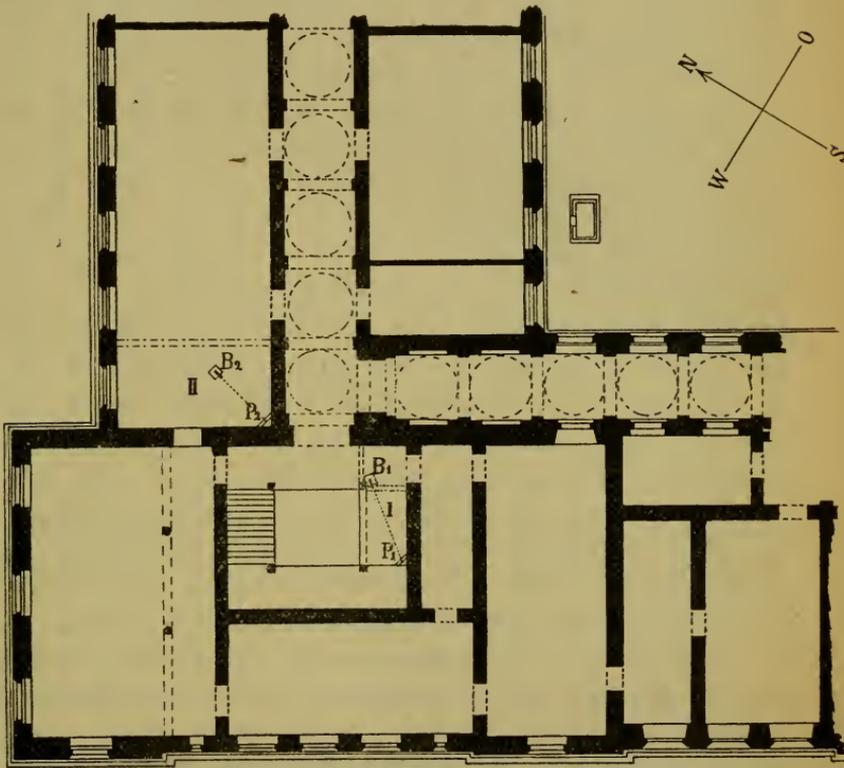
Dieselben Beobachtungen, jedoch gleichförmig um die wahren Koincidenzen gruppiert.

Nummer der Koincidenz.	Uhrzeit der Koincidenz.	Nummer der Koincidenz.	Uhrzeit der Koincidenz.	Beobachtete Dauer von 48 Koincidenzen.	Abweichungen vom Mittelwert δ .	$[\delta\delta]$
1	9h 26m 12,0s	49	9h 55m 12,0s	28m 60,0s	+ 0,02	0,0004
2	48,2	50	48,2	60,0	+ 0,02	0,0004
3	27 24,7	51	56 24,8	60,1	+ 0,12	0,0144
4	28 0,8	52	57 0,6	59,8	- 0,18	0,0324
5	37,0	53	37,0	60,0	+ 0,02	0,0004
6	29 13,0	54	58 13,0	60,0	+ 0,02	0,0004
7	49,3	55	49,3	60,0	+ 0,02	0,0004
8	30 25,4	56	59 25,4	60,0	+ 0,02	0,0004
9	31 2,0	57	10 0 2,1	60,1	+ 0,12	0,0144
10	38,2	58	38,0	59,8	- 0,18	0,0324
11	32 14,8	59	1 14,8	60,0	+ 0,02	0,0004
12	50,8	60	50,8	60,0	+ 0,02	0,0004
				Mittel 28m 59,98s		0,0968
				Mittlerer Fehler der einzelnen Beobacht.	$= \sqrt{\frac{0,0968}{11}} = \pm 0,09 \text{ sec.}$	

Hiermit scheint mir die Richtigkeit der von mir vorgeschlagenen und befolgten Beobachtungsweise erwiesen zu sein.

Ergebnisse der Beobachtungen auf den einzelnen Stationen.

Die 10 Stationen des Tübinger Meridians sind nahezu gleichmässig nördlich und südlich zu der Centralstation Stuttgart verteilt.



Seestrasse

Fig. 8.

Es wurden nun am Anfang, nach Erledigung der Hälfte der Stationen und am Ende der Beobachtungen auf der Centralstation (Pendelraum in Stuttgart), Vergleichen der Schwingungsdauern der benutzten Pendel vorgenommen zur Festlegung des Verhältnisses der Schwingungsdauern der Pendel auf der Centralstation (zwecks Eliminierung des Fehlers des Uhrgangs).

Die Centralstation Stuttgart hatte folgende Lage: Die geographischen Positionsangaben folgen unten bei den Tabellen; hier

mag eine allgemeinere Beschreibung ihre Stelle finden. Der benutzte Raum befand sich in der Kgl. Technischen Hochschule, im Souterrain der Westecke des Gebäudes (Fig. 8). Es war darauf gesehen, dass der benutzte Raum möglichst im Innern des ganzen Gebäudes lag; es wurde der Souterrainraum I Fig. 8 gewählt, ca. 3 m unter dem Niveau des das Gebäude umgebenden Bodens, der so, wie aus Fig. 8 ersichtlich, im Gebäude orientiert war; die darüber befindliche Treppe ist als Nebentreppe wenig begangen, da zudem die Beobachtungen fast durchgängig zur Nachtzeit stattfanden, ist irgend eine Störung durch Erschütterungen nicht zu befürchten. Die Temperatur wechselte allerdings in den Sommer- und Wintermonaten um einige Grade, variiert aber nicht von Tag zu Tag sonderlich, sondern ändert sich sehr allmählich mit den Jahreszeiten, so dass dieser Raum den gewöhnlichen Ansprüchen an einen Raum konstanter Temperatur sehr wohl genügt. Wie schon erwähnt war der eigentliche Pendelraum, d. h. der Raum, in dem das Pendel hing, von dem Raum, in dem der Beobachter sich befand, geschieden, in dem Raum (*I*) befand sich das Pendel, in dem Raum (*B₁*) der Beobachter; beide Räume waren voneinander durch eine Thüre geschieden, die mit einem Fenster von Spiegelglas versehen, die Beobachtung des Pendels erlaubte. Nur zum Zweck der Neuauflegung des Pendels, der Auswechslung desselben, zur Ablesung der Temperatur wurde der eigentliche Pendelraum vom Beobachter betreten. Wie schon erwähnt, konnten dadurch die Temperaturen in diesem Raum sehr konstant gehalten werden.

Der Raum für die Beobachtung des Vergleichspendels lag etwas weniger günstig, es war der Raum (*II*) (Fig. 8), in dem ein Gasmotor, ein Kompressor und ein zu demselben gehöriger Windkessel untergebracht war; zwecks der Beobachtung war eine teilweise Demontierung des Gasmotors nötig, ausserdem ging durch diesen Raum die Dampfheizung des Instituts. Wenn jedoch während der Beobachtungstage und einige Tage vorher die Dampfheizung abgestellt wurde (der Raum wurde ausserdem für andere Zwecke nicht verwandt), so liess sich auch in ihm eine für die Beobachtungsstunden hinreichend konstante Temperatur erzielen. Die Schwingungsrichtung beider Pendel war ungefähr die gleiche, nämlich nahezu die des Meridian.

Auf den Stationen wurde der Luftdruck nach einem Aneroidbarometer von C. LUFFT, Stuttgart, No. 1241 (kompensiert), bestimmt, da jedoch infolge des Transportes bekanntlich am Aneroid leicht Nullpunktänderungen vorkommen, so wurde auf jeder Station die

Angabe desselben durch das Hypsothermometer kontrolliert; das Hypsothermometer wurde vorher und nachher mit dem Normalbarometer des Instituts verglichen. Von Wichtigkeit ist bei den Bestimmungen vermittelt derselben, dass seine Angaben, wie auch schon sonst bekannt¹, von der Flammengrösse abhängig sind. Indem auf diese Eigentümlichkeiten des Instrumentes in genügender Weise geachtet wurde, war es zur Ermittlung der Standkorrektion des Aneroids ein brauchbares Hilfsmittel. Die Höhe der Station bezw. der Pendellinse über N. N. wurde jeweils durch ein kleines Nivellement, das an den nächsten Höhenpunkt anschloss, bestimmt.

Auf der Centralstation Stuttgart verblieben die beiden Pendel No. I und III, auf den Feldstationen wurden die Pendel No. II und IV benutzt. Die Beobachtungen in Stuttgart (Centralstation im Pendelraum des physikalischen Instituts) hatten den Zweck, das in der oben (p. 32) gegebenen Formel auftretende Verhältnis der Quadrate der Schwingungsdauern der auf der Centralstation verbleibenden, zu den auf den Feldstationen benutzten, festzulegen, also in obiger Bezeichnung Feststellung des Verhältnisses:

$$\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2$$

t_1 würde dann gleich dem Mittel der für die Centralstation ermittelten Werte von $\frac{s_I + s_{III}}{2}$ sein; t_2 entsprechend = $\frac{s_{II} + s_{IV}}{2}$ wenn $s_I, s_{II}, s_{III}, s_{IV}$ die reduzierten Schwingungsdauern der Pendel sind.

Die angegebenen Zeiten sind, sofern nichts bemerkt ist, Nachtzeiten.

Die Messungen wurden von Herrn Dr. HAUSER und mir gemacht, indem gleichzeitig der eine von uns auf der Centralstation, der andere auf der Feldstation beobachtete. Zur Hilfeleistung auf der Feldstation, speciell bei der Montierung des Apparates, war ausserdem noch Herr C. KLOPFER (Mechaniker am physikalischen Institut) anwesend, der mich auch bei einem Influenzaanfall, der mich im Beginn der Campagne 1900 plötzlich ergriff, bei den Beobachtungen auf den beiden nördlichsten Stationen (Fürfeld und Schwaigern) vertreten hat; um bei solchen Ausnahmefällen die Messungen nicht unterbrechen zu müssen, was bei den im Voraus auf den verschiedenen

¹ Vergl. z. B. H. Mohn: Das Hypsometer als Luftdruckmesser etc. Videnskabselskabets Skrifter I. Math.-naturv. Kl. 1899. No. 2. Christiania 1899.

Telephonzwischenämtern angeordneten Schaltungen zu Unzuträglichkeiten führen würde, war er vorher auf diese Beobachtungen eingeübt. Die Berechnungen sind von mir ausgeführt, nur die der topographischen Korrektion, für die ich wegen Zeitmangels nicht Zeit fand, hat Herr Dr. FURTWÄNGLER in Potsdam die Güte gehabt, für mich auszuführen.

Allen diesen Herren spreche ich für die grosse und erfolgreiche Hilfe, die sie mir hiermit geleistet haben, meinen verbindlichsten Dank aus.

Wie man sieht, ändert sich das in alle Berechnungen von g für die verschiedenen Feldstationen eingehende Verhältniß von $\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$ bezw. der log. desselben, um einen gewissen Betrag, und es erscheint interessant, zu untersuchen, woran die Änderung dieses Verhältnisses liegt.

Es erscheint schon vorweg auffällig, dass die Schwingungsdauern desselben Pendels, das nur vorsichtig auf die Hilfslager gehoben, wieder herabgelassen und einen neuen Anstoss erhalten hat, nicht genau identisch sind. Wenn diese Abweichungen durch Änderung des Uhranges hervorgerufen wären, so müssten sie sich in der gleichsinnigen Änderung der Schwingungsdauer des Vergleichspendels ebenfalls bemerkbar machen; dies ist jedoch nur hier und da der Fall, häufig treten nur bei dem einen Pendel Änderungen auf, die bei dem anderen fehlen, oder ein entgegengesetztes Vorzeichen haben. Da die Elimination der bekannten Fehlerquellen (Mitschwingen etc.) hinlänglich als gelungen, wie ich glaube, bezeichnet werden kann, so müssen noch andere Verhältnisse hierbei in Betracht kommen. Wenn man nicht variable Spannungsverhältnisse im Material annehmen will, so würde es am nächsten liegen, anzunehmen, dass die Achatschneide und das Achatlager nicht genau genug einer Linie, bezw. einer Ebene entsprechen; dass ersteres nicht der Fall ist, wurde schon mehrfach betont (cfr. z. B. Veröff. d. Kgl. preuss. geod. Instituts. Best. d. Polhöhe und der Intens. d. Schwerkraft auf 22 Stationen, W. Berlin 1896, p. 89 etc.).

Die in Taf. XIV gegebene Mikrophotographie (Vergrößerung 100fach) der Schneide zeigt dies ebenfalls. Wenn nun die Ebenheit des Achatlagers ebenfalls nicht vollständig wäre, so ist es erklärlich, dass bei jedesmaligem Neuauflegen eine andere Zacke der Schneide der wahre Unterstützungspunkt sein wird; da eine einfache Rechnung ferner zeigt, dass eine Änderung der Länge des Pendels um

rund $\frac{1}{100\,000}$ mm schon genügen würde, um den Wert der Schwingungsdauer des Halbsekundenpendels um 10 Einheiten der 7. Decimale zu ändern, so möchten thatsächlich derartige minimale Änderungen der Länge genügen, um jene Abweichungen zu erklären.

Die bei der Änderung des Verhältnisses $\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$ auftretenden Grössen übersteigen jedoch diese kleineren Ungenauigkeiten und müssen eine andere Ursache haben.

Die genauere Prüfung der einzelnen erhaltenen Werte ergibt nun folgendes:

Die Pendel I und III waren während der ganzen Beobachtungsdauer von Mitte März bis Mitte Mai intakt im Pendelkasten geblieben, nur zwecks der Beobachtung auf die Lager gelegt, bzw. durch die Auswechslungsvorrichtung ausgewechselt; alle diese Manipulationen vollziehen sich ohne direkte Berührung und ohne Erschütterung. Die beobachteten grösseren Abweichungen der Werte $\frac{s_I + s_{III}}{2}$ von ihrem Mittelwert erklären sich in einfacher Weise durch den Barometerkoeffizienten der benutzten Pendeluhr, bzw. abgesehen davon, durch minimale Gangdifferenzen derselben.

Man ist also wohl berechtigt, anzunehmen, dass das Mittel der Schwingungsdauern der Pendel I und III konstant geblieben ist. Man kann also, da die Beobachtungen sämtlich synchron sind, zur Untersuchung über die Unveränderlichkeit der auf den Stationen benutzten Pendel II und IV die Schwingungsdauern dieser nach ihrer jeweiligen Rückkunft zur Centralstation mit denen der Pendel I und III, als einer nahezu konstanten Grösse, vergleichen; alsdann ergibt sich:

1900 März 14./16. (vor der Campagne)

Mittl. Schw.-D. Pend. I und III.	Schw.-D. Pend. II.	Schw.-D. Pend. IV.
0,5081224	0,5081584	0,5082722

$$\text{Differenz II} - \frac{I + III}{2} = 0,0000360$$

$$\text{Differenz IV} - \frac{I + III}{2} = 0,0001498$$

1900 April 4./6. (nach Erledigung der nördlich Stuttgart gelegenen Stationen):

Mittl. Schw.-D. Pend. I und III.	Schw.-D. Pend. II.	Schw.-D. Pend. IV.
0,5081231	0,5081594	0,5082736

$$\text{Differenz II} - \frac{I + III}{2} = 0,0000363$$

$$\text{Differenz IV} - \frac{I + III}{2} = 0,0001505$$

1900 Mai 7./8.	(nach der Campagne)	
Mittl. Schw.-D. Pend. I und III.	Schw.-D. Pend. II.	Schw.-D. Pend. IV.
0,5081223	0,5081562	0,5082729

$$\text{Differenz II} - \frac{\text{I} + \text{III}}{2} = 0,0000339$$

$$\text{Differenz IV} - \frac{\text{I} + \text{III}}{2} = 0,0001506$$

Während die Abweichungen von IV gegen I und III innerhalb erlaubter Grenzen bleiben, hat sich die Differenz von II um ca. 22 Einheiten der 7. Decimale geändert.

Dass Pendel II in der That dasjenige ist, welches sich geändert hat, geht auch aus Vergleichung mit Pendel IV hervor; es ergeben sich aus den synchronen Beobachtungen die Differenzen der Schwingungsdauern:

am 14./16. März	0,0001138
„ 4./6. April	0,0001142
„ 7./8. Mai	0,0001167

d. h. eine Änderung von 27 Einheiten ca. der 7. Decimale (also nahezu in Übereinstimmung mit der Differenz von II gegen $\frac{\text{I} + \text{III}}{2}$).

Man kann auch mit grosser Wahrscheinlichkeit angeben, zu welcher Zeit diese Änderung erfolgt ist, indem man die Änderungen der Schwingungsdauer von II gegen IV auf den verschiedenen Stationen untersucht. Offenbar wird sich mit der Änderung von g von Ort zu Ort auch die Differenz der Schwingungsdauern zweier Pendel, die beide an demselben Ort schwingen, ändern. Sind l_1 und l_2 die Pendellängen zweier Pendel, so würde man erhalten:

$$\begin{aligned} \text{auf Station I} & \quad t_1 = \pi \sqrt{\frac{l_1}{g}} \quad t_2 = \pi \sqrt{\frac{l_2}{g}} \\ \text{(mit Schwere } g) & \\ \text{auf Station II} & \quad t_1' = \pi \sqrt{\frac{l_1}{g'}} \quad t_2' = \pi \sqrt{\frac{l_2}{g'}} \\ \text{(mit Schwere } g') & \\ \frac{t_1 - t_2}{t_1' - t_2'} & = \sqrt{\frac{g'}{g}} \quad \text{oder } g' = g \pm \alpha g \\ & = g (1 \pm \alpha) \\ \frac{t_1 - t_2}{t_1' - t_2'} & = (1 \pm \alpha)^{1/2} = 1 \pm \frac{1}{2} \alpha \end{aligned}$$

da α eine sehr kleine Grösse bei benachbarten Orten sein wird.

Wächst also die Schwerkraft um rund $\frac{2}{10000}$ ihres Wertes (wie thatsächlich zwischen Stuttgart und der südlichsten Station), so wird eine Änderung der Differenz der Schwingungsdauern um $\frac{1}{10000}$ zu

erwarten sein¹. Da die Schwingungsdauern beider Pendel sich aber nur um ca. $\frac{1}{10000}$ -Sekunde voneinander unterscheiden, so fällt dieser Unterschied nahezu fort.

Es ergeben sich nun für die Beobachtungen

auf den Stationen:	die Differenzen ($s_{IV}-s_{II}$):
Bitz	0,0001159
Lustnau	0,0001182
Schönaich	0,0001188
Solitude	0,0001176.

Nur auf Station Mössingen ist der richtige Wert nahe wieder erreicht: 0,0001140.

Für die nördlich Stuttgart gelegenen Stationen, auf denen die Beobachtungen zwischen dem 16. März und 4. April angestellt wurden, ergeben sich bedeutend bessere Werte, nämlich für

Station	die Differenzen von ($s_{IV}-s_{II}$)
Fürfeld	0,0001138
Schwaigern	0,0001141
Brackenheim	0,0001143
Freudenthal	0,0001148
Markgröningen	0,0001148

Die vorstehenden Betrachtungen legen, wie mir scheint, den Gedanken nahe, ob nicht für die südlich Stuttgart gelegenen Stationen bei der Berechnung die vom Pendel II herrührenden Werte gänzlich zu vernachlässigen sein möchten. Da sich die Schwingungsdauer von II, wie aus allem hervorgeht, während der zweiten Hälfte der Campagne (wahrscheinlich auf der langen Bahnfahrt von Stuttgart-Ebingen und der Wagenfahrt von dort ins Gebirge hinauf nach Bitz) geändert hat, so könnte man jedenfalls die durch II erhaltenen Werte nur mit entsprechend der Änderung (zwischen dem 5. April bis 7. Mai) geringerem Gewicht in Rechnung ziehen; dies würde praktisch, nahezu mit einem vollkommenen Verzicht auf die Werte die durch Pendel II geliefert werden, übereinstimmen. Ich habe deshalb die Berechnung der Resultate für die südlich gelegenen Stationen nur auf die Angaben des Pendels IV gegründet.

Es würden mithin für die Berechnung der Werte von g für die nördlich Stuttgart gelegene Stationen als Werte des Log. des

¹ Es liegt auf der Hand, dass durch hinreichend grosse Verschiedenheit der Schwingungsdauer zweier invariabler Pendel auch auf diese Weise relative Schwerkraftbestimmungen vorgenommen werden könnten.

Verhältnisses der Schwingungsdauern der benutzten Pendel auf der Centralstation $\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$ in Anwendung kommen:

Der Mittelwert

$$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) = 0,0000796,$$

wobei $t_1 = \frac{s_I + s_{III}}{2}$ und $t_2 = \frac{s_{II} + s_{IV}}{2}$ sein würde. Für die Stationen, welche südlich Stuttgart gelegen sind, würde sich der Wert ergeben

$$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) = 0,0001286$$

wobei t_1 wiederum $= \frac{s_I + s_{III}}{2}$ dagegen $t_2 = s_{IV}$ sein würde. Dass

hierbei die Beobachtungen von Pendel IV wirklich synchron nur mit Pendel III stattgefunden haben, wird bei dem vorzüglichen Gange der Normaluhr nicht weiter in Betracht kommen.

Die Beobachtungen auf den übrigen Stationen mögen jetzt in der Reihenfolge, in der die Messungen auf denselben angestellt worden sind, folgen. Die angegebenen Beobachtungszeiten sind auch hier durchweg Nachtzeiten.

Fürfeld. $\varphi = 49^\circ 12' 35''$. Höhe der Pendellinse über NN. 220,65 m.

Der Beobachtungsraum befand sich im Keller des dortigen Schlosses. Die Schwingungsrichtung des Pendels war E. \rightarrow W. Der Abstand von Spiegel und Skala betrug 3100 mm. Am Fadenpendel war kein Mitschwingen zu spüren. Als Leitung nach Stuttgart wurde die Telephonleitung Frankfurt—Stuttgart zur Verfügung gestellt, dieselbe wurde an der nahen badischen Grenze für die Beobachtungsnacht unterbrochen.

[Vergl. I auf Tabelle 2.]

Schwaigern. $\varphi = 49^\circ 8' 30''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 188,5 m. Die Beobachtungen fanden im Keller des Schlosses statt (der Raum war die projektierte Familiengruft unter der Schlosskapelle), er war nur zugänglich durch einen 80—100 m langen unterirdischen Vorraum. In der Zeit zwischen der Einmauerung des Trägers und der Messung war im Schlosse eine Dampfheizung eingerichtet, das Dampfrohr ging allerdings auch durch den Beobachtungsraum; da jedoch die Dampfheizung Tag und Nacht im Gang war, war die Temperatur doch verhältnismässig recht konstant. Die

Schwingungsrichtung des Pendels war N. 30° E. → S. 30 W. Als Verbindungsleitung stand wieder die Telephonlinie Stuttgart—Frankfurt zur Verfügung. Abstand von Spiegel und Skala = 3050 mm.
[Vergl. II auf Tabelle 2.]

Brackenheim. $\varphi = 49^{\circ} 4' 40''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 192,65 m. Als Beobachtungsraum diente der Rathaus-Keller (circa 3 m unter dem Niveau der Strasse). Schwingungsrichtung des Pendels NW. → SE. Auch hier konnte wieder zur Verbindung nach Stuttgart an die unmittelbar vorbeiführende Telephonleitung Stuttgart—Frankfurt angeschlossen und (im nahen Postamt die Leitung dann isoliert werden. Abstand von Spiegel und Skala = 3000 mm.
[Vergl. III auf Tabelle 2.]

Freudenthal. $\varphi = 49^{\circ} 0' 35''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 286,1 m. Das Beobachtungslokal befand sich im Kellerraum der Schlossruine. Schwingungsrichtung des Pendels E. → W. Der Anschluss nach Stuttgart erfolgte durch die Fernleitung Stuttgart—Freudenthal. Abstand von Spiegel und Skala = 3000 mm.
[Vergl. IV auf Tabelle 2.]

Markgröningen. $\varphi = 48^{\circ} 54' 20''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 279,65 m. Die Beobachtungen fanden in einem tiefen (circa 5 m unter dem Strassenniveau befindlichen) Keller statt, der zum Lehrerinnenseminar gehörte (Nebenbau desselben). Schwingungsrichtung des Pendels ungefähr N. 50° W. Zur Verbindung nach Stuttgart stand nur eine einfache Leitung zur Verfügung. Störungen traten jedoch in der Beobachtungsnacht nicht auf.
[Vergl. V auf Tabelle 2.]

Bitz. $\varphi = 48^{\circ} 14' 30''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 873,2 m. Der Beobachtungsraum befand sich im Keller des Fabrikgebäudes der Firma TH. GROZ & SÖHNE, Nadelfabrik (Ebingen). In zuvorkommendster Weise hatten die Herren nicht nur den Raum, sondern auch ihre Privattelephonleitung nach Ebingen zum Anschluss zur Verfügung gestellt, wofür ich auch an dieser Stelle denselben meinen Dank aussprechen möchte. Die Kellerfenster waren durch Stroh etc. verstopft. Die Schwingungsrichtung des Pendels war NNW. → SSE. Da die für die Verbindung mit Stuttgart zur Verfügung stehende Leitung nur aus einem Drahte bestand, so war bei ungünstiger Witterung zu befürchten, dass bei der grossen Entfernung und den vielen Zwischenstationen, auf denen Schaltungen

herzustellen waren, Störungen vorkommen möchten. Da das Wetter sehr ungünstig war, so wurden die Beobachtungen bis zum 11. April unterbrochen. Auch in dieser Nacht gelangen die Beobachtungen nur dadurch, dass die E. M. K. der Linienbatterie in Stuttgart auf 110 Volt erhöht und auf der Feldstation (Bitz) ein Relais eingeschaltet wurde. Es stellte sich später heraus, dass auf einer der Zwischenstationen eine Stöpselung einen sehr grossen Widerstand bzw. Erdschluss hatte. Die Beobachtungen waren jedoch trotzdem ausführbar. Obgleich, wie oben mitgeteilt, bei den südlich Stuttgart gelegenen Stationen für die Berechnung nur die Schwingungsdauern des Pendels IV benutzt werden sollen, sind doch der Vollständigkeit wegen auch die Beobachtungen des Pendels II mit in der Tabelle aufgeführt.

[Vergl. VI auf Tabelle 2.]

Mössingen. $\varphi = 48^{\circ} 24' 20''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 465,2 m. Abstand Spiegel-Skala = 3000 mm. Der Beobachtungsraum war eine im Souterrain gelegene unbenützte Waschküche im Gebäude des Lehrerheims; das nach S. gelegene kleine Fenster wurde verstopft. Schwingungsrichtung des Pendels war SW. \rightarrow NE. Die Verbindung nach Stuttgart wurde dadurch hergestellt, dass an die von Ebingen und Tübingen nach Stuttgart geführte Fernleitung, die in circa 7—800 m Entfernung vorbeiführte, angeschlossen wurde; dieselbe wurde dann auf dem nächst gelegenen (entfernteren) Amte isoliert; auch dieser Anschluss wurde leicht provisorisch ausgeführt, indem die Enden dieser Ableitung mit den Hauptdrähten auf der Strecke verlötet wurden, die Ableitung selbst bestand aus gut isoliertem Draht, der längs der Wege über Bäume etc. verlegt wurde. Auch in der ersten Beobachtungsnacht in Mössingen gelang wegen desselben Fehlers in der Leitung wie bei der Beobachtung in Bitz, die Herstellung der Verbindung nicht so, dass die Signale regelmässig nach Mössingen übermittelt wurden, trotz Anwendung einer E. M. K. der Linienbatterie von 120 Volt; als dann der Fehler gefunden wurde, reichte in der folgenden Nacht die bisher gebrauchte E. M. K. von 36 Volt vollkommen aus.

[Vergl. VII auf Tabelle 2.]

Lustnau. $\varphi = 48^{\circ} 31' 55''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 326,04 m. Die Beobachtungen fanden im Keller eines Nebengebäudes der HEINRICH'schen Bierbrauerei und Gasthofs zum Ochsen statt; derselbe lag circa 3 m unter dem Niveau des umgebenden Terrains; das einzige kleine Fenster, das vorhanden war, war ge-

schlossen. Die Schwingungsrichtung des Pendels war NE. \rightarrow SW. Der Abstand von Spiegel und Skala betrug 3000 mm. Die von Stuttgart—Tübingen und weiter südwärts führende Telephonhauptleitung ging in unmittelbarer Nähe des Hauses vorüber; auch hier wurde auf der Strecke vermittelt isolierter Drahtleitungen angeschlossen und für diese Nacht die Hauptleitung auf dem Amt Tübingen isoliert.

[Vergl. VIII auf Tabelle 2.]

Schönaich. $\varphi = 48^{\circ} 39' 20''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 430,3 m. Schönaich ist die einzige Station, auf der ein oberirdisch gelegener Raum für die Beobachtungen benutzt werden musste. Da derselbe zur Zeit der Beobachtungen längere Zeit ausser Benutzung gewesen war, so wich die Temperatur im Innern von der äusseren Lufttemperatur nicht sonderlich ab; da zudem an jenen Tagen bedecktes Wetter herrschte, so waren auch Erwärmungen der Mauern durch Sonnenstrahlung nicht vorhanden. Die Temperaturen des eingemauerten Trägers stimmten unter diesen Umständen deshalb mit denen der Luft im Pendelkasten so gut überein wie in unterirdischen Räumen, wie folgende kleine Tabelle ergibt.

Temperatur des Trägers:	Temperatur der Luft im Pendelkasten:
10,28	10,075
10,39	10,36
10,51	10,54
10,46	10,61
10,49	10,56
10,45	10,47
Mittel: 10,430	10,436

Der Abstand von Spiegel und Skala betrug 2900 mm. Die Schwingungsrichtung des Pendels war nahezu E. \rightarrow W. Als Verbindung mit Stuttgart stand wiederum nur einfache Drahtleitung zu Gebote, bei der grösseren Nähe der Centralstation funktionierte jedoch alles mit ausreichender Sicherheit.

[Vergl. IX auf Tabelle 2.]

Solitude. $\varphi = 48^{\circ} 47' 10''$. Höhe der Pendellinse über NN. = 495,15 m. Der Beobachtungsraum lag im Keller des Schlossverwalters unter den Räumlichkeiten des Hotels. Schwingungsrichtung des Pendels N. \rightarrow S. Abstand von Spiegel und Skala = 2950 mm.

[Vergl. X auf Tabelle 2.]

Um aus diesen so erhaltenen Werten der reduzierten Schwingungsdauern der benutzten Pendel die Schwerkraft für die verschiedenen Feldstationen zu berechnen, ist es nötig, entsprechend der auf S. 374 gegebenen Formel die Verhältnisse $\frac{t_2}{t_1}$ und $\frac{t_1'}{t_2'}$ aus den Beobachtungen zu berechnen; das Quadrat dieser Verhältnisse giebt dann mit dem wahren Wert der Schwerkraft in Stuttgart multipliziert die wahren Werte der Schwerkraft auf den einzelnen Stationen. Die Werte für ersteres Verhältnis sind bereits oben (S. 394) mitgeteilt; und wie auch dort schon bemerkt worden, als Werte der Schwingungsdauern für die nördl. Stationen die Mittelwerte $\frac{s_I + s_{III}}{2}$ und $\frac{s_{II} + s_{IV}}{2}$ benutzt, der Log. dieses Verhältnisses ist

$$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) = 0,0000796.$$

Für die südlich Stuttgart gelegenen Stationen liegt, wie erwähnt, der Verdacht nahe, dass Pendel II nicht vollkommen invariabel geblieben ist — allerdings ist diese Invariabilität von 22 Einheiten der 7. Decimale bei anderen Beobachtern ebenfalls vorhanden und zum Teil einfach vernachlässigt, da jedoch durch nahezu vollständige Beseitigung der Fehlerquellen die Präcision bedeutend gewachsen ist, schien mir ein solches Verfahren nicht mehr erlaubt.

Aus diesen Gründen ist von mir, wie erwähnt, auf das Pendel II verzichtet worden, und sind die Werte nur auf Pendel IV im Verhältnis zu den Schwingungsdauern der Pendel I und Pendel III bezogen. Die erhaltenen Werte ändern sich auch nicht nennbar, wenn man die Werte von IV nur mit den Werten von III, die auf genau synchronen Beobachtungen beruhen, in Beziehung setzt, wie ebenfalls bereits erwähnt. Der Log. des Verhältnisses ergibt sich

$$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) = \log \left(\frac{s_{IV}}{\frac{s_I + s_{III}}{2}} \right) = 0,0001286$$

für die südlich Stuttgart gelegenen Stationen.

Es werden dann folgende Werte gefunden:

A. Für die nördlichen Stationen:

	Fürfeld	Schwaigern	Brackenheim	Freudenthal	Markgröningen
$\log \left(\frac{t_1'}{t_2'} \right)$	0,9999395—1	0,9999401—1	0,9999360—1	0,9999292—1	0,9999235—1
$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$	0,0000796	0,0000796	0,0000796	0,0000796	0,0000796
$\log \left(\frac{t_1'}{t_2'} \cdot \frac{t_2}{t_1} \right)^2$	0,0000382	0,0000394	0,0000312	0,0000176	0,0000062

B. Für die südlichen Stationen:

	Solitude	Schönaich	Lustnau	Mössingen	Bitz
$\log \left(\frac{t_1'}{t_2'} \right)$	0,9998614—1	0,9998599—1	0,9998614—1	0,9998543—1	0,9998301—1
$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$	0,0001286	0,0001286	0,0001286	0,0001286	0,0001286
$\log \left(\frac{t_1'}{t_2'} \cdot \frac{t_2}{t_1} \right)^2$	0,9999800—1	0,9999770—1	0,9999800—1	0,9999658—1	0,9999174—1

Die Werte dieser Log., vereinigt mit dem Log. der Schwerkraft in Stuttgart, geben den Log. des wahren Werts der Schwere auf der Beobachtungsstation.

Durch Messungen in Karlsruhe und Stuttgart nach vorstehender Methode ausgeführt, über welche später zu berichten sein wird, wurde für Stuttgart als Wert der Schwere gefunden:

Stuttgart. $\varphi = 48^\circ 46' 54'$. Höhe der Pendellinie über NN. = 250,5 m
 $g = 980,914$ cm,

wobei entsprechend einer freundlichen Mitteilung des Herrn Geh.-Rat HAID in Karlsruhe für Karlsruhe der Wert von $g = 980,982$ zu Grunde gelegt ist.

Unter Benutzung dieses Wertes von g für Stuttgart findet man für die 10 Stationen des Tübinger Meridians folgende Werte in Centimeter:

Fürfeld	Schwaigern	Brackenheim	Freudenthal	Markgröningen
981,001	981,003	980,985	980,954	980,929
Solitude	Schönaich	Lustnau	Mössingen	Bitz
980,869	980,862	980,869	980,837	980,728

Die so erhaltenen direkten Werte werden nun, um dieselben untereinander und mit den nach der Formel

$$\gamma_0 = 978.0 (1 + 0,005310 \sin^2 \varphi)$$

berechneten für das Meeresniveau und die Breite φ geltenden Grössen zu vergleichen, auf das Meeresniveau reduziert und dabei von dem Einfluss der nächstliegenden Massen befreit. Die Reduktion auf das Meeresniveau, die immer positiv zu setzen ist, wird gegeben durch die Grösse

$$2 \frac{H}{R} \cdot g,$$

wo g die beobachtete Schwere, H die Höhe der Station und R der mittlere Erdradius ist (zu 6 366 740 m angenommen). Der Einfluss der nächstliegenden Massen wird einestheils darin bestehen, dass die unter der Station bis zum Meeresniveau befindlichen Massen eine Anziehung ausüben, also die Schwere vergrössern, und andernteils darin, dass die umliegenden höher gelegenen Massen ebenfalls eine Attraktion ausüben, welche die Schwere am Beobachtungsort verringern werden. Die erstere Korrektur wird infolgedessen stets negativ, die letztere (die sogen. topographische Korrektur) stets positiv ausfallen; erstere hat den Wert

$$\frac{3}{2} \frac{H}{R} \cdot \frac{s}{s_0}$$

Hierin bedeuten s die mittlere Dichtigkeit des auf der Station anstehenden Gesteins, $s_0 = 5,16$ die mittlere Dichtigkeit der Erde, H und R haben die nämlichen Bedeutungen wie vorher.

In welcher Weise die topographische Korrektur berechnet wird, mag hier unerörtert bleiben, und in Bezug hierauf auf die Werke: HELMERT, Höhere Geodäsie II, p. 166 und 241 ff., sowie HELMERT, Die Schwerkraft im Hochgebirge 1890. v. STERNECK, Die Schwerkraft in den Alpen etc., verwiesen werden. Es war also die durch die Beobachtungen für eine Station erhaltene Schwerkraft mit dem Ausdruck

$$\left(1 + 2 \frac{H}{R} - \frac{3H \cdot s}{2R s_0} \right)$$

zu multiplizieren und an der so erhaltenen Grösse die topographische Korrektur, die bei den 10 Stationen des Tübinger Meridians die Grösse von 1 Einheit der 5. Decimale nie übersteigt, anzubringen.

Es ergeben sich dann die in nachstehender Tabelle 3 angeführten Werte:

Wie man sieht, sind die Differenzen zwischen der beobachteten g_0 (Meeresniveau etc. reduzierten) Schwere g_0 und der nach der LAMERT'schen Formel berechneten γ stets positiv, d. h. die Schwere ist auf allen 10 Stationen des Tübinger Meridians grösser als normale; die positiven Werte der Abweichung steigen im allgemeinen von S. nach N.

Untersuchungen über erreichte Genauigkeit und Ermittlung wahrscheinlichster Werte nach der Methode der kleinsten Quadrate scheinen mir bei der doch immerhin beschränkten Anzahl der Beobachtungen nicht angebracht; es sind jeweils nur die arithmetischen Mittelwerte gebildet. Dagegen könnte folgende Zusammenstellung über die Zuverlässigkeit der erhaltenen Werte einige Auskunft geben.

Wie oben (S. 376) bemerkt, waren bereits im Jahre 1899 auf denselben Stationen Schweremessungen ausgeführt, bei der Rückkehr zur Centralstation zeigte sich jedoch, dass die beiden mitgeführten Pendel (*A*) und (*B*) sich gegen das auf der Centralstation zurückgelassene Pendel *C* um beträchtliche Grössen geändert hatten. Da nun die Differenzen der Schwingungsdauern von (*A*) gegen (*B*) ebenfalls variabel waren, so war nicht festzustellen, welches der Pendel hauptsächlich variiert hatte. Da das Pendel (*C*) während der ganzen Zeit ruhig im Pendelkasten verblieben war, so waren wahrscheinlich die Pendel (*A*) und (*B*) diejenigen, welche eine Änderung erlitten hatten, ob beide oder nur eines derselben, war natürlich zweifelhaft.

Eine Vergleichung der Werte der Messungen des Jahres 1900 mit den 1899 erhaltenen ergibt nun das Resultat, dass sich mit Ausnahme der Resultate einer Station (Brackenheim) die erhaltenen Werte von *A* oder *B* oder ihres Mittels mit *C* so kombinieren lassen, dass für das beobachtete g sich Zahlen ergeben, die nahe mit denen der Messungen aus dem Jahre 1900 zusammenfallen, zum Teil sogar mit ihnen identisch sind. Folgende Tabelle giebt darüber Auskunft¹.

	Fürfeld $\frac{1}{2} (A + B)$	Schwaigern A	Brackenheim $\frac{1}{2} (A + B)$	Freudenthal	Markgröningen B
399	9,81001	9,81003	9,80992	fehlt	9,80928
300	9,81001	9,81003	9,80985	9,80954	9,80929

¹ Die Überschriften A, B oder $\frac{1}{2} (A + B)$ sollen angeben, welches Pendel, oder B, oder das Mittel beider, $\frac{1}{2} (A + B)$, für die Berechnung in dieser Tabelle pro 1899 benutzt worden ist.

Die so erhaltenen direkten Werte werden nun, um dies untereinander und mit den nach der Formel

$$\gamma_0 = 978,0 (1 + 0,005310 \sin^2 \varphi)$$

berechneten für das Meeresniveau und die Breite φ geltenden Gr zu vergleichen, auf das Meeresniveau reduziert und dabei von Einfluss der nächstliegenden Massen befreit. Die Reduktion au Meeresniveau, die immer positiv zu setzen ist, wird gegeben (die Grösse

$$2 \frac{H}{R} \cdot g,$$

wo g die beobachtete Schwere, H die Höhe der Station und R mittlere Erdradius ist (zu 6 366 740 m angenommen). Der Eir der nächstliegenden Massen wird einesteils darin bestehen, dass unter der Station bis zum Meeresniveau befindlichen Massen Anziehung ausüben, also die Schwere vergrössern, und ander darin, dass die umliegenden höher gelegenen Massen ebenfalls Attraktion ausüben, welche die Schwere am Beobachtungsort ringern werden. Die erstere Korrektion wird infolgedessen negativ, die letztere (die sogen. topographische Korrektion) positiv ausfallen; erstere hat den Wert

$$\frac{3}{2} \frac{H}{R} \cdot \frac{s}{s_0}$$

Hierin bedeuten s die mittlere Dichtigkeit des auf der Sta anstehenden Gesteins, $s_0 = 5,16$ die mittlere Dichtigkeit der E H und R haben die nämlichen Bedeutungen wie vorher.

In welcher Weise die topographische Korrektion berecd wird, mag hier unerörtert bleiben, und in Bezug hierauf auf Werke: HELMERT, Höhere Geodäsie II, p. 166 und 241 ff., so HELMERT, Die Schwerkraft im Hochgebirge 1890. v. STERNECK, Schwerkraft in den Alpen etc., verwiesen werden. Es war also durch die Beobachtungen für eine Station erhaltene Schwerkraft dem Ausdruck

$$\left(1 + 2 \frac{H}{R} - \frac{3H \cdot s}{2R s_0}\right)$$

zu multiplizieren und an der so erhaltenen Grösse die topographis Korrektion, die bei den 10 Stationen des Tübinger Meridians Grösse von 1 Einheit der 5. Decimale nie übersteigt, anzubring

Es ergeben sich dann die in nachstehender Tabelle 3 angeführ Werte:

Wie man sieht, sind die Differenzen zwischen der beobachteten (auf Meeresniveau etc. reduzierten) Schwere g_0 und der nach der HELMERT'schen Formel berechneten γ stets positiv, d. h. die Schwerkraft ist auf allen 10 Stationen des Tübinger Meridians grösser als die normale; die positiven Werte der Abweichung steigen im allgemeinen von S. nach N.

Untersuchungen über erreichte Genauigkeit und Ermittlung wahrscheinlichster Werte nach der Methode der kleinsten Quadrate erscheinen mir bei der doch immerhin beschränkten Anzahl der Beobachtungen nicht angebracht; es sind jeweils nur die arithmetischen Mittelwerte gebildet. Dagegen könnte folgende Zusammenstellung über die Zuverlässigkeit der erhaltenen Werte einige Auskunft geben.

Wie oben (S. 376) bemerkt, waren bereits im Jahre 1899 auf denselben Stationen Schweremessungen ausgeführt, bei der Rückkehr zur Centralstation zeigte sich jedoch, dass die beiden mitgeführten Pendel (*A*) und (*B*) sich gegen das auf der Centralstation zurückgelassene Pendel *C* um beträchtliche Grössen geändert hatten. Da nun die Differenzen der Schwingungsdauern von (*A*) gegen (*B*) ebenfalls variabel waren, so war nicht festzustellen, welches der Pendel hauptsächlich variiert hatte. Da das Pendel (*C*) während der ganzen Zeit ruhig im Pendelkasten verblieben war, so waren wahrscheinlich die Pendel (*A*) und (*B*) diejenigen, welche eine Änderung erlitten hatten, ob beide oder nur eines derselben, war natürlich zweifelhaft.

Eine Vergleichung der Werte der Messungen des Jahres 1900 mit den 1899 erhaltenen ergibt nun das Resultat, dass sich mit Ausnahme der Resultate einer Station (Brackenheim) die erhaltenen Werte von *A* oder *B* oder ihres Mittels mit *C* so kombinieren lassen, dass für das beobachtete g sich Zahlen ergeben, die nahe mit denen der Messungen aus dem Jahre 1900 zusammenfallen, zum Teil sogar mit ihnen identisch sind. Folgende Tabelle giebt darüber Auskunft¹.

	Fürfeld $\frac{1}{2} (A + B)$	Schwaigern A	Brackenheim $\frac{1}{2} (A + B)$	Freudenthal	Markgröningen B
1899	9,81001	9,81003	9,80992	fehlt	9,80928
1900	9,81001	9,81003	9,80985	9,80954	9,80929

¹ Die Überschriften A, B oder $\frac{1}{2} (A + B)$ sollen angeben, welches Pendel, A oder B, oder das Mittel beider, $\frac{1}{2} (A + B)$, für die Berechnung in dieser Tabelle pro 1899 benutzt worden ist.

	Solitude B	Schönaich $\frac{1}{2} (A + B)$	Lustnau B	Mössingen $\frac{1}{2} (A + B)$	Bitz A
1899	9,80871	9,80860	9,80870	9,80838	9,80729
1900	9,80869	9,80862	9,80869	9,80837	9,80728

Dieses merkwürdige Verhalten ist offenbar nicht anders zu erklären, als durch die Annahme, dass die Achatschneide in ihrer Fassung im Kopf der Pendelstange der alten Pendel mehrere Gleichgewichtslagen hat, denen verschiedene Pendellängen und damit Schwingungsdauern entsprechen. Die im Prinzip meiner Meinung nach nicht richtige Konstruktion jener Pendel erlaubt diese Erklärung offenbar.

Stuttgart, 28. März 1901.

[Tabellen s. S. 403 ff.]

Tabelle 1.

Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	$t_1 = \frac{s_I + s_{III}}{2}$	Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	$t_2 = \frac{s_{II} + s_{IV}}{2}$ bzw. s_{IV}	$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$
	Stuttgart 1900, März 14 (Vergleichsraum).													
2,5h	III	13,5	13,64	747,3	0,5079825		2,9h	II	9,7	10,275	747,15	0,5081589	0,5082147	0,0000795
3,25	III	11,6	13,695	746,8	0,5079819	0,5081216	3,8	IV	12,2	10,40	746,8	0,5082706		
4,25	I	14,7	13,97	746,95	0,5082607		5,1	IV	11,2	10,425	747,1	0,5082717		
6,20	I	13,6	14,04	747,3	0,5082612	6,1	II	9,7	10,44	747,4	0,5081576			
	Stuttgart (Pendelraum).													
	1900 März 15.													
2,3h	III	11,4	13,61	743,4	0,5079834		2,3h	II	9,3	10,00	743,5	0,5081590	0,5082154	0,0000794
3,2	III	13,0	13,64	742,9	0,5079829	0,5081225	3,2	IV	11,9	10,10	742,9	0,5082726		
4,2	I	12,4	13,80	742,35	0,5082618		4,1	IV	10,8	10,19	742,4	0,5082723		
5,2	I	11,6	13,84	741,8	0,5082623	5,1	II	11,7	10,27	741,9	0,5081580			
6,1	III	10,9	13,95	741,3	0,5079819	6,1	II	13,9	10,32	741,4	0,5081584	0,5082722	0,0000793	
7,0	I	11,4	14,01	741,05	0,5082628	7,0	IV	11,5	10,34	741,0	0,5082722			
	Stuttgart (Vergleichsraum).													
	1900 März 16.													
3,0h	I	12,75	13,51	731,2	0,5082629		3,0h	II	9,5	10,25	731,2	0,5081587	0,5082158	0,0000793
3,8	I	13,4	13,57	730,6	0,5082626	0,5081231	3,8	II	9,5	10,26	730,7	0,5081581		
4,7	III	10,9	13,63	730,3	0,5079834		4,7	IV	10,8	10,30	730,5	0,5082730		
5,4	III	11,0	13,66	730,3	0,5079834	5,4	IV	10,9	10,35	730,4	0,5082733			
	Stuttgart (Pendelraum).													
	1900 April 4.													
8,8h	I	13,0	11,725	732,4	0,5082635		8,8h	II	12,9	8,62	732,4	0,5081606	0,5082169	0,0000797
9,6	I	12,75	11,785	731,4	0,5082634	0,5081237	9,6	II	12,8	8,705	731,4	0,5081606		
10,4	I	12,9	11,815	731,5	0,5082628		10,5	II	12,9	8,775	731,5	0,5081598		
0,2	III	12,4	11,89	730,9	0,5079844	1,0	IV	14,5	8,97	730,9	0,5082725	0,5082735		
1,0	III	12,0	11,915	730,6	0,5079843	1,0	IV	14,1	8,985	730,6	0,5082738			
1,7	III	12,2	11,915	730,2	0,5079841	1,7	IV	14,3	9,01	730,2	0,5082742			
	1900 April 5													
9,8h	I	12,3	11,86	731,8	0,5082637		9,8h	II	12,8	9,05	731,8	0,5081592	0,5082169	0,0000797
10,6	I	12,4	11,90	731,8	0,5082628	10,6	II	13,1	9,065	731,8	0,5081597			
11,4	I	12,5	11,93	731,8	0,5082627	11,3	II	12,8	9,09	731,8	0,5081592			

Beobachtung abgebrochen.

Tabelle 1.

Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	$t_1 = \frac{s_I + s_{III}}{2}$	Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	$t_2 = \frac{s_{II} + s_{IV}}{2}$ bezw. s_{IV}	$\log \left(\frac{t_2}{t_1} \right)$
Stuttgart (Pendelraum).														
8,9h	I	12,4	11,805	738,4	0,5082623	} 0,5081225	8,9h	IV	15,0	9,015	738,4	0,5082746	} 0,5082737	} 0,0000800
9,6	I	13,5	11,84	738,5	0,5082614		9,6	IV	14,8	9,065	738,5	0,5082736		
10,5	I	12,8	11,885	738,5	0,5082618		10,5	IV	16,1	9,120	738,5	0,5082730		
11,9	III	14,5	11,96	738,35	0,5079833	} 0,5081225	11,9	II	11,5	9,215	738,35	0,5081585	} 0,5082161	} 0,0000800
0,8	III	12,4	11,96	738,4	0,5079833		0,7	II	12,0	9,24	738,4	0,5081582		
1,5	III	13,6	11,96	738,2	0,5079831		1,7	II	14,1	9,265	738,2	0,5081586		
Stuttgart (Pendelraum).														
8,9h	I	10,4	14,175	733,6	0,5082615	} 0,5081222	8,9h	II	14,2	14,34	733,6	0,5081557	} 0,5082733	} 0,0000790
9,5	I	10,4	14,21	733,5	0,5082615		9,6	II	15,8	14,36	733,5	0,5081559		
10,2	I	11,0	14,24	733,3	0,5082618		10,3	II	15,5	14,36	733,3	0,5081567		
11,4	III	7,4	14,31	733,0	0,5079830	} 0,5081222	11,4	IV	16,9	14,43	733,0	0,5082732	} 0,5082733	} 0,0000790
0,2	III	8,2	14,34	732,75	0,5079832		0,1	IV	13,4	14,415	732,75	0,5082735		
0,8	III	8,8	14,34	732,6	0,5079828		0,8	IV	17,0	14,39	732,6	0,5082732		
Stuttgart (Vergleichsraum).														
9,2h	I	10,1	14,355	727,7	0,5082617	} 0,5081225	9,2h	II	12,2	14,285	727,7	0,5081560	} 0,5082725	} 0,0000785
9,9	I	10,2	14,38	728,1	0,5082621		9,8	II	12,7	14,31	728,1	0,5081561		
10,5	I	10,2	14,39	728,2	0,5082620		10,5	II	12,7	14,31	728,2	0,5081568		
11,6	III	8,4	14,465	728,3	0,5079830	} 0,5081225	11,8	IV	15,9	14,365	728,3	0,5082733	} 0,5082725	} 0,0000785
0,3	III	7,8	14,475	728,3	0,5079829		0,5	IV	15,4	14,36	728,3	0,5082724		
1,0	III	7,8	14,47	728,1	0,5079832		1,5	IV	12,0	14,375	728,1	0,5082727		
Stuttgart (Vergleichsraum).														
9,2h	II	12,2	14,285	727,7	0,5081560	} 0,5081225	9,2h	II	12,2	14,285	727,7	0,5081560	} 0,5082725	} 0,0000785
9,8	II	12,7	14,31	728,1	0,5081561		9,8	II	12,7	14,31	728,1	0,5081561		
10,5	II	12,7	14,31	728,2	0,5081568		10,5	II	12,7	14,31	728,2	0,5081568		
11,8	IV	15,9	14,365	728,3	0,5082733	} 0,5081225	11,8	IV	15,9	14,365	728,3	0,5082733	} 0,5082725	} 0,0000785
0,5	IV	15,4	14,36	728,3	0,5082724		0,5	IV	15,4	14,36	728,3	0,5082724		
1,5	IV	12,0	14,375	728,1	0,5082727		1,5	IV	12,0	14,375	728,1	0,5082727		

Synchrone Beobachtungen in Stuttgart und auf den Feldstationen.

Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sekunden	$t_1' = \frac{s_1 + s_{III}}{2}$	Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sekunden	$t_2' = \frac{s_{II} + s_{IV}}{2}$	Mittelwerte von $\frac{s_{II} + s_{IV}}{2}$	$\log \frac{t_1'}{t_2'}$
Fürfeld.															
1900 März 20.															
9,5h	I	12,7	13,10	735,3	0,5082634		9,5h	II	10,5	3,42	737,8	0,5081386			
10,25	I	9,6	13,14	735,3	0,5082634		10,4	II	9,8	3,54	738,0	0,5081379		0,5081380	
11,0	I	17,0	13,16	735,2	0,5082634	0,5081241	11,2	II	10,3	3,62	738,0	0,5081375		0,5081949	
0,3	III	15,7	13,19	735,2	0,5079847		0,3	IV	10,95	3,745	737,9	0,5082519		0,50825186	
1,15	III	16,0	13,175	735,1	0,5079846		1,2	IV	10,8	3,76	737,95	0,5082519			
1,95	III	15,7	13,19	734,9	0,5079849		1,9	IV	10,95	3,76	737,75	0,5082518			
Stuttgart.															
1900 März 22.															
9,5h	I	10,68	13,185	728,9	0,5082640		9,5h	II	8,15	11,505	734,0	0,5081362			
10,3	I	12,7	13,22	728,9	0,5082639		10,3	II	8,2	11,585	733,9	0,5081375		0,5081377	
11,1	I	13,05	13,24	729,1	0,5082641	0,5081246	11,1	II	9,5	11,54	733,95	0,5081393		0,5081947	
0,5	III	11,1	13,29	729,15	0,5079851		0,4	IV	10,3	11,55	734,25	0,5082517		0,5082518	
1,3	III	10,9	13,27	729,3	0,5079852		1,1	IV	10,3	11,51	734,35	0,5082519			
2,2	III	11,3	13,245	729,4	0,5079853		1,9	IV	10,5	11,45	734,35	0,5082517			
Schwaigern.															
1900 März 24.															
9,4h	I	14,2	13,07	731,4	0,5082639		9,5h	II	9,4	5,295	736,8	0,5081414			
10,2	I	16,1	13,09	731,5	0,5082632		10,3	II	9,4	5,36	736,9	0,5081426		0,5081419	
11,0	I	15,7	13,095	731,5	0,5082638	0,5081241	11,1	II	9,4	5,38	736,95	0,5081417		0,5081990	
0,4	III	12,8	13,115	731,5	0,5079847		0,3	IV	10,2	5,465	737,0	0,5082562		0,5082562	
1,3	III	12,6	13,11	731,5	0,5079847		1,0	IV	10,3	5,465	737,0	0,5082562			
2,0	III	12,7	13,105	731,4	0,5079844		2,0	IV	10,2	5,46	736,8	0,5082561			
Brackenheim.															
1900 März 27.															
9,6h	I	10,4	12,755	731,8	0,5082637		9,55h	II	13,9	3,325	728,3	0,5081482			
10,3	I	12,5	12,76	731,6	0,5082637		10,4	II	13,9	3,435	728,1	0,5081488		0,5081486	
11,1	I	12,4	12,76	731,3	0,5082635	0,5081237	11,1	II	12,1	3,48	728,1	0,5081487		0,5082065	
0,55	III	11,0	12,88	731,1	0,5079832		0,2	II	17,2	3,55	727,95	0,5081485		0,5082645	
1,35	III	11,0	12,86	731,0	0,5079839		1,3	IV	14,0	3,635	727,8	0,5082641			
2,1	III	11,1	12,835	731,0	0,5079844		2,0	IV	16,0	3,65	727,8	0,5082650			

Tabelle 2.
Synchrone Beobachtungen in Stuttgart und auf den Feldstationen.

Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	$t_1' = \frac{s_I + s_{III}}{2}$	Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	Mittelwerte von s_{II} und s_{IV}	$\log \left(\frac{t_1'}{t_2'} \right)$ $t_2' = s_{IV}$
Stuttgart.														
9,5h	I	11,15	12,48	734,6	0,5082634	0,50812365	9,4h	II	10,0	5,92	732,45	0,5081557	0,5082705	0,999235-1
10,2	I	11,6	12,535	734,8	0,5082635		10,2	II	10,0	6,015	732,6	0,5081558		
11,0	I	11,8	12,55	734,85	0,5082633		10,9	II	10,5	6,09	732,85	0,5081556		
0,3	III	11,3	12,635	735,2	0,5079839	0,5082702	0,3	IV	12,3	6,145	732,9	0,5082702	0,5082705	0,9998543-1
1,1	III	11,2	12,635	735,2	0,5079841		1,0	IV	12,4	6,125	733,15	0,5082707		
1,9	III	11,0	12,63	735,4	0,5079837		1,8	IV	11,9	6,120	733,15	0,5082707		
1900 März 29. Markgröningen.														
Stuttgart.														
10,3h	I	7,95	11,975	738,1	0,5082621	0,5081227	10,3h	II	17,2	9,01	684,0	0,5082060	0,5082056	0,9998386-1
11,0	I	8,55	11,97	737,9	0,5082619		11,0	II	17,2	9,245	685,6	0,5082051		
11,8	I	8,6	11,995	737,63	0,5082618		11,8	II	17,2	9,395	685,5	0,5082057		
0,3	III	8,4	12,11	737,3	0,5079834	0,5083215	1,2	IV	18,4	9,46	685,0	0,5083213	0,5083215	0,9998386-1
1,6	III	8,55	12,15	736,85	0,5079833		1,9	IV	18,4	9,46	684,3	0,5083224		
2,4	III	8,55	12,13	736,3	0,5079835		2,6	IV	18,4	9,465	684,4	0,5083209		
1900 April 11. Bitz.														
Stuttgart.														
9,65h	I	10,5	12,765	753,2	0,5082600	0,5081209	9,5h	II	10,51	8,88	733,9	0,5081777	0,5081774	0,9998543-1
10,4	I	10,0	12,765	753,2	0,5082605		10,3	II	10,75	9,068	733,9	0,5081770		
11,4	I	10,9	12,76	753,3	0,5082606		11,0	II	12,55	9,20	734,0	0,5081775		
0,4	III	8,7	12,84	753,3	0,5079814	0,5082914	0,1	IV	12,2	9,365	734,05	0,5082921	0,5082914	0,9998543-1
1,2	III	8,55	12,835	753,4	0,5079816		0,8	IV	11,6	9,415	734,05	0,5082910		
2,0	III	8,0	12,825	753,4	0,5079814		1,5	IV	12,2	9,42	734,05	0,5082910		
1900 April 19. Misingen.														
Stuttgart.														
9,6h	I	9,9	12,955	747,25	0,5082599	0,5081209	9,6h	II	13,8	7,18	740,2	0,5081655	0,5082831	0,9998614-1
10,4	I	10,0	12,965	747,1	0,5082602		10,3	II	12,5	7,39	740,1	0,5081646		
11,2	I	10,2	12,98	746,9	0,5082608		11,2	II	12,0	7,54	739,95	0,5081646		
0,7	III	7,9	13,19	746,8	0,5079811	0,5082827	0,7	IV	13,0	7,705	739,8	0,5082827	0,5082831	0,9998614-1
1,5	III	7,6	13,195	746,55	0,5079816		1,4	IV	13,0	7,705	739,55	0,5082831		
2,2	III	7,6	13,175	746,3	0,5079817		2,1	IV	13,8	7,715	739,2	0,5082834		

Tabelle 2.

Synchrone Beobachtungen in Stuttgart und auf den Feldstationen.

Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	$t_1' = \frac{s_I + s_{III}}{2}$	Mittlere Ortszeit	Nummer des Pendels	Amplitude in Minuten	Temperatur des Pendels	Luftdruck	Reduzierte Schwingungsdauer in Sternzeit-Sekunden	$\log \left(\frac{t_1'}{t_2'} \right)$ ($t_2' = s_{IV}$)
1900 April 28.													
Stuttgart.													
9,4h	I	10,95	13,475	737,2	0,5082614	0,5081219	9,4h	II	12,0	10,075	722,4	0,5081664	0,5081670
10,15	I	11,4	13,51	737,6	0,5082611		10,1	II	12,0	10,36	722,4	0,5081669	
10,9	I	11,0	13,53	737,55	0,5082615		10,9	II	11,6	10,54	722,2	0,5081678	
0,25	III	9,5	13,64	737,4	0,5079825		0,2	IV	14,2	10,61	722,0	0,5082853	
1,0	III	9,2	13,64	737,1	0,5079826		0,95	IV	13,6	10,56	721,85	0,5082880	
1,8	III	9,1	13,635	736,9	0,5079825	1,7	IV	13,5	10,47	721,85	0,5082862	0,9998599-1	
Schönaich.													
IX													
1900 April 30.													
Stuttgart.													
9,6h	I	11,3	13,62	737,8	0,5082618	0,5081219	9,6h	II	11,8	11,84	717,3	0,5081668	0,5081665
10,3	I	10,9	13,655	737,8	0,5082609		10,4	II	11,6	12,145	717,3	0,5081661	
11,2	I	10,65	13,665	737,9	0,5082617		11,2	II	11,4	12,255	717,3	0,5081667	
0,5	III	8,3	13,76	738,2	0,5079823		0,4	IV	14,0	12,435	717,5	0,5082840	
1,25	III	8,55	13,75	738,2	0,5079823		1,15	IV	14,0	12,47	717,4	0,5082842	
2,0	III	8,35	13,75	738,2	0,5079826	1,9	IV	14,0	12,53	717,3	0,5082840	0,9998614-1	
Solitude.													
X													

Tabelle 5.

Ort	Datum	(Geograph. Breite	Geograph. Länge östlich Greenwich	Höhe der Pendellinie über NN.	Prob- achtete Schwere g	Angenommene Gesteinsdichte	$\log \left(1 + \frac{2H}{R} \right) - \frac{3}{2} \frac{H}{s_0}$	Topogr. Korr. $\frac{1}{\text{dg } 10^4}$	Schwere		Differenz $\gamma_0 - \gamma$
									be- obachtet γ_0	be- rechnet γ	
Karlsruhe	31. Mai — 3. Juni	49° 0' 39,2"	8° 24' 48"	114,96	m 9,80982	—	—	—	m	m	—
Stuttgart	9. Juni — 12. Juni	48° 46' 54"	9 10 30	250,5	9,80914	2,0	0,0000252	+ 1	9,80972	9,80938	+ 0,00034
Bitz	April 11./12.	48° 14' 30"	9 5 42	873,2	9,80728	2,7	0,0000760	+ 0	9,80900	9,80890	+ 0,00010
Mössingen	" 19./20.	48° 24' 20"	9 3 30	465,2	9,80857	2,7	0,0000405	+ 1	9,80930	9,80904	+ 0,00026
Lustnan	" 21./22.	48° 31' 55"	9 4 40	326,04	9,80869	2,0	0,0000325	+ 1	9,80944	9,80916	+ 0,00028
Schönau	" 28./29.	48° 39' 20"	9 3 45	430,3	9,80862	2,6	0,0000382	+ 0	9,80949	9,80927	+ 0,00022
Soltude	April 30./Mai 1.	48° 47' 10"	9 5 12	495,15	9,80869	2,6	0,0000439	+ 1	9,80969	9,80939	+ 0,00029
Markgröningen	März 29./30.	48° 54' 20"	9 4 55	279,65	9,80929	2,0	0,0000278	+ 0	9,80989	9,80949	+ 0,00040
Prendenthal	" 27./28.	49° 0' 35"	9 3 47	286,1	9,80954	2,0	0,0000288	+ 0	9,81014	9,80959	+ 0,00055
Brackenheim	" 24./25.	49° 4' 40"	9 4 1	192,65	9,80985	2,0	0,0000194	+ 0	9,81028	9,80965	+ 0,00063
Schwaigern	" 22./23.	49° 8' 30"	9 3 39	188,5	9,81003	2,0	0,0000189	+ 0	9,81045	9,80971	+ 0,00074
Fürfeld	" 20./21.	49° 12' 35"	9 3 35	220,65	9,81001	2,0	0,0000224	+ 0	9,81052	9,80977	+ 0,00075

Karlsruhe
 Stuttgart
 Bitz
 Mössingen
 Lustnan
 Schönau
 Soltude
 Markgröningen
 Prendenthal
 Brackenheim
 Schwaigern
 Fürfeld

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: [57](#)

Autor(en)/Author(s): Koch Karl Richard von

Artikel/Article: [Relative Schweremessungen in Württemberg. 356-408](#)