

III. Original-Abhandlungen und Mitteilungen.

Relative Schweremessungen in Württemberg.

III. Messungen auf der Linie: Ulm—Freudenstadt (auf den Stationen: Ulm, Blaubeuren, Urach, Münsingen, Bonau, Rottenburg, Horb, Dornstetten, Freudenstadt).

Mit 7 Figuren.

Mit einem Anhang: Versuche, dem Magazinthermometer und dem Pendel gegen Temperaturänderungen die gleiche Trägheit zu geben.

Von **K. R. Koch.**

Die für das Jahr 1903 geplanten relativen Schweremessungen auf den in der Überschrift genannten Stationen (unter einer mittleren geographischen Breite von ungefähr $48^{\circ} 26'$ gelegen) fanden in den Monaten März—April dieses Jahres statt. Die Stationen lagen im Mittel ca. 13 km auseinander.

Seitens des K. Ministeriums des Kirchen- und Schulwesens waren wiederum die nötigen Mittel bereit gestellt und von der K. Telegrapheninspektion Stuttgart wie in früheren Jahren in liberalster Weise die Telephonleitungen des Württembergischen Telephonnetzes während der Nachtstunden zur Verfügung gestellt. Ein beigegebener Telegraphenvorarbeiter führte die nötigen Anschlüsse an die Koinzidenzapparate auf den Feldstationen und auf der Zentralstation (im physikalischen Institut der Technischen Hochschule) in Stuttgart aus; den hohen Behörden sei auch diesmal für das Entgegenkommen an dieser Stelle Dank abgestattet.

Während des Sommers 1902 waren auf den Feldstationen passende Keller ausgesucht, und in einer Nische derselben, die in meiner ersten Mitteilung (diese Jahresh. Jahrg. 1901. p. 359) beschriebenen eisernen Träger für das Pendelstativ mit Zement eingemauert. Nach den Erfahrungen der Vorjahre war bei der Aus-

wahl der Keller auch darauf Rücksicht genommen, daß Schwierigkeiten wegen auftretenden Grundwassers möglichst nicht zu befürchten waren.

Die neuen Pendel aus Delta-Metall.

Wie die Diskussion der Beobachtungen der Messungen von 1900 und 1902¹ ergab, war die Unveränderlichkeit der Pendel — diese Grundbedingung für die Richtigkeit relativer Messungen — keine absolute; auch die Beobachtungen des Jahres 1902 zeigten eine gewisse Veränderlichkeit der Pendel², sowohl waren die Werte der Verhältnisse der Schwingungsdauern vor und nach der Reise nicht dieselben, als auch zeigten sich von Messungsreihe zu Messungsreihe desselben Tages größere Differenzen, als zu erwarten waren. Während erstere wohl nur durch Veränderlichkeiten im Material der Pendel erklärlich sein dürften (Spannungen etc.), schiebe ich letztere auf Ungenauigkeiten der Geradlinigkeit der Schneidenkante und ihrer Orientierung im Pendelkopf³, so daß bei jedesmaligem Neuauflegen sich andere Einstellungen ergeben.

Ich beschloß deshalb, neue Pendel anfertigen zu lassen, womit ich den Mechaniker des Physikalischen Instituts, Herrn KLOPFER, beauftragte. Entsprechend den l. c. I. p. 377 mitgeteilten Tatsachen über die Anisotropie des Messings erschien mir dies Material für wahrhaft invariable Pendel nicht das passende zu sein. Nickelstahl ist seiner magnetischen Eigenschaften wegen ausgeschlossen. Bekanntlich ändern nun aber geringe Zusätze irgend eines anderen Materials die physikalischen Eigenschaften einer Legierung bedeutend; es möchte deshalb ein geringer Zusatz anderen Metalls zu der Messinglegierung jene besagte Anisotropie beseitigen oder doch geringer machen; es fiel deshalb die Wahl auf eine neuerdings in der Technik häufig gebrauchte, dem Messing in seiner Zusammensetzung ähnliche Legierung, das Delta-Metall (gewöhnlich aus 56 % Cu, 40 % Zn, 1 % Fe, 1 % Pb, 1 % Mangan nebst Spuren von Nickel und Phosphor bestehend), es unterscheidet sich vom Messing durch etwas stärkeren Zinkgehalt und den geringen Zusatz von Fe, Pb und Mn. Dies Metall zeichnet sich bekanntlich durch verhältnismäßig große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse (Säuren), sowie durch eine

¹ Diese Jahresh. Jahrg. 1901, p. 356 ff. und Jahrg. 1903 p. 1 ff.; im folgenden kurz mit l. c. I und II bezeichnet.

² l. c. II, p. 14 ff.

³ l. c. II, p. 15 ff.

gewisse Zähigkeit aus, und wird deshalb im Schiffsbau, sowie als Material für Maschinenteile etc. gern verwandt. Wegen seiner Zähigkeit, ist es schmiedbar und kann deshalb durch zweckentsprechende Bearbeitung auch in größeren Stücken verhältnismäßig homogen, also frei von Gußlöchern etc., hergestellt werden. Diese Eigenschaften lassen es für ein invariables Instrument, wie es das Pendel für relative Schweremessungen sein soll, äußerst zweckentsprechend erscheinen. Bedenken kann nur der Eisengehalt wegen etwaiger magnetischer Eigenschaften erregen, so daß man nicht nur mit einem derartigen Pendel Variationen der Erdschwere, sondern auch der magnetischen Kräfte messen würde. Es zeigte jedoch, in die Nähe des einen Magneten eines äußerst empfindlichen astatischen Magnetpaares gebracht, nicht die geringste Einwirkung auf dasselbe; jedenfalls wurde durch seine Annäherung keine Ablenkung hervorgebracht, die mehr als eine Bogensekunde betragen hätte.

Schon bei der Bearbeitung zeigte das Delta-Metall seine Vorzüge gegenüber dem Messing, in dem das l. c. I. p. 377 erwähnte Krummwerden der Stangen beim Abdrehen niemals eintrat und Defekte im Material (sogen. Gußlöcher) nicht zu bemerken waren, ein Beweis, daß es homogen und von inneren Spannungen annähernd frei sein muß! Trotzdem wurden die Pendel, nachdem sie fertiggestellt waren, einer gewissen Temperung unterworfen, indem sie in einem Thermostaten circa ein dutzendmal auf 100° ca. langsam erwärmt und sehr langsam wieder abgekühlt wurden, um etwaige vorhandene Spannungen fortzuschaffen und die Pendel hiermit künstlich zu altern.

Für die Form der Pendel war im allgemeinen die von Herrn Oberst v. STERNECK eingeführte beibehalten, nur im einzelnen waren folgende Abweichungen mir erwünscht erschienen. Während bisher Kopf, Stange und Linse aus drei verschiedenen Stücken bestanden, die ineinander verschraubt, verlötet oder vernietet waren, schien es der Unveränderlichkeit wegen günstiger zu sein, wenigstens Kopf und Stange aus einem Stück bestehen zu lassen; und zwar wurde hierbei Kopf und Stange aus einer gewalzten Delta-Metallstange herausgearbeitet; die Pendellinse wurde dann an der Stange in der Weise befestigt, daß das untere Ende unterhalb einer Flansche (*f*) (Fig. 1) ein Gewinde (*g*) erhielt; dasselbe Gewinde erhielt die Pendellinse (*L*). Es waren nun die Gewinde in ihrer Länge vollkommen gleich, so daß das Gewinde der Pendelstange das Muttergewinde in der Linse vollkommen ausfüllte und die Flansche (*f*) auf der

oberen Fläche aufrichte; alsdann wurden die beiden Gewinde verzinkt und beides heiß miteinander verschraubt; hierbei drückte sich das überschüssige Lot nach oben bei (*f*) heraus. Auf diese Weise wurde eine überaus innige und feste Verbindung beider bewirkt

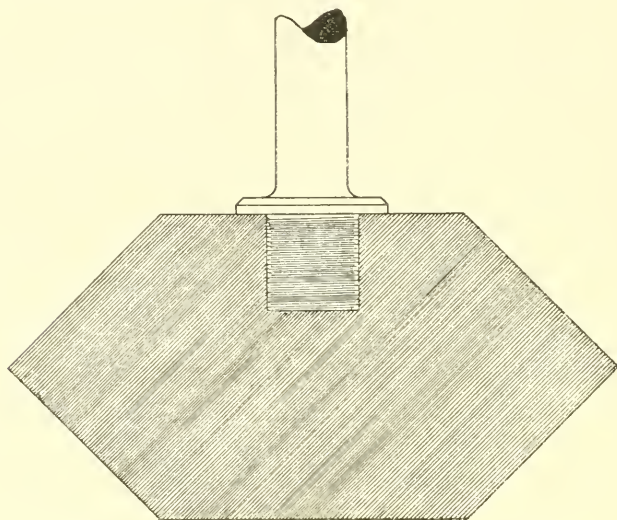


Fig. 1.

und anderseits verhindert, daß im Innern irgendwelche Hohlräume blieben.

Große Sorgfalt wurde der Achatschneide, von der Firma REINFELDER & HERTEL (München) in guter Ausführung geliefert, und ihrer

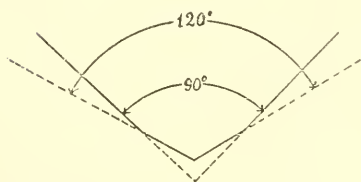


Fig. 2.

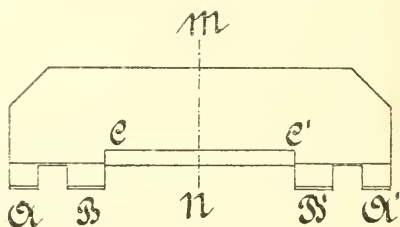


Fig. 2 a.

Befestigung gewidmet. Die Achatschneiden der Pendel, wie sie von der Firma SCHNEIDER in Wien geliefert werden, bilden an der benutzten Kante einen \sphericalangle von ca. 90° . Es schien mir nun aus verschiedenen Gründen besser zu sein, von dieser scharfkantigen Form

abzugehen, und der Schneide vielmehr die Form zu geben, der für die Schneiden der Präzisionswagen schon lange der Vorzug gegeben ist, nämlich den \sphericalangle der Seitenfläche von 90° abzustumpfen auf 120° , wie in nebenstehender Fig. 2 angedeutet. Die Schneide selbst hatte die bekannte Form (Fig. 2 a). AA' sind die Schneiden, mit denen das Pendel auf den Hilfsragern ruht (l. c. I. Taf. XII). BB' sind die Schneiden, auf denen es bei der Beobachtung seine Schwingungen ausführt. Mit dem Stück CC' wird die Schneide im Pendelkopf gehalten; diesem war die in Fig. 2 b skizzierte schon in meinem Vortrag auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte 1899 in München signalisierte Trapezform gegeben. Mit diesem Teil (CC') wurde die Schneide in der in Fig. 3 angegebenen Weise im Pendelkopf eingepaßt und in folgender Weise befestigt.

Schnitt m n

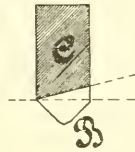


Fig. 2 b.

Wie aus der Figur (3 a und 3 b) hervorgeht, befand sich im Pendelkopf ein Einschnitt, in den der mittlere Teil der Schneide (CC') (Fig. 2 a und 3 b) eingepaßt wurde; dieser Einschnitt war so gestaltet, daß bei (aa) (Fig. 3 a) ein kleiner Hohlraum blieb (in der

Schnitt op

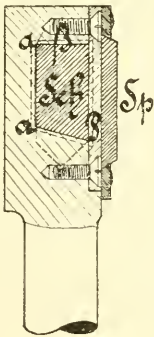


Fig. 3 a.

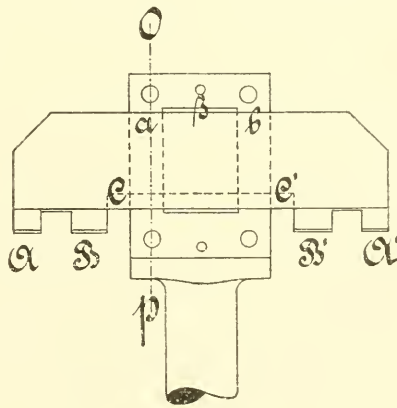


Fig. 3 b.

Figur übertrieben groß gezeichnet). Wird nun die Platte P durch die Schrauben (S) fest gegen die Schneide (Sch) gedrückt, so wird diese hierdurch in den Pendelkopf hinein- und nach oben gegen die Fläche (β) gedrückt, die, wie in Fig. 3 b angedeutet, nicht eben,

sondern etwas hohl gehalten ist, so daß nur an den Flächenstücken a und b (Fig. 3b) ein festes Anliegen stattfindet. Die Dimensionen des ganzen waren so stark gehalten, daß eine nennenswerte Deformation nicht eintreten konnte; auf P wurde durch die Leisten (HH) der Spiegel (Sp) gehalten. Das ganze Pendel wurde nach seiner Fertigstellung stark vergoldet.

Bestimmung der Reduktionskoeffizienten der neuen Pendel für Luftdichte und Temperatur.

A. Bestimmung der Koeffizienten der Luftdichte.

Das Physikalische Institut der Technischen Hochschule Stuttgart ist nicht im Besitz eines derartig großen Luftpumpenrezipienten, um die Bestimmungen des Einflusses der Luftdichte ausführen zu können. Sehr dankenswert war es daher, daß Herr Geheimerat HELMERT, Direktor des K. preußischen geodätischen Instituts gestattete, daß diese Bestimmung mittelst des dort vorhandenen Apparates ausgeführt werden durfte. Herr Prof. HAASEMANN hatte die große Liebenswürdigkeit, die Messungen selbst auszuführen.

Aus dem Bericht des Herrn Prof. HAASEMANN erlaube ich mir folgendes herauszuheben.

„Die Dichtekasten 1 und 2, die zur Bestimmung der Konstanten der Luftdichte benutzt wurden, stehen im Mittelkeller des Geodätischen Instituts auf transportablen Sandsteinpfeilern, die auf dem Zementfußboden des Kellers festgekipst sind. Zur Temperaturbestimmung dienen in Fünftelgrade geteilte Thermometer, die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt untersucht sind. Bei Gelegenheit einer gleichartigen Konstantenbestimmung konnte ich feststellen, daß ein vermehrter oder verminderter Druck im Kasten auf die Kapillaren der Thermometer von verschwindendem Einfluß ist. Ich habe dieses feststellen können durch Anbringen zweier Thermometer in demselben Kasten, das eine Thermometer frei in gewöhnlichem Zustande, das andere aber luftdicht in einer Glasröhre eingeschlossen. Beide Thermometer zeigten keine wesentlich verschiedenen Angaben bei hohem oder bei tiefem Luftdruck.

Es wurden immer zwei Pendel gleichzeitig beobachtet, um den Einfluß der Schwankungen des Uhganges auf die Schwingungszeiten zu eliminieren. Die Anordnung der Beobachtungen war zu dem Ende derartig, daß die Mitten der Beobachtungszeiten der beiden beobachteten Pendel zusammenfielen. Die Koinzidenzbeobachtungen

des einen Pendels schließen die des anderen ein, so daß vom zweiten Pendel stets etwa 60 Koinzidenzen, vom ersten dagegen etwa 90 Koinzidenzen beobachtet wurden. Die Differenzen der Schwingungszeiten sind dann frei vom Uhrgang. Der Unterschied zwischen dem hohen und dem niedrigen Luftdruck, bei dem die Pendel abwechselnd beobachtet wurden, beträgt etwa 800 mm. Nach meinen Untersuchungen liegt keine Veranlassung vor, eine andere als lineare Beziehung zwischen Luftdruck und Schwingungszeit bei den Halbskundenpendeln anzunehmen.

Die Beobachtungen gingen nach folgendem Schema vor sich:

| Dichtekasten No. 1 | Dichtekasten No. 2 |
|--------------------|--------------------|
| Luftdruck | Luftdruck |
| $D_0 + d_1$ | $D_0 + d_1'$ |
| $D_0 + d_2$ | $D_0 - d_2'$ |
| $D_0 - d_3$ | $D_0 - d_3'$ |
| $D_0 - d_4$ | $D_0 + d_4'$ |

Die auf der gleichen Horizontalreihe stehenden Beobachtungen gehören zusammen. Die Anordnung der Beobachtungen in dieser Art rührt von Herrn Geheimerat HELMERT her. Vergl. „Bestimmung der Polhöhe und der Intensität der Schwerkraft auf 22 Stationen von der Ostsee bei Kolberg bis zur Schneekoppe“. Berlin 1896. p. 189. Anmerkung.

Je zwei zusammengehörige Beobachtungen lieferten dann Fehlergleichungen von der Form:

$$\begin{aligned} T_1 - y_1 (D_0 + d) &= u + T_2 - y_2 (D_0 + d) + v_1 \\ T_1 - y_1 (D_0 + d) &= u + T_2 - y_2 (D_0 - d) + v_2 \\ T_1 - y_1 (D_0 - d) &= u + T_2 - y_2 (D_0 - d) + v_3 \\ T_1 - y_1 (D_0 - d) &= u + T_2 - y_2 (D_0 + d) + v_4 \end{aligned}$$

Für D_0 habe ich eine normale Luftdichte 0,950 angenommen. Die d geben an, um wieviel die Luftdichte im Kasten durch Aus- oder Einpumpen von Luft vermehrt oder vermindert wurde.

Um mit kleineren Zahlen zu tun zu haben, habe ich einen angenäherten Luftdichtekoeffizienten 54^0 eingeführt. Die aus der Ausgleichung hervorgehenden Resultate sind also zu dieser Zahl zu addieren, um den wirklichen Luftdichtekoeffizienten der Pendel zu erhalten.

Als Temperaturkoeffizienten habe ich bei den geringen Unterschieden der Temperaturkoeffizienten für alle 4 Pendel $50 \cdot 10^{-7}$ angenommen.

Die Dichtekoeffizienten wurden für jedes Pendel dreimal be-

stimmt in folgenden Kombinationen: 5 und 6, 5 und 7, 5 und 8, 8 und 6, 8 und 7, 6 und 7.

Um einen möglichst vollkommenen Temperatenausgleich herbeizuführen, wurden zwischen den einzelnen Reihen eines Satzes Pausen von 3—4 Stunden innegehalten.

Aus der Ausgleichung ergaben sich für die Dichtekoeffizienten der einzelnen Pendel die folgenden Resultate:

| No. V | No. VI | No. VII | No. VIII |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| 598,8 \pm 3,1 | 597,2 \pm 0,8 | 594,2 \pm 4,0 | 598,3 \pm 2,8 (mal 10^{-7}) |

Die aus den einzelnen Sätzen folgenden Werte sind ohne Berücksichtigung der Gewichte einfach gemittelt. Die mittleren Fehler sind aus der inneren Übereinstimmung der Einzelwerte abgeleitet worden.“

Da die erhaltenen Werte für die einzelnen Pendel sehr nahe gleich sind, erschien es mir, dem Vorschlag des Herrn Prof. HAASEMANN entsprechend, am richtigsten, das Mittel aus allen zu nehmen, da es bei der nahezu genau übereinstimmenden Gestalt und Größe der Pendel und dem genau gleichen Material, aus dem sie hergestellt sind, nicht wahrscheinlich erscheint, daß die verschiedenen Pendel wirklich verschiedene Luftdruckkoeffizienten besitzen könnten. Verfäht man in dieser Weise, so erhält man als Mittel aus allen einzelnen Werten den Mittelwert:

$$597,1 \cdot 10^{-7}$$

mit einer Unsicherheit von $\pm 1,5$ Einheiten.

Herrn Geheimerat HELMERT gestatte ich mir an dieser Stelle für die entgegenkommende Erlaubnis zur Ausführung dieser Bestimmung im Geodätischen Institut in Potsdam, sowie Herrn Prof. HAASEMANN für die sorgfältige Bestimmung der Luftdruckkonstanten verbindlichst zu danken.

B. Bestimmung der Koeffizienten der Temperatur.

Diese Bestimmung wurde vermittelt des l. c. I. p. 379 ff. beschriebenen, elektrisch geheizten Thermostaten des Physikalischen Instituts ausgeführt. An demselben wurde noch eine Verbesserung in der Weise angebracht, daß alle (cf. I. p. 382) benutzten Widerstände w_1, w_2, w_3, w_4 und w durch Zusatzwiderstände mit Schleifkontakten ergänzt wurden, um eine feinere Regulierung der Widerstände und damit der Stromstärken zu bewirken. Wegen der leider fortwährenden Schwankung der Spannung im Leitungsnetz der elektri-

schen Zentrale mußte speziell an dem Schleifkontakt des Vorschaltwiderstandes w während der Beobachtung ununterbrochen reguliert werden. Wäre dieser Übelstand nicht vorhanden, so ließe sich die Temperatur im Thermostaten leicht auf $1,10^0$ konstant erhalten.

Das Verfahren selbst war dasselbe, wie bei den früheren Bestimmungen. Gleichzeitig mit dem zu untersuchenden Pendel im Thermostaten, führte im Pendelkeller eines der älteren Pendel, deren Koeffizienten bekannt, seine Schwingungen aus; die benutzten Koinzidenzapparate wurden durch dieselbe Uhr betrieben. Da zu den Beobachtungen immer die Normaluhr des Instituts (Sekundenpendeluhr No. 50 von KUTTER in Stuttgart mit RIEFLER'schem Pendel) benutzt wurde, so ist die Beobachtung eines Vergleichspendels eigentlich nicht absolut notwendig, da der Gang der Uhr durch Sternbeobachtungen, bei konstantem Luftdruck kontrolliert, nur um äußerst geringe Bruchteile einer Sekunde täglich variiert.

Es wurden die Beobachtungen bei Zimmertemperatur (die zwischen $7,5^0$ und 13^0 variierte) und bei Temperaturen, die zwischen 90^0 und 98^0 lagen, angestellt. Bei jeder wurden eine Reihe von unabhängigen Serien ausgeführt. Wenn man mit der Beobachtung bei der höheren Temperatur etwa nach ca. dreistündigem Heizen des Thermostaten begann, so ergaben die aufeinanderfolgenden Beobachtungsreihen eine allmähliche und ständige Zunahme des berechneten Temperaturkoeffizienten (a), der sich erst nach 5—6 Stunden ununterbrochener Heizung einem konstanten Wert näherte. Die Übereinstimmung der dann erhaltenen Werte war eine gute. Der Grund für dieses Anwachsen ist leicht angebbar; offenbar nimmt das Pendel die höhere Temperatur des Thermostaten nur langsam und allmählich an; meinen Erfahrungen nach ist man erst nach frühestens 5 Stunden einigermaßen sicher, daß die Pendel jene vom Thermometer angegebene Temperatur erreicht haben. Z. B. erhielt ich für Pendel 7 folgende Werte für den Temperaturkoeffizienten (a):

| | nach einer Heizung von | a |
|----------------------|---|----------------------|
| 1903, Dez. 15. . . . | $\left\{ \begin{array}{l} 3^h \ 45^m \\ 4 \ 30 \\ 5 \ 20 \end{array} \right.$ | $47,1 \cdot 10^{-7}$ |
| | | $48,7 \cdot 10^{-7}$ |
| | | $49,9 \cdot 10^{-7}$ |
| Dez. 17, 18. . . . | 9 | $49,7 \cdot 10^{-7}$ |

Erst die nach einer Heizung von 6—7 Stunden erhaltenen Werte wurden benutzt und dann gewöhnlich zwei voneinander un-

abhängige Messungsreihen gemacht; aus den so erhaltenen Werten von (a) dieser zwei Reihen wurde dann das Mittel genommen. Die folgende Tabelle gibt diese Mittelwerte:

Die Beobachtungen wurden berechnet nach der l. c. I. p. 383 gegebenen Formel; in der dort gegebenen Bezeichnung ist der Temperaturkoeffizient (a) durch die Beziehung gegeben:

$$a = \frac{s \cdot s_{\theta} - s' s_t}{s \theta - s' t} \cdot 1$$

Auf diese Weise erhielt ich folgende Werte des Koeffizienten (a):

| Pendel V | Pendel VI | Pendel VII | Pendel VIII |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 49,90 $\cdot 10^{-7}$ | 49,50 $\cdot 10^{-7}$ | 49,90 $\cdot 10^{-7}$ | 50,06 $\cdot 10^{-7}$ |
| 49,95 $\cdot 10^{-7}$ | 50,00 $\cdot 10^{-7}$ | 49,70 $\cdot 10^{-7}$ | 50,10 $\cdot 10^{-7}$ |
| Mittel 49,925 $\cdot 10^{-7}$ | 49,75 $\cdot 10^{-7}$ | 49,80 $\cdot 10^{-7}$ | 50,08 $\cdot 10^{-7}$ |

Der gemeinsame Mittelwert aller würde

$$49,89 \cdot 10^{-7}$$

betragen. Ich habe mich jedoch nicht für berechtigt gehalten, diesen zu benutzen, da weitere Kontrollmessungen bei Pendel VIII ständig jene höheren Werte ergaben. Es ist deshalb durch die Bearbeitung möglicherweise irgendwie eine Strukturänderung des Materials hervorgerufen, durch welche die Ausdehnungskoeffizienten andere geworden sind. Ich habe deshalb für die verschiedenen Pendel die aus den Bestimmungen erhaltenen, in obiger Tabelle gegebenen Mittelwerte der Koeffizienten (a) benutzt.

Die Stationen und die Beobachtungen.

In Bezug auf die Methode und Ausführung der Beobachtungen verweise ich auf die in meinen früheren Mitteilungen gemachten Angaben.

Als neu wäre nur zu erwähnen, daß die Ablesungen an den Magazinthermometern ständig mit dem Fernrohr aus ca. 2—3 m Entfernung stattfanden, einesteils zur Vermeidung der Parallaxe, andernteils um den Beobachter vom Pendelapparat möglichst entfernt zu halten; die Erluchtung erfolgte durch eine, der modernen, überall im Handel erhältlichen 1—2kerzigen Glühlämpchen, deren Batterie leicht ersetzbar ist; die von diesen ausgestrahlte Wärme ist sehr gering.

¹ l. c. I p. 383 ist leider ein Druckfehler stehen geblieben in der Formel, nämlich: s_{θ} statt $s \theta$ im Nenner.

Es wurde ferner eine Methode ausgearbeitet — über die im Anhang referiert ist —, um die Bestimmungen der Pendeltemperatur zuverlässiger zu machen als bisher. Die Schwierigkeit dieser Messung beruht offenbar auf der verschiedenen Trägheit, welche Pendel und Thermometer gegen Temperaturänderungen besitzen. Ich glaube, daß es mir gelungen ist, beiden dieselbe Trägheit zu geben; daß in horizontaler Richtung ein nennenswertes Temperaturgefälle bei meinen Beobachtungen nicht vorhanden ist, ist durch mehrfache Untersuchungen von mir festgestellt worden.

Es wurden auch diesmal am Anfang und am Schluß jeder Reihe je 20 Koinzidenzen, die um je 50 auseinanderlagen, beobachtet.

Die Beobachtungen auf den Feldstationen (mit Ausnahme von Blaubeyren, wo ich amtlich verhindert war, die Messungen zu machen) sind von mir selbst mit den Pendeln VI und VIII ausgeführt worden; Herr Mechaniker KLOPFER unterstützte mich bei der Aufstellung der Instrumente und besorgte die nötigen Anschlußnivellements, sowie während der Beobachtungen die auf jeder Station vorgenommene Verifikation der Angaben des mitgeführten Aneroids durch das Hypsothermometer. Herr WELLER, Assistent am Physikalischen Institut, hatte die Güte, die durch die Methode bedingten synchronen Messungen mit den Pendeln V und VII im Pendelraum des Physikalischen Instituts auszuführen. Beiden Herren spreche ich für ihre tätige Beihilfe meinen besten Dank aus.

Da es sich auf der Zentralstation (im Pendelraum des Physikalischen Instituts in Stuttgart) sehr bewährt hatte, daß der Raum, in dem sich der Beobachter mit dem Koinzidenzapparat, den nötigen Beleuchtungslampen etc. aufhielt, von dem Raum, in dem sich die Pendel befanden, getrennt war — die Beobachtung fand durch eine in der Verbindungstüre eingesetzte Spiegelglasscheibe statt (l. c. II. p. 6) —, so versuchte ich auf den Feldstationen ähnliche Verhältnisse zu schaffen. Es wurde ein transportables, in der verschiedensten Weise verstellbares, also jedem Raum anpaßbares Zelt konstruiert, das in der Nische über dem Pendelapparat aufgestellt wurde und den Raum, in dem das Pendel sich befand, vollkommen vom übrigen trennte. Die Ablesungen am Thermometer (wie ja auch die Beobachtungen des Lichtblitzes) erfolgten von außerhalb durch ein passend aufgestelltes Fernrohr. Solange es nun nicht notwendig war, das Zelt zu betreten, bewährte sich die Einrichtung vollkommen, die Temperaturen änderten sich kaum um einige Tausendstel Grad; sowie jedoch aus irgend einem Anlaß der Beobachter sich in das

Innere des Zelttes begeben mußte, fand sofort ein außerordentlicher Anstieg der Temperatur statt, so daß die Variationen größer wurden als ohne das Zelt. Da jedoch derartige Störungen, die irgendwelche Arbeiten am Pendelapparat nötig machen, hie und da vorkommen, so erschienen mir bei Benutzung des Zelttes die Vorteile den eventuellen Nachteilen gegenüber nicht nennenswert zu sein. Es ist deshalb nur auf der ersten Station (Freudenstadt) das Zelt benutzt worden, später nicht mehr; ob es sich empfehlen wird, vielleicht umgekehrt den Beobachter in das Zelt zu setzen, konnte bei der diesjährigen Campagne nicht festgestellt werden, da hierzu das Zelt umgeändert werden muß.

1. Die Zentralstation Station Stuttgart.

Der Raum, in dem die Beobachtungen stattfanden, war der in meiner zweiten Mitteilung (l. c. II. p. 6) beschriebene.

Der für denselben angenommene Wert der Schwere ist

$$980,915 \text{ cm}$$

die Höhe der Pendellinse über normal Null beträgt

$$247,32 \text{ m.}$$

2. Station Ulm.

$$\varphi = 48^{\circ} 24,0' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 9^{\circ} 59,8' \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 473,3 \text{ m NN.}$$

Der Beobachtungsraum befand sich im Keller des alten Amtsgerichtsgebäudes; er war verhältnismäßig klein, 7×8 m. bei einer Gewölbehöhe von 3 m; er kommunizierte jedoch durch mehrere quadratmetergroße Öffnungen mit den übrigen Kellerräumen. Trotzdem schien es mir geraten, um tunlichst Temperaturerhöhungen zu vermeiden, den Aufenthalt des Beobachters im Beobachtungskeller möglichst zu beschränken. Es wurden deshalb nur je 10 Beobachtungen der Koinzidenzen angestellt (statt 20 wie sonst), jedoch erst mit der 61. (statt sonst der 51.) der zweite Satz der Beobachtungen begonnen. Das Pendelkonsol, auf dem das Stativ aufgeschraubt war, befand sich in der W.-Ecke des Raumes. Die Schwingungsrichtung war N. $64,5^{\circ}$ E. gegen S. $64,5^{\circ}$ W. Das Nivellement zur Ermittlung der Höhe der Pendellinse über NN. war an die am Münsterportal befindliche Höhenmarke $h = 478,412 \text{ m NN.}$ angeschlossen. hieraus ergab sich die Höhe der Pendellinse zu $473,29 \text{ m NN.}$ Der Abstand des Pendelspiegels vom Nullpunkt der Skala des Koinzidenzapparates betrug 2170 mm.

Während der Beobachtung waren ungewöhnlich große Störungen in der telegraphischen Verbindung nach Stuttgart zu beobachten, durch die häufig falsche Zeichen, die den Sekundenschlag störten, übermittelt wurden, so daß nur mit großer Anstrengung die Beobachtung durchgeführt werden konnte. Im eingeschalteten Telephon war ein ununterbrochenes Rauschen zu hören und der Elektromagnet des Koinzidenzapparates geriet oft minutenlang in Vibration. Im Zusammenhang standen diese Unregelmäßigkeiten mit den in jener Nacht, 18./19. April, in Deutschland aufgetretenen Unwettern.

3. Station Blaubeuren.

$$q = 48^{\circ} 24,8' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 9 47,2 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 516,2 \text{ m NN.}$$

Die Beobachtungsstation befand sich in einem nicht mehr benutzten großen Keller der Brauerei zum Löwen; derselbe bestand aus drei gleich großen Räumen, die miteinander kommunizierten; die Abmessungen eines jeden waren $5 \times 4,5$ m bei einer Gewölbehöhe von 4 m. Der Keller lag ca. 5 m unter dem Niveau der Umgebung. Das Nivellement zur Ermittlung der Höhe der Pendellinse über NN. war angeschlossen an die am Bahnhofsgebäude angebrachte Höhenmarke $h = 519,236$ m NN.; daraus ergab sich die Höhe der Pendellinse zu 516,16 m NN. Der eiserne Träger, auf dem das Pendelstativ aufgeschraubt war, befand sich in der NW.-Ecke des Raumes; die vermittelt einer Schmalkalder Bussole ermittelte Schwingungsrichtung des Pendels war N. $53,5$ W. gegen S. $53,5$ E. Der Abstand des Spiegels von der Skala betrug 3000 mm.

4. Station Urach.

$$q = 48^{\circ} 29,7' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 9 23,8 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 455,1 \text{ m NN.}$$

Der Beobachtungsraum war ein Keller im sogen. „Alten Spital“; derselbe war sehr groß, seine Abmessungen betragen 10×26 m bei 6 m Gewölbehöhe; die Tiefe unter dem Niveau der Umgebung betrug 6,0 m. Das Nivellement war angeschlossen an die am Gasthof zur Post befindliche Höhenmarke $h = 465,08$ m NN., daraus ergab sich für die Pendellinse die Höhe von 455,1 m NN. Der eiserne Träger zur Befestigung des Pendelstativs befand sich in der N.-Ecke des Kellers; die mit der Schmalkalder Bussole ermittelte

Schwingungsrichtung des Pendels war N. $27,7^{\circ}$ W. gegen S. $27,7^{\circ}$ E. Der Abstand des Pendelspiegels von der Skala des Koinzidenzapparates betrug 2910 mm.

5. Station Münsingen.

$$\varphi = 48^{\circ} 24,7' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 9 29,5 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 702,5 \text{ m NN.}$$

Das Nivellement zur Ermittlung der Höhe der Pendellinse ist angeschlossen an die am Bahnhofgebäude angebrachte Höhenmarke $h = 707,31 \text{ m NN}$. Die Beobachtungen fanden im Keller des Gasthauses von W. DECKER statt. Der Raum selbst, in dem die Beobachtungen stattfanden, war nicht groß, kommunizierte jedoch frei mit größeren, so daß der ganze in Betracht kommende Raum doch $16 \times 5 \text{ m}$ ca. bei 3,6 m Gewölbehöhe maß; er befand sich ungefähr 3 m unter dem Niveau der Umgebung. Die Schwingungsrichtung des Pendels nach der Beobachtung mit einer Schmalkalder Bussole gemessen war N. $52,3^{\circ}$ E. gegen S. $52,3^{\circ}$ W. orientiert. Der Abstand des Pendelspiegels von der Skala des Koinzidenzapparates betrug 2990 mm. Der Keller war im ganzen trocken zu nennen.

6. Station Honau.

$$\varphi = 48^{\circ} 24,7' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 9 15,7 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 553,7 \text{ m NN.}$$

Der Beobachtungsraum war ein in den Jurakalkfels (Dolomit) eingeschnittener Raum, der oben überwölbt war: die Sohle dieses Kellers lag ungefähr 5 m unter dem Niveau der Umgebung; die Abmessungen des Raumes betragen $10 \times 5 \text{ m}$ bei einer Gewölbehöhe von ca. 5 m. Der eiserne Träger war in den Fels direkt mit Zement eingemauert. Das Nivellement zur Festsetzung der Höhe der Pendellinse war an die am Bahnhofsgebäude befindliche Höhenmarke $h = 527,67 \text{ m NN}$. angeschlossen; daraus ergab sich die Höhe der Pendellinse zu 553,74 m NN. Die Schwingungsrichtung des Pendels, mit Schmalkalder Bussole bestimmt, ergab sich zu N. $45,5^{\circ}$ W. gegen S. $45,5^{\circ}$ E. Der Abstand des Pendelspiegels von der Skala des Koinzidenzapparates betrug 2420 mm. Zu bemerken möchte noch sein, daß von dem in dieser Nacht in der Nähe stattgehabten Erdbeben bei den Beobachtungen nichts bemerkt wurde.

7. Station Rottenburg.

$$\varphi = 48^{\circ} 28,6' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 8 56,2 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 344,2 \text{ m NN.}$$

Der Beobachtungsraum war der Keller des Dompfarrhauses, seine Maße betragen 15×7 m bei einer Gewölbehöhe von ca. 5 m. Die Tiefe unter dem Niveau der Straße betrug etwas über 5 m. Das Nivellement war angeschlossen an die am Bahnhofsgebäude angebrachte Höhenmarke $h = 352,24$ m NN., daraus ergab sich die Höhe der Pendellinse zu 344,2 m NN. Die Schwingungsrichtung des Pendels war N. $81,6^{\circ}$ E. gegen S. $81,6^{\circ}$ W. orientiert. Der Abstand der Skala des Koinzidenzapparates vom Pendelspiegel betrug 2980 mm. Der Keller war feucht. Während der Beobachtung traten Störungen auf: infolge der Feuchtigkeit der Kellerluft hatte sich offenbar der Holzkasten (Pendelkasten), an dessen Boden die Auswechslungsvorrichtung angebracht war, verzogen, und dadurch war das eine der Pendel nicht zentral aufgelegt, so daß der Pendelkopf bei der einen Beobachtung am Ausschnitt der Achatplatte streifte. Bei der Untersuchung nach der Ursache der Störung war es nicht zu vermeiden, daß die Temperatur im Pendelkasten mehr als sonst sich änderte, nämlich um $0,31^{\circ}$ innerhalb 6 Stunden.

8. Station Horb.

$$\varphi = 48^{\circ} 26,8' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 8 41,3 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 424,5 \text{ m NN.}$$

Als Beobachtungsraum diente der im K. Oberamt (früher Dominikanerinnenkloster) befindliche Keller. Da die Oberstadt von Horb an dem Hang einer dem Neckar zugekehrten Bergnase sich befindet, so besitzen die meisten Häuser dem Tal zu eine hohe Untermuerung; während so die dem Berg zu liegende Ecke, in der das Pendelstativ eingemauert war, mehrere Meter unter dem Niveau lag, war die vordere Wand des Kellerraumes frei; trotzdem herrschte eine recht konstante Temperatur, während der ersten 5 Messungsreihen variierte die Temperatur kaum um $1/100^{\circ}$ und bei der 6. nahm sie um $5/100$ ab. Die Dimensionen des Raumes selbst waren beschränkt, 8×8 m bei einer Gewölbehöhe von 2,5 m. Sehr günstig für die Konstanz der Temperatur war es offenbar, daß der Zugang zu dem Raum durch eine große Falltüre in der Decke des Gewölbes stattfand, die auch während der Beobachtungen offenblieb:

hierdurch war der durch Beobachter und die Beleuchtungskörper erwärmten Luft ein bequemer Abzug gestattet. Das Nivellement war angeschlossen an die Höhenmarke am Bahnhof, $h = 393,19$ m NN.; es ergab sich die Höhe der Pendellinse von $424,5$ m NN. Die Schwingungsrichtung des Pendels war N. 15° W. gegen S. 15° E. Der Abstand der Skala des Koinzidenzapparates vom Spiegel des Pendels betrug 3020 mm. Der Keller war äußerst trocken.

9. Station Dornstetten.

$$\varphi = 48^{\circ} 28,0' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 8 30,6 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 618,8 \text{ m NN.}$$

Die Beobachtungen fanden im Keller des Realschulgebäudes statt. Die Abmessungen des Raumes waren gering, 10×3 m bei $2,5$ m Gewölbehöhe. Die Tiefe unter dem Niveau der vorbeifahrenden Straße betrug ca. $2,5$ m. Es wurde deshalb die Vorsicht gebraucht, daß die Beleuchtungslampen nur gerade so lang jeweils brannten, wie unbedingt notwendig, und daß der Beobachter sich selbst nach jeder Beobachtung sofort aus dem Raume entfernte; auf diese Weise gelang es, den Temperaturanstieg auf $0,13^{\circ}$ zu beschränken. Das Nivellement war an die am Bahnhofsgebäude befindliche Höhenmarke $h = 637,81$ m NN. angeschlossen. Das Nivellement ergab die Höhe der Pendellinse zu $618,8$ m NN. Das Azimut der Schwingungsrichtung des Pendels betrug N. $18,5^{\circ}$ E. gegen S. $18,5^{\circ}$ W. Der Abstand der Skala des Koinzidenzapparates vom Pendelspiegel betrug 2300 mm. Der Keller war trocken.

10. Station Freudenstadt.

$$\varphi = 48^{\circ} 27,9' \text{ NB.}$$

$$\lambda = 8 24,7 \text{ ö. Gr.}$$

$$h = 723,9 \text{ m NN.}$$

Der Beobachtungsraum befand sich im Keller des Realschulgebäudes. Auf dieser Station (auf der als der ersten beobachtet wurde) war zum Schutz des Pendels gegen Erwärmungen durch den Beobachter die Nische am Pendelkasten mit dem schon oben erwähnten Schutzzelt überbaut. Wie ebenfalls schon oben erwähnt, war der Erfolg nicht der gewünschte; da an der Einstellung etwas zu ändern war, mußte sich der Beobachter in das Zelt begeben, und sogleich fand eine ziemlich große Temperatursteigerung statt, die sich dem Innern des Pendelkastens natürlich mitteilte. Dadurch ergab sich im Pendelkasten ein Temperaturanstieg von $0,35^{\circ}$, während

im äußeren Raum die Temperatur nur wenig über $0,1^{\circ}$ stieg. Solange wie der Eintritt des Beobachters nicht notwendig war, hielt sich die Temperatur allerdings vollkommen konstant, sowie dies jedoch notwendig wurde, fand eine größere Temperaturerhöhung statt, als auf allen anderen Stationen, auf denen ohne Schutzzelt beobachtet wurde.

Die Abmessungen des Raumes betragen 18×6 m bei einer Gewölbehöhe von 4 m. Die Sohle des Kellers lag ungefähr 6 m unter dem Niveau der Umgebung. Das Nivellement wurde angeschlossen an die am Polizeiwachgebäude (auf dem Marktplatz gelegen) befindliche Höhenmarke $h = 732,9$ m NN. Das ausgeführte Nivellement ergab als Höhe der Pendellinse $723,9$ m NN. Die Schwingungsrichtung des Pendels mit der Schmalkalder Bussole gemessen war N. $8,6$ E. gegen S. $8,6^{\circ}$ W. orientiert. Der Abstand des Pendelspiegels von der Skala des Koinzidenzapparates betrug 3050 mm.

Resultate.

Die Resultate sind in den Tabellen I, II und III niedergelegt (vergl. Tabelle I, II, III).

Zu den Tabellen mögen einige Bemerkungen gestattet sein.

Zunächst wird es von Interesse sein zu konstatieren, ob die Neukonstruktion der Pendel aus Delta-Metall mit neuen Auflage-schneiden, die mit größter Sorgfalt geschliffen und montiert sind, in Bezug auf die Konstanz der Resultate Vorteile gebracht hat. Wie l. c. II. p. 14 ff. mitgeteilt, waren zwei Arten von Veränderlichkeiten festgestellt; 1. hatte sich bei den Beobachtungen im Jahre 1902 das Verhältnis der Schwingungsdauern der Pendelpaare nach der Reise um 8 Einheiten der 7. Dezimale gegen die Werte vor derselben geändert; 2. zeigen die einzelnen Werte der unmittelbar aufeinanderfolgenden Beobachtungen nicht gerade Abweichungen, die unbedeutend zu nennen sind, wenn man sich gegenwärtig hält, wie zuverlässig, im einzelnen betrachtet, jede Ablesung und Messung selbst ist.

Betrachtet man zunächst die Zahlen der Tabelle I in Bezug auf den ersten Punkt, so ergibt sich:

| | $\log t_6/t_5$ | $\log t_8/t_7$ |
|----------------|------------------------|-----------------------------------|
| Vor der Reise | 0,0000191 | 0,9999653—1 |
| Nach der Reise | 0,0000185 | 0,9999645—1 |
| Unterschied | Abnahme von 6 Einh. | Abnahme von 8 Einh. d. 7. Dez. |

Die entsprechenden Werte für die im letzten Jahre (1902) benutzten Pendel I und III, II und IV zeigten dagegen eine Zunahme von 8 Einheiten der 7. Dezimale nach der Reise. Hat man im letzten Jahre eine geringe Verlängerung der mitgenommenen Pendel angenommen, so würde folgerichtig heuer auf eine entsprechende Verkürzung zu schließen sein; indessen ist wohl hiermit bewiesen, daß über die Ursache dieser Variabilität nichts Bestimmtes vorläufig ausgesagt werden kann.

Die sub No. 2 erwähnten und beobachteten Abweichungen in den Logarithmen der Verhältnisse der Schwingungsdauern von Beobachtungen, die sich zeitlich unmittelbar folgen, habe ich mir durch Defekte der Achatschneide und ungenügend symmetrische Befestigung derselben im Pendelkopf erklärlich zu machen gesucht. Es entsteht nun die Frage, ob wenigstens in diesem Punkt durch die Neukonstruktion eine Besserung bewirkt ist.

Zur Untersuchung kann man sich der in der sechsletzten Rubrik der Tabelle II (Logarithmen des Quadrates der Verhältnisse der Schwingungsdauern der Pendel: $\log\left(\frac{t_{\text{Stuttgart}}}{t_{\text{Feld}}}\right)^2$) enthaltenen Zahlen bedienen; ebenso für die Beobachtungen des Jahres 1902 in der l. c. II gegebenen Tabelle II die siebentletzte Rubrik, und zwar will ich die jeweils beobachteten größten Differenzen der drei (bei Invariabilität identisch sein sollenden) Zahlen benutzen. Es ergibt sich in Einheiten der 7. Dezimale:

| 1902 (Alte Pendel) | | 1903 (Neue Pendel) | | | |
|---------------------------|----------|--------------------|-------------------------------|-------------|----|
| | Pendel | | Pendel | | |
| Bopfingen—Stuttgart . . . | I u. III | 10 | Ulm—Stuttgart V u. VI | 8 | |
| | II u. IV | 8 | | VII u. VIII | 5 |
| Aalen—Stuttgart | I u. III | 6 | Blaubeuren—Stuttgart . | V u. VI | 7 |
| | II u. IV | 8 | | VII u. VIII | 10 |
| Unterböbingen—Stuttgart | I u. III | 26 | Urach—Stuttgart | V u. VI | 7 |
| | II u. IV | 36 | | VII u. VIII | 17 |
| Lorch—Stuttgart | I u. III | 30 | Münsingen—Stuttgart . | V u. VI | 7 |
| | II u. IV | 14 | | VII u. VIII | 8 |
| Schorndorf—Stuttgart . . | I u. III | 8 | Honau—Stuttgart | V u. VI | 8 |
| | II u. IV | 8 | | VII u. VIII | 10 |
| Cannstatt—Stuttgart . . | I u. III | 8 | Rottenburg—Stuttgart . | V u. VI | — |
| | II u. IV | 16 | | (Störung) | |
| Leonberg—Stuttgart . . | I u. III | 16 | | VII u. VIII | 17 |
| | II u. IV | 14 | Horb—Stuttgart | V u. VI | 7 |
| Heimsheim—Stuttgart . . | I u. III | 16 | | VII u. VIII | 2 |
| | II u. IV | 10 | Dornstetten—Stuttgart | V u. VI | 8 |
| Liebenzell—Stuttgart . . | I u. III | 20 | | VII u. VIII | 8 |
| | II u. IV | 18 | Freudenstadt—Stuttgart | V u. VI | 14 |
| Herrenalb—Stuttgart . . | I u. III | 2 | | VII u. VIII | 10 |
| | II u. IV | 8 | | | |

Während das Mittel jener jeweils auftretenden größten Differenzen für das Jahr 1902 (als Maß für die größten auftretenden Fehler betrachtet) noch 14,1 in den gewählten Einheiten ausmacht, ist dasselbe für das Jahr 1903 auf 9 gesunken. Damit erscheint mir zugleich wahrscheinlich gemacht, daß die von mir versuchte Erklärung dieser Veränderlichkeit der Werte der Schwingungsdauern bei jedesmaligem (Neu)-Auflegen des Pendels auf seine Lager richtig ist.

Recht merkwürdig ist es, daß die Werte von g (vorletzte Kolumne der Tabelle II) jeweils um 2—3 Einheiten der 3. Dezimale von g , wenn mittels des Pendelpaares V und VI bestimmt, größer ausfallen, als wenn sie mit dem Pendelpaar VII und VIII bestimmt sind; nur Ulm macht eine Ausnahme, für das der Betrag auf 5 Einheiten gestiegen ist; in Ulm wurde jedoch die Beobachtung, wie vorher erwähnt, durch das herrschende Unwetter gestört. Jedenfalls deutet jene konstante Abweichung auf einen systematischen Fehler, und ich würde vermuten, daß in der Zeit vom 5.—7. März (also vor der Campagne) an dem Pendel V oder VI etwas passiert ist, denn vom 7. März ab ist das Verhältnis der Schwingungsdauern plötzlich geändert und bleibt geändert; benutzt man zur Berechnung diesen zweiten Wert, so verschwindet jene erwähnte Ungleichheit und man erhält für g aus den Beobachtungen mit Pendel V und VI nahezu die gleichen Werte wie aus den Pendeln VII und VIII. Es erscheint mir jedoch ein solches Vorgehen von einer gewissen Willkürlichkeit nicht frei zu sein; ich habe mich deshalb nicht berechtigt gehalten, in dieser Weise zu verfahren.

Die Tabelle III gibt endlich eine Zusammenstellung der Resultate der Beobachtungen auf den einzelnen Stationen. Reduziert man die beobachteten Werte von „ g “ auf das Meeresniveau und befreit sie von der Wirkung der anziehenden Massen der Umgebung, so erhält man die in der drittletzten Kolumne aufgeführten Werte g_0'' . Eine Vergleichung dieser Größe mit dem nach der HELMERT'schen Formel ermittelten theoretischen Werte γ_0 ist in der letzten Kolumne ($g_0'' - \gamma_0$) gegeben. Wie man sieht, ist die Schwerkraft auf allen Stationen größer als die normale; die nach O. zu abnehmenden Werte sind in Übereinstimmung mit den durch die bayrische Gradmessungskommission im Jahre 1897 konstatierten negativen Werten des auf dem gleichen Parallel liegenden bayrischen Gebietes (z. B. Augsburg $\varphi = 48^\circ 22,3'$ $g_0'' - \gamma_0 = -0,002$, vergl. Ber. über die rel. Messungen der Schwerkraft von F. R. HELMERT p. 213 in Verhandl.

der XIII. allg. Konferenz d. intern. Erdmessung 1901). Geologisch interessant erscheint die lokale Zunahme der Schwerkraft im vulkanischen Gebiet der Alb bei Urach ($g_0'' - \gamma_0 = +0,030$), und die gegen das Schwarzwaldgebiet hin kontinuierliche Zunahme der Schwerkraft; erstere dürfte ihre Erklärung vielleicht durch die Nähe dichter Massen der untergelagerten Basalte ($d = 3,0$) finden; das beigegebene geologische Profil, das Herr Prof. Dr. SAUER die Güte hatte zu entwerfen, gibt über diese sehr interessanten Verhältnisse nähere Auskunft.

Auf den Stationen Freudenstadt, Dornstetten und Horb sind bereits im Jahre 1893 durch Herrn HAID Schweremessungen ausgeführt; während für die Stationen Freudenstadt und Horb meine Bestimmungen mit den seinigen hinreichend übereinstimmen, ergaben meine Beobachtungen den 1893 gefundenen negativen Wert in Dornstetten ($g_0'' - \gamma_0 = -0,004$) nicht.

Anhang.

Versuche, dem Magazinthermometer und dem Pendel gegen Temperaturänderungen die gleiche Trägheit zu geben.

Eine gewisse Schwierigkeit bietet bei diesen Messungen die notwendige möglichst genaue Bestimmung der Temperatur des Pendels, die auf $\frac{2}{100}^0$ genau bekannt sein sollte, um die Reduktion auf die Normaltemperatur (Null Grad) bis auf eine Einheit der 7. Dezimale der Schwingungsdauer genau ausführen zu können. Die Temperatur im Pendelkasten während der Beobachtungen bleibt nicht konstant; die notwendigen Beleuchtungskörper, die Anwesenheit des Beobachters selbst, bedingen eine Temperaturerhöhung. Häufig kann man bei niedriger äußerer Temperatur durch zweckentsprechendes Lüften abhelfen, aber bei kleinen Räumen oder höherer äußerer Temperatur versagt dieses Mittel.

Wenn nun die Temperaturen steigen oder fallen, so werden Thermometer und Pendel in verschiedener Weise folgen; sie besitzen also gegen die Temperaturänderungen verschiedene Trägheit und deshalb wird die am Thermometer abgelesene Temperatur nicht die des Pendels sein. Diese Verhältnisse haben dazu geführt, einerseits sich zu bemühen, diesen Fehler zu verkleinern, indem das v. STERNECK'sche Magazinthermometer in der hohlen Stange eines Hilfspendels untergebracht wurde, andererseits bestimmten sie die Beobachter des

K. preußischen geodätischen Instituts¹ (die Herren BORRAS, HAASEMANN, SCHUMANN u. a.)², die Beobachtungen in gewisser Weise über den ganzen Tag zu verteilen und durch Einführung und Bestimmung eines sogen. „dynamischen Temperaturkoeffizienten“ auch der Variabilität der Temperatur Rechnung zu tragen; auch andere Beobachter verfahren ähnlich.

Ich habe mich nun bemüht, die Fehlerquelle selbst zu verstopfen oder wenigstens so klein wie möglich zu machen, also beiden, dem Thermometer und Pendel, möglichst die gleiche Empfindlichkeit gegen Temperaturänderungen zu geben.

Wie einfache Versuche zeigen ist das v. STERNECK'sche Magazinthermometer weniger träge als das Pendel; es ist deshalb nicht aussichtslos, dasselbe durch passende Umhüllungen so träge zu machen, daß es mit der Temperaturänderung des Pendels gleichen Schritt hält. Diese Umhüllungen bestanden aus übereinander geschobenen, ineinander passenden 3 Messingröhren, von diesen schloß das erste das Thermometer ganz ein mit Ausnahme eines Schlitzes zur Ablesung der Skala, das zweite war außer jenem Schlitz mit 36 (5,6 mm großen) Löchern versehen, über dieses konnte ein drittes, circa halb so langes, nicht durchlöchertes, so weit geschoben werden, bis die gewünschte Trägheit erreicht war, indem durch letzteres passend ein Teil der Löcher des zweiten wieder geschlossen wurde.

Die Temperatur des Pendels wurde in folgender Weise auf elektrischem Wege ermittelt; es ändert sich der spezifische Widerstand der reinen Metalle mit der Temperatur ungefähr so wie das Volumen eines Gases mit der Temperatur. Diese Eigentümlichkeit wird bekanntlich bei dem Bolometer zur Temperaturmessung benutzt; auch für die Bestimmung der Pendeltemperatur kann dies Prinzip verwendet werden. Es wurde deshalb ein dünner, 0,05 mm dicker Kupferdraht (aus reinem elektrolytisch hergestellten Kupfer, doppelt mit Seide umspinnen) von der Länge des Pendels (ca. 25 cm) an zwei 2 mm dicke Manganindrähte (der Temperaturkoeffizient des Widerstandes des Mangans ist für die kleinen Temperaturdifferenzen

¹ Veröffentlichungen des K. preuß. geodät. Instituts: 1. Bestimmung der Polhöhe und Intensität der Schwerkraft auf 22 Stationen, von Kolberg—Schneekoppe, p. 152 ff., 194 ff. — 2. Bestimmung und Intensität der Schwerkraft auf 55 Stationen, von Hadersleben—Koburg etc., p. 29 ff., 63 ff., 89 ff. — 3. Bestimmung der Polhöhe und Intensität der Schwerkraft in der Nähe des Berliner Meridians, von Arkona—Elsterwerda, p. 127 ff.

² Vergleiche auch: Das schweizerische Dreiecknetz Bd. VII. Relative Schweremessungen ed. Messerschmitt, p. 166 ff.

praktisch, = Null) angelötet und in einem Petroleumbad auf verschiedene Temperaturen erwärmt. Vermittelt der bekannten WHEATSTONE'Schen Brückenkombination kann die hierbei erzeugte Widerstandsänderung in einfacher Weise bestimmt werden, selbstverständlich waren der Brückendraht, sowie alle Zuleitungen aus Manganindraht hergestellt. Die Methode wird bedeutend verfeinert, wenn man eine Elektrizitätsquelle von konstanter elektromotorischer Kraft benutzt und nicht durch Verschieben des Schleifkontaktes auf dem Brückendraht die korrespondierenden Widerstände ändert, sondern am eingeschalteten Galvanometer den Ausschlag in Skalenteilen für die in Betracht kommenden geringen Temperaturschwankungen bestimmt (es kann dann der Ausschlag \sim der Temperaturänderung gesetzt werden). Es wurde hierbei durch mehrere Versuchsreihen ermittelt, daß bei bestimmtem invariablen Abstand von Spiegel und Skala von 2,01 m dem Ausschlag von einem Skalenteile (2 mm) eine Temperaturerhöhung von $0,031^{\circ}$ entspricht; da bequem $\frac{1}{10}$ Skalenteil zu schätzen ist, würde sich die Temperaturänderung des Drahtes damit auch auf ca. $\frac{3}{1000}^{\circ}$ C. schätzen lassen.

Nachdem auf diese Weise — nennen wir es — der Temperaturkoeffizient des 0,05 mm dicken Drahtes bestimmt war, wurde derselbe vorsichtig durch einen den Dimensionen nach genau gleichen Körper wie das Pendel, aus Delta-Metall gefertigt, gezogen. Zu diesem Zwecke war dies Pendelmodell in der Richtung der Längsachse durch einen Kanal von 2 mm im Licht durchbohrt. Dies Pendelmodell mit dem umsponnenen Kupferdraht im Innern wurde auf die Hilfslager des Pendelstativs aufgelegt, die zwei Magazinthermometer im Pendelkasten neben dem Pendel (wie bei einer Messung) befestigt. Nach Verlauf einiger Stunden hatte sich Temperaturgleichgewicht hergestellt; zur Beförderung dieses Ausgleichs wurde die im Pendelkasten befindliche Luftschraube durch einen kleinen Elektromotor mit einer Tourenzahl von ca. 1000 in der Minute gedreht; dann wurden die Widerstände der Brücke in der Weise geregelt, daß das Galvanometer (D'ARSOUVAL-SIEMENS'Scher Konstruktion) keinen oder nur einen minimalen Ausschlag gab.

Zunächst wurde das Magazinthermometer (für die Vorversuche wurde vorläufig nur mit einem operiert) mit einem zweiten Glasrohr von 1 mm Wandstärke umschlossen. Es zeigte bei einer in gewisser Zeit vorgenommenen Temperaturerhöhung im Pendelkasten, die nach dem darin frei aufgehängten Normalthermometer $2,40^{\circ}$ C. betrug, das Magazinthermometer eine Erhöhung von $0,76^{\circ}$, das elektrische im

Pendel befindliche Thermometer eine solche von $1,04^{\circ}$ an; das Magazinthermometer war also träger als das Pendel. Es wurde dann das Magazinthermometer nach Entfernung des Glasrohres in eine Messinghülse von $0,75$ mm Wandstärke gesteckt. Es ergaben sich nach gewisser Zeit der Erwärmung Temperaturanstiege, die, wie nicht anders zu erwarten war, zeigten, daß das Magazinthermometer in dieser einen Hülse weniger träge war, als das Pendel. Darauf wurde eine zweite gleichgestaltete Messinghülse über das Thermometer geschoben; es ergab sich nach Ablauf einer gewissen Zeit eine Temperaturerhöhung:

| am Normalthermometer | Magazinthermometer | Pendel |
|----------------------|--------------------|--------|
| von $2,30^{\circ}$ | $0,85^{\circ}$ | $1,01$ |

Das Magazinthermometer ist also zu träge. Es wurde deshalb das zweite Rohr mit 36 Löcher von je $5-6$ mm Durchmesser versehen. Es ergaben sich nach einer Heizdauer von 10 Minuten folgende Ablesungen (Temperaturerhöhungen):

| am Normalthermometer | Magazinthermometer | Pendel |
|----------------------|--------------------|----------------|
| von $2,60^{\circ}$ | $1,54^{\circ}$ | $1,36^{\circ}$ |

Das Magazinthermometer ist also weniger träge als das Pendel.

Bisher war für diese Vorversuche die Heizung durch eine in den Pendelkasten hineingehängte 16kerzige Glühlampe erfolgt, wobei natürlich Pendel sowohl wie Thermometer vor direkter und indirekter Bestrahlung in passender Weise geschützt waren; um jetzt die Versuche mehr der Wirklichkeit anzupassen, also langsamere Temperaturänderungen zu haben, wurde die Erwärmung dadurch hervorgerufen, daß ein eiserner Ofen, der sich im Pendelkeller befand, geheizt wurde. Es ergaben sich hierbei nach 40 Minuten Heizung Temperaturanstiege

| am Normalthermometer | Magazinthermometer | Pendel |
|----------------------|--------------------|----------------|
| von $0,90^{\circ}$ | $0,72^{\circ}$ | $0,56^{\circ}$ |

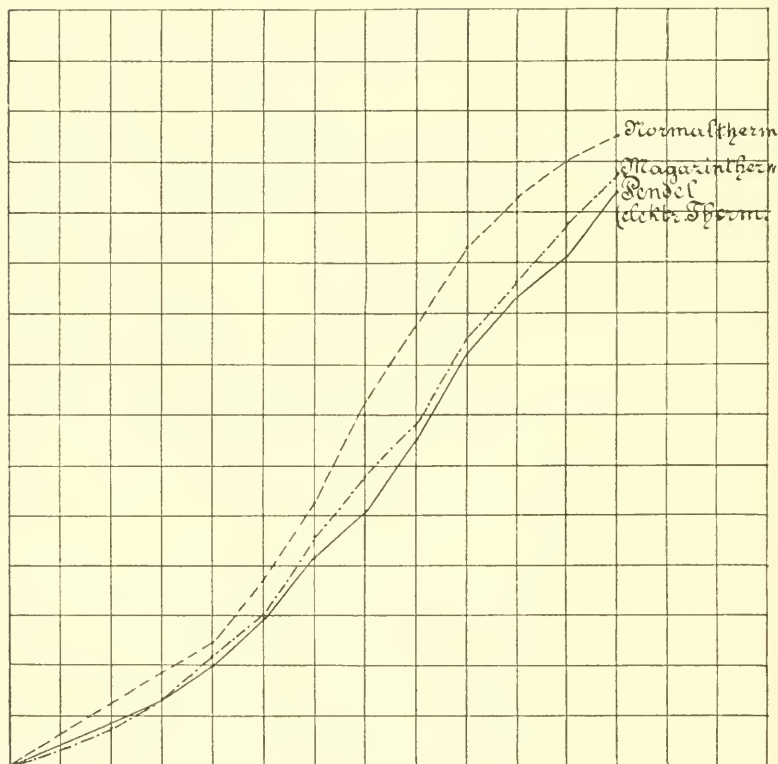
also dieselben Verhältnisse ungefähr wie beim Versuch der Heizung durch die Glühlampe.

Jetzt wurde jene obenerwähnte dritte Hülse über das Thermometer geschoben, die einen Teil der angebrachten Löcher wieder verdeckte; offenbar wird die Trägheit mit Verminderung der vorhandenen Löcher zunehmen.

Als die Hülse ca. 12 cm weit herübergeschoben war und mithin nahezu die Hälfte der Löcher verdeckte, war erreicht, daß im Mittel der Temperaturanstieg der beiden in derselben Weise behandelten Magazinthermometer der gleiche war wie beim Pendel. Dies geht aus folgender Tabelle hervor. Um 4^h wurde das Feuer im Ofen entzündet.

Zunahme der Temperatur

| zur Zeit | des Pendel | des Mag.-Therm. 12 | des Mag.-Therm. 15 | Mittel aus 12 u. 15 |
|----------|------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 4h 15m | 0,18° C. | 0,15° C. | 0,18° C. | 0,165° C. |
| 4 22,5 | 0,285 | 0,27 | 0,30 | 0,285 |
| 4 30 | 0,42 | 0,39 | 0,43 | 0,41 |
| 4 37,5 | 0,595 | 0,59 | 0,63 | 0,61 |
| 4 45 | 0,86 | 0,88 | 0,92 | 0,90 |
| 4 52,5 | 1,16 | 1,20 | 1,28 | 1,24 |
| 5 0 | 1,35 | 1,41 | 1,48 | 1,445 |
| 5 7,5 | 1,70 | 1,80 | 1,88 | 1,84 |
| 5 15 | 1,925 | 2,05 | 2,10 | 2,075 |
| 5 22,5 | 2,16 | 2,28 | 2,33 | 2,305 |
| 5 30 | 2,36 | 2,45 | 2,53 | 2,49 |



Auf vorstehender Tafel sind die Ergebnisse graphisch dargestellt.

Wie hieraus hervorgeht, ist das Pendel bei dieser Stellung der Hülsen über den Magazinthermometern noch etwas träger als die Magazinthermometer. Dies ist aber auch wohl notwendig, denn einesteils wird der in der Achse der Pendelstange befindliche Draht nicht die Mitteltemperatur der Pendelstange geben, sondern eine etwas niedrigere, da ja offenbar ein Temperaturgefälle von außen nach innen vorhanden sein wird, andernteils ist der Draht von Wärmeisolatoren umgeben, nämlich der doppelten Seideumspinnung und dem Luftraum zwischen Draht und Pendelstange, da das Lumen der axialen Durchbohrung ein größeres als die Drahtdicke ist. Aus diesen Gründen wurde an der Umhüllung der Thermometer nicht weiter korrigiert, sondern das Magazinthermometer etwas weniger träge gelassen. Daß jedoch trotzdem bei der Beobachtung und Messung selbst dafür gesorgt wurde, Temperaturänderungen während derselben nach Möglichkeit zu vermeiden, ist selbstverständlich.

Stuttgart, 1. Juni 1903.

Phys. Institut d. Kgl. techn. Hochschule.

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: 1904

Band/Volume: [60](#)

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

Artikel/Article: [Relative Schweremessungen in Württemberg. 1-25](#)