









VERÖFFENTLICHUNG  
DES KÖNIGL. PREUSZISCHEN GEODÄTISCHEN INSTITUTES  
NEUE FOLGE No. 41

---

BESTIMMUNG  
DER  
INTENSITÄT DER SCHWERKRAFT

AUF ZWEI UND VIERZIG STATIONEN

IM NÖRDLICHEN TEILE

VON

HANNOVER

UND

IM SAALETALE VON JENA BIS ZUR ELBE

MIT EINER TAFEL

*F. No. 28 704*

BEARBEITET

VON

**Prof. L. HAASEMANN**



---

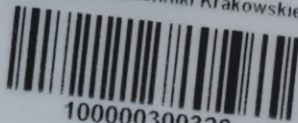
BERLIN

DRUCK UND VERLAG VON P. STANKIEWICZ' BUCHDRUCKEREI

1909

X  
28

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300326

VERÖFFENTLICHUNG  
DES KÖNIGL. PREUSZISCHEN GEODÄTISCHEN INSTITUTES  
NEUE FOLGE No. 41

---

BESTIMMUNG  
DER  
INTENSITÄT DER SCHWERKRAFT

AUF ZWEI UND VIERZIG STATIONEN

IM NÖRDLICHEN TEILE

VON

HANNOVER

UND

IM SAALETALE VON JENA BIS ZUR ELBE

MIT EINER TAFEL

---

BEARBEITET

VON

Prof. L. HAASEMANN



---

BERLIN

DRUCK UND VERLAG VON P. STANKIEWICZ' BUCHDRUCKEREI

1909

533  
53

X  
2528



III 306279



III ~~166~~95

Akc. Nr. 4062/50

BPK-8-116/2014



## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Beobachtungen im Jahre 1905 . . . . .	1
§ 1. Vorbemerkungen . . . . .	1
§ 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen . . . . .	2
§ 3. Bestimmung des Mitschwingens . . . . .	4
§ 4. Die Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr STRASSER & ROHDE 101 . . . . .	6
Beobachtungen des Herrn Dr. HAYN . . . . .	9
§ 5. Die Pendelbeobachtungen . . . . .	11
Bestimmung der Dichtekonstanten der Pendel Nr. 57, 58, 59, 60 . . . . .	13
Genauigkeitsberechnung der Beobachtungen . . . . .	23
§ 6. Der Temperatenausgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten . . . . .	27
§ 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel . . . . .	29
§ 8. Genauigkeit der Beobachtungen . . . . .	33
II. Beobachtungen im Jahre 1906 . . . . .	34
§ 1. Vorbemerkungen . . . . .	34
§ 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen . . . . .	35
§ 3. Bestimmung des Mitschwingens . . . . .	37
§ 4. Die Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr STRASSER & ROHDE 101 . . . . .	38
§ 5. Die Pendelbeobachtungen . . . . .	40
Dynamischer Temperaturkoeffizient der Messingpendel . . . . .	42
Die Konstanten der Nickelstahlpendel . . . . .	43
Bestimmung des magnetischen Moments des Nickelstahlpendels Nr. 79 von Herrn Prof. Dr. Ad. SCHMIDT . . . . .	46
Theoretische Betrachtung der magnetischen Eigenschaften der Nickel- stahlpendel von Herrn Prof. Dr. Ad. SCHMIDT . . . . .	49
Genauigkeitsberechnung der Beobachtungen . . . . .	65
§ 6. Der Temperatenausgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten . . . . .	70
§ 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel . . . . .	71
§ 8. Vergleich der Ergebnisse der Beobachtungen der Messing- und Nickel- stahlpendel . . . . .	73
§ 9. Genauigkeit der Beobachtungen . . . . .	75
III. Beobachtungen im Jahre 1907 . . . . .	76
§ 1. Vorbemerkungen . . . . .	76
§ 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen . . . . .	77
§ 3. Bestimmung des Mitschwingens . . . . .	79
§ 4. Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr STRASSER & ROHDE 101	80

	Seite
§ 5. Die Pendelbeobachtungen . . . . .	82
Vergleich der Messingpendel und Nickelstahlpendel von Herrn Ingenieur MODDERMAN aus Delft . . . . .	83
Genauigkeitsberechnung der Beobachtungen . . . . .	94
§ 6. Der Temperatenausgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten . . . . .	101
§ 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel . . . . .	102
§ 8. Vergleich der Ergebnisse der Messing- und der Nickelstahlpendelbeob- achtungen . . . . .	104
§ 9. Genauigkeit der Beobachtungen . . . . .	105
 IV. Beobachtungen im Jahre 1908 . . . . .	 106
§ 1. Vorbemerkungen . . . . .	106
§ 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen . . . . .	108
§ 3. Bestimmung des Mitschwingens . . . . .	109
§ 4. Die Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr STRASSER & ROHDE 101 . . . . .	111
§ 5. Die Pendelbeobachtungen . . . . .	115
Genauigkeitsberechnung der Beobachtungen . . . . .	139
§ 6. Der Temperatenausgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten . . . . .	144
§ 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel . . . . .	145
§ 8. Vergleich der Ergebnisse der Messing- und der Nickelstahlpendelbeob- achtungen . . . . .	147
§ 9. Genauigkeit der Beobachtungen . . . . .	148
 V. Ableitung der Schwerkraft . . . . .	 150
 VI. Bestimmung des Mitschwingens mit Hilfe der Spiegelmethode . . . . .	 154
 VII. Versuche mit dem Viertelsekundenpendelapparat . . . . .	 162
§ 1. Vorbemerkungen . . . . .	162
§ 2. Bestimmung des Mitschwingens . . . . .	164
§ 3. Konstantenbestimmungen . . . . .	164
§ 4. Die Pendelbeobachtungen . . . . .	168
Beobachtete „g“ der Feldstationen . . . . .	172

**Berichtigungen.**

Seite 26 Zeile 7 von oben lies 2.7 statt 2.9.

Seite 32 Zeile 13 von unten lies  $m'_{IV}$  statt  $m'_{II}$ .

## Einleitung.

Durch die hier veröffentlichten, auf Anordnung des Herrn Geheimrats HELMERT ausgeführten Beobachtungen zur Bestimmung der Intensität der Schwerkraft haben die früheren Beobachtungen im Harze und seiner Umgebung eine Erweiterung und Fortsetzung erfahren.

Die östlichen und westlichen Ausläufer des Harzes sind durchforscht und geben nun in ihrer Gesamtheit ein anschauliches Bild des Verlaufs der Störungen.

Die Störungen unterhalb des Meeresniveaus sind, nach dem Vorgange des Herrn Geheimrats HELMERT (vergl. F. R. HELMERT: „*Ergebnisse von Messungen der Intensität der Schwerkraft auf der Linie Kolberg — Schneekoppe. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1905*“, S. 409 u. f.), als ideelle störende Schichten im Meeresniveau ( $\Theta = 2.4$ ) zum Teil in einem Schnitte (Fig. 1) dargestellt, der sich von Ibbenbüren quer durch den Harz bis nach Eilenburg erstreckt. Die östlich und westlich vom eigentlichen Harzgebiet liegenden Stationen zeigen einige störende Schichten an, die die im Harze ermittelten fast um das Doppelte übertreffen. Das Leinetal, das die westlichen Ausläufer vom Harze trennt, hat keine solche Störungen.

Durch die Resultate der Beobachtungen im Saaletale von Jena bis zur Elbe (Fig. 2) ist das allmähliche sehr bemerkenswerte Anwachsen der Schwerkraft von einem fast normalen Werte bei Jena bis zu der großen Störung in Hohendodeleben bei Magdeburg festgestellt. In der letztgenannten Gegend müssen, wie auch in der Umgebung von Dessau und Zerbst, nach den Ergebnissen der Schwerkraftsbeobachtungen Gesteinsmassen von hohem spezifischen Gewichte in der Tiefe liegen.

Aus den Bestimmungen im Wesertale bis zur Küste (Fig. 3) folgt die allmähliche Abnahme der Schwerkraft vom Wesergebirge nach Norden. Von Nienburg a. d. W. ab bleibt die Schwerkraft bis zur Küste normal. Auffällig ist der ziemlich erhebliche negative Wert von Helgoland.

In der Gegend von Osnabrück, wo die Stationen ziemlich nahe beieinander liegen, zeigen Osnabrück, Bohmte und Ibbenbüren, wo Kohlenlager erschlossen sind, gleich große Abweichungen von der normalen Schwerkraft. Der Unterschied dieser Werte von demjenigen, der sich auf der ganz in der Nähe liegenden Station Bramsche ergeben hat, ist recht erheblich.

Rings um den Harz zieht sich ein Streifen normaler Schwerkraft, der am Nordrande in steilem, im Süden, Westen und Osten in allmählichem Abfall erreicht wird.

Herr Geheimrat HELMERT beabsichtigt, die Untersuchungen in den nächsten Jahren im Süden der durchforschten Gegenden fortsetzen zu lassen; sobald diese zu einem bestimmten Abschluß gebracht sind, wird eine allgemeine Übersichtskarte über das ganze untersuchte Gebiet veröffentlicht werden.

Für die Beobachtungen in den Jahren 1906, 1907, 1908 sind neben den Messingpendeln zum erstenmale auch Nickelstahlpendel verwendet. Der kleine Temperaturkoeffizient dieser Pendel, der nur etwa  $\frac{1}{16}$  desjenigen der Messingpendel beträgt, macht die Beobachtungen mit Nickelstahlpendel nahezu frei von dem Einfluß der veränderlichen Temperatur der Beobachtungsräume. Da auch, wie nachgewiesen werden konnte, die magnetischen Eigenschaften der Nickelstahlpendel zu Bedenken keinen Anlaß geben, so kann, nach den sehr günstigen Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, ihre Verwendung für Schwerkraftsmessungen nur empfohlen werden.

# I. Beobachtungen im Jahre 1905.

## § 1. Vorbemerkungen.

Im Anschluß an die im Jahre 1902 längs des 52. Breitengrades zwischen *Potsdam* und dem *Harze* vorgenommenen Bestimmungen der Intensität der Schwerkraft hatte Herr Geheimrat HELMERT für 1905 eine Fortsetzung des begonnenen Schwerkraftnetzes südlich der *Elbe* und im *Saaletale* angeordnet. Es sind auf 12 Stationen Pendelbeobachtungen zur Bestimmung der Intensität der Schwerkraft ausgeführt. Für die Beobachtungen sind die v. STERNECKSchen Pendel Nr. 57, 58, 59, 60 verwendet worden, deren Schwingungszeiten mit der Sekundenpendeluhr STRASSER & ROHDE 101 bestimmt wurden.

Als Beobachtungsräume wurden meist Keller in öffentlichen Schulen benutzt. In *Wettin* stellte Herr Amtsrat MEYER in freundlichster Weise ein leerstehendes Gartenhaus für die Beobachtungen zur Verfügung. In *Leipzig* und *Jena* wurden von den Herren Geheimrat BRUNS und Professor KNOPF Lokale in den Sternwarten eingeräumt. In *Leipzig* hatte Herr Geheimrat BRUNS freundlichst gestattet, daß Herr Dr. HAYN die Uhrvergleichungen und Herr Dr. KRAUSE die Zeitbestimmungen für die Pendelbeobachtungen ausführen konnten. Allen diesen Herren möchte ich an dieser Stelle für das ungemein freundliche Entgegenkommen und die wertvolle Unterstützung bei meinen Arbeiten herzlichst danken. In *Jena* stand mir in Abwesenheit des Herrn Professor Dr. KNOPF dessen Vertreter Herr Dr. WINKLER in zuvorkommendster Weise mit Rat und Tat zur Seite.

Die Beobachtungsräume in *Schmiedeberg* und *Halle a. S.* lagen an vielbefahrenen Straßen, die aber dank dem Entgegenkommen der Stadtverwaltungen für die Zeit der Beobachtungen für den öffentlichen Verkehr gesperrt werden konnten.

Im allgemeinen wurden wie in früheren Jahren auf jeder Station zwei Reihen zu vier Pendeln in zwölfstündigem Abstände zwischen zwei Zeitbestimmungen beobachtet. Auf den Stationen *Gräfenhainichen*, *Zörbig* und *Naumburg* verdoppelte ich mit Einwilligung des Herrn Geheimrat HELMERT die Beobachtungen und beobachtete vier Reihen zu je vier Pendeln an zwei Tagen zwischen drei Zeitbestimmungen. In *Halle* nahm ich noch einen zweiten Beobachtungstag hinzu, weil die erste Zeitbestimmung schwach war und die erste Reihe aus unaufgeklärten Gründen stark abweichende Werte ergab. In *Leipzig* habe ich sechs Reihen zu vier Pendeln in drei Tagen

beobachtet, weil die durch vorüberfahrende Wagen entstehende Unruhe des Erdbodens die Beobachtungen ungünstig beeinflusste. Um diesen Einfluß nach Möglichkeit unschädlich zu machen, wurden die Beobachtungen vermehrt und gleichmäßig auf drei Tage verteilt. Das Ergebnis ist auch ein befriedigendes geworden.

Auf der Station *Düben* besuchte mich Herr Dr. SEMERÁD aus Wien, um die Art der Feldbeobachtungen kennen zu lernen. Auf den Stationen *Wettin* und *Halle a. S.* beteiligte sich Herr Ingenieur KÖHLER aus *Prag* zu seiner Belehrung an den Beobachtungen.

## § 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen.

In der nachfolgenden Tabelle gebe ich die Koordinaten der Stationen nebst Angaben über die Lage der Beobachtungsräume.

Nr.	Station	Geographische		Höhe in m	Lage des Beobachtungsräumcs	Art des Fußbodens
		Breite	Länge			
1	Gräfenhainichen	51° 43' 58"	12° 27' 7"	91	Keller der Volksschule.	Ziegelsteinpflaster.
2	Schmiedeberg ..	51 41 18	12 44.4	97	Keller der Volksschule.	Ziegelsteinpflaster.
3	Düben.....	51 35 34	12 35.7	93	Stallgebäude des Gasthofs „zum schwarzen Adler“.	Steinpflaster.
4	Eilenburg .....	51 27 33	12 38.2	102	Keller der Volksschule.	Ziegelsteinpflaster.
5	Delitzsch .....	51 31 15	12 20.3	96	Keller der Volksschule.	Zement.
6	Zörbig.....	51 37 42	12 7.4	88	Keller der Volksschule.	Ziegelsteinpflaster.
7	Wettin .....	51 35 8	11 48.6	96	Vorraum im Gärtner- hause des Herrn Amts- rat MEYER.	Ziegelsteinpflaster.
8	Halle a. S. ....	51 28 57	11 58.1	79	Keller der Volksschule in der Dreyhauptstraße.	Ziegelsteinpflaster.
9	Merseburg .....	51 21 39	11 59.8	95	Waschküche der Klein- kinderbewahranstalt.	Zement.
10	Leipzig .....	51 20 6	12 23.5	115	Komparatorkeller der Sternwarte.	Ziegelsteinpflaster.
11	Naumburg a. S..	51 9 9	11 48.8	130	Keller des Realgymna- siums.	Zement.
12	Jena .....	50 55 36	11 35.2	154	Keller in der Sternwarte.	Zement.

Für die Höhenbestimmungen des Pendelpeilers wurde das Aneroid BOHNE 938 benutzt. Die Ablesungen des Aneroids auf den Anbindepunkten wurden eingeschlossen durch Ablesungen im Beobachtungsräum in der Höhe des Pendelpeilers. Jede Höhenbestimmung wurde mindestens dreimal wiederholt. Auf den Wegen vom Beobachtungsräum zum Anbindepunkt und zurück wurde an geeigneten Punkten die Temperatur mittels eines Schleuderthermometers bestimmt. Auf das Nachziehen des Aneroids wurde besonders geachtet und das zur Höhenbestimmung dienende Aneroid BOHNE 938 mit dem Stationsaneroid BOHNE 937 beim Abgang von der Station und nach der Rückkehr dahin verglichen. Es zeigte sich eine genügende Beständigkeit des Unterschieds der beiden.

Der Ableitung des Höhenunterschieds zwischen Pendelpfeiler und Anbindepunkt wurde das Mittel aus den Ablesungen des Aneroids am Pendelpfeiler zugrundegelegt. Als Wert der Temperatur der Luft wurde das Mittel der mit dem Schleuderthermometer erhaltenen Angaben angenommen.

Der Temperaturkoeffizient des Aneroids ist nach den Angaben der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT bei den in Frage kommenden Luftdrucken als verschwindend anzusehen. Die Berechnung des Höhenunterschieds ist mit der für Deutschland gültigen Höhentafel in JORDANS „Handbuch der Vermessungskunde“, zweite Auflage I, S. 524, ausgeführt.

Nr.	Station	Anbindepunkt	Unterschiede 937—938		Unterschiede von 938 Pendelpfeiler weniger Anbindepunkt	Mittl. Baro- meter- stand	Luft- tempe- ratur	Höhen- unter- schied Pendel- pfeiler weniger Anbindepunkt	Höhe des An- binde- punkts	Höhe des Pen- del- pfeilers	Mittel- wert	Mittl. Fehler	
			vor	nach									der Bestimmung
1	Gräfenhainichen	Bolzen am Bahn- hof.	mm	mm	mm	mm							
			+7.7	+7.7	+0.35	754	+17.1	— 4.0		91.2			
			+7.6	+7.7	+0.40	754	+17.0	— 4.4	95.2	90.8	91.3	±0.3	
2	Schmiedeberg ..	Bolzen am Bahn- hof.	+8.1	+8.2	— 0.10	754	+19.1	+ 1.1		96.2			
			+8.0	+8.0	— 0.30	754	+23.0	+ 3.3	95.1	98.4	97.0	±0.7	
			+8.1	+8.1	— 0.10	754	+29.0	+ 1.2		96.3			
3	Düben.....	Bolzen am Bahn- hof.	+8.2	+8.3	0	750	+19.5	0					
			+8.0	+7.8	0	755	+17.6	0	93.3	93.3	93.3	±0	
			+7.9	+8.0	0	755	+22.8	0					
4	Eilenburg.....	Bolzen am Bahn- hof.	+7.8	+7.7	+0.10	751	+20.0	— 1.1		104.6			
			+7.7	+7.8	+0.40	752	+17.1	— 4.4	105.7	101.3	102.3	±1.1	
			+7.7	+7.8	+0.40	752	+24.8	— 4.6		101.1			
5	Delitzsch .....	Bolzen am Bahn- hof.	+7.7	+7.8	+0.85	756	+21.8	— 9.8					
			+7.7	+7.7	+0.60	756	+20.0	— 6.9		94.2			
			+7.6	+7.5	+0.70	756	+14.5	— 7.9	104.0	97.1	95.9	±0.6	
			+7.5	+7.5	+0.70	756	+15.8	— 7.9		96.1			
6	Zörbig.....	Bolzen am Bahn- hof.	+7.8	+7.8	+0.10	752	+19.0	— 1.1		88.2			
			+8.0	+8.0	+0.10	754	+22.0	— 1.1	89.3	88.2	87.8	±0.4	
			+7.5	+7.5	+0.20	756	+19.4	— 2.2		87.1			
7	Wettin .....	Schienenoberkante am Bahnhof.	+7.5	+7.6	— 2.00	752	+22.0	+22.8		96.2			
			+7.3	+7.4	— 2.00	756	+18.0	+22.6	73.4	96.0	95.6	±0.5	
			+7.8	+7.8	— 1.90	756	+19.0	+21.1		94.5			
8	Halle a. S.....	Bolzen an der Mo- ritzkirche.	+7.4	+7.4	+0.20	755	+18.5	— 2.2		78.7			
			+7.3	+7.2	+0.15	756	+17.5	— 1.1		79.8			
			+7.3	+7.3	+0.20	758	+19.7	— 2.2	80.9	78.7	79.0	±0.3	
			+7.4	+7.4	+0.20	758	+20.2	— 2.2		78.7			
9	Merseburg .....	Städt.Nivellements- Bolzen 23.	+7.4	+7.4	— 0.20	753	+18.0	+ 2.2		95.1			
			+7.5	+7.5	— 0.20	753	+19.7	+ 2.3	92.9	95.2	95.1	±0	
			+7.3	+7.3	— 0.20	753	+15.0	+ 2.2		95.1			
10	Leipzig .....	Angabe der Stern- warte.								115.0			
11	Naumburg a. S. .	Städt. Niv.-P. Ma- rienpromenade 1 <sup>b</sup> .	+7.4	+7.4	0	754	+18.6	0		130.1			
			+7.5	+7.5	+0.10	754	+19.0	— 1.1		129.0			
			+7.5	+7.5	0	752	+19.3	0	130.1	130.1	129.8	±0.3	
12	Jena .....	Angabe der Stern- warte.	+7.5	+7.6	0	752	+26.7	0		130.1			
											154.2		

Die geringfügigen mittleren Fehler der Höhenbestimmungen, die nur bei einer Station die Größe von  $\pm 1$  m erreichen, zeigen, daß der Einfluß dieser mittleren Fehler auf den Unterschied der Schwerkraft einer Feldstation gegen Potsdam zu vernachlässigen ist.

### § 3. Bestimmung des Mitschwingens.

Das Mitschwingen ist allein nach der Zweipendelmethode ermittelt worden. Verwendet wurde auf allen Stationen das SCHUMANNSCHE schwere Pendel als treibendes und das Pendel Nr. 59 als getriebenes. Etwa 5 Minuten nach dem Freilassen des treibenden Pendels begannen die Beobachtungen. Die Übereinstimmung der Schwingungszeiten der beiden benutzten Pendel wurde öfter durch Beobachtung einiger Koinzidenzen festgestellt. Eine Korrektion des schweren Pendels war niemals nötig, es hat sich sehr gut unveränderlich gehalten.

Der Berechnung liegt die Formel zugrunde:

$$\gamma = \frac{a_i}{A_i} \cdot \frac{T^2}{\pi(t_i - t_0)} \cdot \frac{m_2 h_2}{m_1 h_1}$$

Hierin bedeutet  $\gamma$  die Korrektion der Schwingungszeit des Hauptpendels wegen Mitschwingens des Stativs, Pfeilers und Untergrundes.

$m_2$  = Gewicht des Hauptpendels = 1181 gr.

$h_2$  = Entfernung Schneide-Schwerpunkt desselben Pendels = 235.5 mm.

$m_1$  = Gewicht des Hilfspendels = 2189 gr.

$h_1$  = Entfernung Schneide-Schwerpunkt desselben Pendels = 234.5 mm.

$T$  = Schwingungszeit der Pendel = 0.8508.

$t_i - t_0$  = Zeit seit Beginn der Beobachtung in Sekunden.

$a_i$  = Amplitude des Hauptpendels zur Zeit  $t_i$ .

$A_i$  = Amplitude des Hilfspendels zur Zeit  $t_i$ .

$t_0$  = Zeit des Freilassens,  $a_0 = 0$ .

Zweckmäßig wurde  $\frac{T^2}{\pi(t_i - t_0)} \cdot \frac{m_2 h_2}{m_1 h_1}$  nach Minuten tabuliert, sodaß die Rechnung sich einfach und schnell mit vierstelligen Logarithmen ausführen ließ.

Es erschien nicht notwendig, jede einzelne Beobachtung für das Mitschwingen aufzuführen. Die folgende Tabelle gibt nur das Mittel der einzelnen beobachteten Sätze mit den Quadratsummen der Abweichungen der Einzelwerte von ihrem Reihenmittel, alles in Einheiten der 7. Dezimale der Sekunde. Die mittleren Fehler der Stationsmittel sind aus den mittleren Fehlern der einzelnen Sätze abgeleitet.

Eine ins einzelne gehende Darstellung gleicher Beobachtungen findet man in „Schwerkraft im Harze“\*), S. 32 u. f. Bei den Beobachtungen an

\*) Mit „Schwerkraft im Harze“ ist hier die Arbeit: L. HAASEMANN: „Bestimmung der Intensität der Schwerkraft auf 66 Stationen im Harze und seiner weiteren Umgebung. Berlin 1905. Veröffentlichung des Königl. Preussischen Geodätischen Institutes. Neue Folge Nr. 19“ bezeichnet.



dieser Stelle ist aber nicht die Anfangszeit der Beobachtung berücksichtigt; es ist dort aus den Unterschieden von zwei Beobachtungen das Mitschwingen abgeleitet. Infolgedessen tritt dort statt  $(t_1 - t_0)$  im Nenner  $(t_2 - t_1)$  auf.

Nr.	Station	Mit- schwin- gen	[ $v$ ]	Anzahl der Beob- achtung.	Intervall der Beob- achtung.	Stations- mittel	Mittlerer Fehler	
	Potsdam.....	1	50	4	8	3 <sup>m</sup>		
		2	50	8	8	3	50	± 0.4
		3	50	28	6	5		
1	Gräfenhainichen.....	1	83	116	8	3	85	± 0.9
		2	87	73	8	2		
2	Schmiedeberg, Bez. Halle.	1	80	32	7	2	80	± 1.1
		2	79	75	5	2		
3	Düben .....	1	67	158	6	2	64	± 1.4
		2	61	138	8	2		
4	Eilenburg.....	1	49	189	10	2	48	± 1.4
		2	47	356	8	2		
5	Delitzsch .....	1	70	19	6	2	68	± 1.0
		2	66	139	7	2		
6	Zörbig .....	1	78	246	8	2		
		2	70	68	8	2	74	± 0.8
		3	74	20	8	2		
7	Wettin .....	1	67	108	10	2	68	± 0.7
		2	69	59	10	2		
8	Halle a. S.....	1	64	55	12	2	64	± 0.5
		2	63	69	12	2		
9	Merseburg.....	1	49	1	4	2	48	± 0.7
		2	46	161	10	2		
10	Leipzig.....	1	46	42	6	2	46	± 0.9
		2	46	118	8	2		
11	Naumburg a. S. ....	1	51	93	8	2		
		2	50	14	8	2	51	± 0.8
		3	52	130	6	2		
12	Jena .....	1	49	154	8	2	50	± 1.4
		2	50	159	6	2		
	Potsdam.....	1	59	43	6	2		
		2	59	73	8	2	59	± 1.3
		3	60	360	6	2		

Als durchschnittlichen mittleren Fehler der Bestimmung des Mitschwingens in Potsdam erhält man aus den beiden Anschlußbeobachtungen  $\pm 0.7 \times 10^{-7}$ . Für eine Feldstation nehmen wir den Durchschnittswert  $\pm 1.0 \times 10^{-7}$  an.

#### § 4. Die Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr STRASSER & ROHDE 101.

In *Potsdam* wurden die täglichen Gänge der Beobachtungsuhr für die Anschlußmessungen von Herrn Professor WANACH aus täglichen Vergleichen mit den Hauptuhren des *Geodätischen Institutes* abgeleitet.

Auf den *Feldstationen* sind die Zeitbestimmungen mit einem kleinen BAMBERGSCHEN Passageninstrument ausgeführt, das 54 mm Öffnung und eine 60-fache Vergrößerung besitzt. Die Methode der Zeitbestimmung war die der Beobachtung im Vertikal des Polarsternes. Der Polarstern wurde in beiden Kreislagen beobachtet und mit jeder Polsternbeobachtung ein Südsterndurchgang verbunden. Innerhalb eines jeden Südsterndurchgangs wurde das Instrument umgelegt, der Polstern wurde stets am Mittelfaden beobachtet. Das Mittel aus einer Beobachtung eines Südsterns mit dem Polstern in Kreislage Ost und einer solchen in Kreislage West galt als eine Zeitbestimmung. An jedem Abend wurden je nach der Gunst des Wetters 2 bis 5 solcher Zeitbestimmungen ausgeführt. Als Beobachtungsuhr diente das Chronometer DENCKER 100, das vor Beginn und nach Schluß der Zeitbestimmungen automatisch mit der Pendeluhr STRASSER & ROHDE 101 verglichen wurde. Zogen sich die Beobachtungen infolge ungünstigen Wetters längere Zeit hin, so wurde das Chronometer auch inmitten der Beobachtungen nochmal mit der Pendeluhr verglichen. Pfeiler und Beobachtungshütte waren die gleichen wie in früheren Jahren. (Vergl. „*Schwerkraft im Harze*“, S. 2 und 5.)

Der Berechnung der Uhrkorrekturen wurde die Formel zugrunde gelegt:

$$u = \alpha - U + \frac{x-m}{15} - i \sec \varphi \pm c \sec \varphi \frac{\sin z}{\sin(z' + z)} *).$$

Eine erste Berechnung der Zeitbestimmung wurde gleich auf den *Stationen* ausgeführt, eine zweite unabhängig von der ersten durchgeführte folgte in *Potsdam*.

Die Einrichtung der folgenden Tabellen bedarf keiner weiteren Erklärung.

\*) Vergl. E. BORRASS in „*Bestimmung der Polhöhe und der Intensität der Schwerkraft auf 22 Stationen von der Ostsee bei Kolberg bis zur Schneekoppe*“, Berlin 1896, S. 211 u. 212 und TH. ALBRECHT, „*Formeln und Hilfstafeln für geographische Ortsbestimmungen*“, IV. Auflage. Leipzig 1908, S. 27 u. 28, S. 196 f.

*Tägliche Uhrgänge in Potsdam und auf den Feldstationen.*

Juni 30 und Juli 1	— 3 <sup>s</sup> .28	} in Potsdam.
Juli 3 " "	— 3.30	
" 7 " "	— 3.56	
" 10 " "	— 3.42	

Nr.	Station	1905	Nummer der Beobachtung	Beobachtungszeit	Uhrkorrektur	Uhrgang		Angewandte Mittel der täglichen Uhrgänge	Mittlere Fehler der täglichen Uhrgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen von Mittel	
						abgeleitet aus Nummer	tätlich				
1	Gräfenhainichen	Juli 20	1	17 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	— 1 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup> .66	1 u. $\frac{4+5}{2}$	+2 <sup>s</sup> .24	+2 <sup>s</sup> .25	±0 <sup>s</sup> .01	0.0001	
			2	18 31	— 1 29.67	2 u. 3	+2.25				
			" 21	3	18 31	— 1 27.42	$\frac{3+4}{2}$ u. 6	+2.36	+2.33	±0.03	0.0018
			4	18 54	— 1 27.30	5 u. 7	+2.30				
			" 22	6	16 59	— 1 25.17					
			7	17 44	— 1 25.28						
			2	Schmiedeberg, Bez. Halle	" 26	1	16 34	+ 1 14.28	1 u. 4	+2.92	+2.87
2	17 5	+ 1 14.39				2 u. 5	+2.90				
3	17 42	+ 1 14.61				3 u. 6	+2.78				
" 27	4	16 34				+ 1 17.20					
5	17 5	+ 1 17.29									
6	17 45	+ 1 17.39									
3	Düben .....	" 29	1	17 6	+ 0 47.55	1 u. 4	+3.17	+3.19	±0.03	0.0049	
			2	17 32	+ 0 47.62	2 u. 5	+3.25				
			3	17 49	+ 0 47.64	3 u. 6	+3.16				
		" 30	4	17 18	+ 0 50.75	4 u. 7	+3.17	+3.08	±0.05	0.0149	
		5	17 49	+ 0 50.91	5 u. 9	+3.00					
		6	18 29	+ 0 50.89	6 u. 8	+3.06					
		" 31	7	17 6	+ 0 53.89						
		8	17 32	+ 0 54.06							
		9	17 49	+ 0 53.91							
4	Eilenburg .....	Aug. 2	1	16 34	+ 0 38.45	1 u. 4	+2.93	+2.97	±0.02	0.0021	
			2	17 6	+ 0 38.63	2 u. 5	+2.99				
			3	17 32	+ 0 38.67	3 u. 6	+2.98				
		" 3	4	17 6	+ 0 41.44						
		5	17 32	+ 0 41.67							
		6	18 8	+ 0 41.72							
5	Delitzsch .....	" 7	1	17 51	— 0 47.63	1 u. 6	+4.06	+4.14	±0.04	0.0089	
			2	18 16	— 0 47.72	2 u. 7	+4.17				
			3	18 46	— 0 47.47	$\frac{3 u. \frac{4+5}{2}}$	+4.18				
		" 8	4	16 58	— 0 43.42						
		5	17 34	— 0 43.68							
		6	17 51	— 0 43.57							
		7	18 16	— 0 43.55							

Nr.	Station	1905	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektur	Urgang		Ange- wandte Mittel der täglichen Urgänge	Mittlere Fehler der täglichen Urgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel	
						abgeleitet aus Nummer	täglich				
6	Zörbig .....	Aug. 10	1	17 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>	+ 2 <sup>m</sup> 5 <sup>s</sup> .87	$\frac{1+2}{2}$ u. 4	+ 2 <sup>s</sup> .46	+ 2 <sup>s</sup> .47	± 0 <sup>s</sup> .01	0.0001	
			2	17 40	+ 2 6.01	3 u. 5	+ 2.47				
			3	18 6	+ 2 5.99						
		"	11	4	17 44	+ 2 8.44	4 u. 6	+ 2.39	+ 2.44	± 0.05	0.0041
				5	18 28	+ 2 8.50	$5 \text{ u. } \frac{7+8}{2}$	+ 2.48			
		"	12	6	17 4	+ 2 10.76					
				7	17 31	+ 2 10.84					
				8	17 53	+ 2 10.96					
7	Wettin .....	"	15	1	17 32	+ 4 5.85	1 u. 3	+ 1.18	+ 1.15	± 0.04	—
				2	18 7	+ 4 5.96	2 u. 4	+ 1.11			
		"	17	3	17 32	+ 4 8.21					
				4	18 7	+ 4 8.18					
8	Halle a. S. ....	"	19	1	17 41	+ 0 27.09	$\frac{1+2}{2}$ u. 5	+ 2.59	+ 2.62	± 0.03	0.0018
				2	18 0	+ 0 27.03					
				3	18 29	+ 0 27.12	$\frac{3+4}{2}$ u. 6	+ 2.65			
				4	18 54	+ 0 27.09					
		"	20	5	19 0	+ 0 29.77	$5 \text{ u. } \frac{7+8}{2}$	+ 2.64	+ 2.60	± 0.05	0.0041
				6	19 48	+ 0 29.88	6 u. 9	+ 2.55			
		"	21	7	17 55	+ 0 32.32					
				8	18 29	+ 0 32.32					
				9	18 53	+ 0 32.33					
9	Merseburg .....	"	23	1	17 32	+ 0 24.11	1 u. 4	+ 2.60	+ 2.55	± 0.03	0.0061
				2	17 50	+ 0 24.17	2 u. 5	+ 2.49			
				3	18 33	+ 0 24.27	3 u. 6	+ 2.55			
		"	24	4	17 32	+ 0 26.71					
				5	17 50	+ 0 26.66					
				6	18 33	+ 0 26.82					
11	Naumburg a. S. .	Sept. 4	1	21 17	— 0 35.95	$\frac{1+2}{2}$ u. 3	+ 4.79	+ 4.79	—	—	
			2	22 17	— 0 35.82						
		"	5	3	18 55	— 0 31.67	3 u. 6	+ 4.55	+ 4.61	± 0.03	0.0064
				4	0 1	— 0 30.75	4 u. 7	+ 4.65			
				5	0 21	— 0 30.74	5 u. 8	+ 4.64			
		"	6	6	18 15	— 0 27.25					
				7	18 41	— 0 27.13					
				8	19 2	— 0 27.13					

Nr.	Station	1905	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektio n	Urgang		Ange- wandte Mittel der täglichen Urgänge	Mittlere Fehler der täglichen Urgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel
						abgeleitet aus Nummer	täglich			
12	Jena .....	Sept. 9	1	20 <sup>h</sup> 6 <sup>m</sup>	— 1 <sup>m</sup> 4 <sup>s</sup> .32	1 u. $\frac{3+4}{2}$	+ 6 <sup>s</sup> .01	+ 6 <sup>s</sup> .06	± 0 <sup>s</sup> .05	—
				21 3	— 1 4.18	2 u. 5	+ 6.10			
			" 11	18 16	— 0 52.84					
				19 6	52.48					
				19 39	52.34					

*Ableitung der Uhrkorrektio n von STRASSER & ROHDE 101 für Leipzig aus den Vergleichen mit den Sternzeituhren der Leipziger Sternwarte.*

Mitteilung des Herrn Dr. HAYN.

Die drei Uhren sind:

TIEDE 336, DENCKER XII und ein elektrisches Pendel.

TIEDE 336 ist Registrieruhr. Bei den Vergleichen wurden bei TIEDE 336 die Signale nach dem Zifferblatt mit dem Taster gegeben ebenso auch bei DENCKER XII. Das Pendel von DENCKER XII besitzt aber noch ebenso wie das elektrische Pendel einen automatischen Kontakt, dessen Signale wesentlich genauer sind als die Handsignale. Deshalb sind nur die Kontaktsignale von DENCKER XII zur Ableitung herangezogen worden. Für die drei Uhren wurden die Gänge zwischen den Zeitbestimmungen interpoliert nach den Formeln:

$$\begin{aligned} \text{TIEDE 336: } g &= g_0 + 0^{\text{s}}.0132 (B - B_0) \text{ Schwingungsbogen} = \text{Konst.} + S. \\ &\quad - 0.0307 (T - T_0) \\ &\quad + 0.0725 (S - S_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DENCKER XII: } g &= g_0 + 0^{\text{s}}.0152 (B - B_0) \\ &\quad - 0.0410 (T - T_0) \\ &\quad 0.0000 (S - S_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elektr. Pendel: } g &= g_0 + 0^{\text{s}}.0142 (B - B_0) \text{ Schwingungsbogen} = \text{Konst.} + S. \\ &\quad + 0.0410 (T - T_0) \\ &\quad + 0.0027 (S - S_0) \end{aligned}$$

Hier ist  $B$  der Barometerstand in mm,  $T$  die Temperatur,  $S$  der Schwingungsbogen, die Konstante ist weggelassen.

Bei der Rechnung wurde angenommen bei

$$\begin{aligned} \text{TIEDE 336: } B_0 &= 745.5 \text{ mm, } T_0 = + 20^{\circ}.1, S_0 = - 2.7 \text{ mm} \\ \text{DENCKER XII: } B_0 &= 745.5 \text{ ,, , } T_0 = + 19.6, \quad \text{—} \\ \text{Elektr. Pendel: } B_0 &= 745.5 \text{ ,, , } T_0 = + 17.8, S_0 = + 36 \text{ ''} . \end{aligned}$$

1905	Sternzeit	TIEDE 336		DENCKER XII		Elektr. Pendel	
		<i>Au</i>	Tägliche Gänge	<i>Au</i>	Tägliche Gänge	<i>Au</i>	Tägliche Gänge
Aug. 26	6 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>	— 1 <sup>m</sup> 30 <sup>s</sup> .52	— 0 <sup>s</sup> .38	— 6 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup> .95	— 0 <sup>s</sup> .30	— 0 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup> .47	+ 0 <sup>s</sup> .59
„ 27	14 59	— 1 30.66	— 0.34	— 6 12.06	— 0.32	— 0 33.25	+ 0.56
„ 27	5 57	— 1 30.87	— 0.42	— 6 12.26	— 0.37	— 0 32.90	+ 0.56
„ 28	15 45	— 1 31.04	— 0.48	— 6 12.41	— 0.46	— 0 32.67	+ 0.54
„ 28	6 17	— 1 31.33	— 0.49	— 6 12.69	— 0.49	— 0 32.34	+ 0.54
„ 29	16 1	— 1 31.53	— 0.51	— 6 12.89	— 0.49	— 0 32.12	+ 0.56
„ 29	6 14	— 1 31.83	— 0.54	— 6 13.18	— 0.48	— 0 31.79	+ 0.48
„ 30	10 15	— 1 31.92		— 6 13.26		— 0 31.71	

*Korrekturen von STRASSER & ROHDE 101 für die Beobachtungen in Leipzig.*

Nummer der Vergleichung	1905	Sternzeit	Korrekturen aus			Mittel*)	Urgang	
			TIEDE 336	DENCKER XII	Elektr. Pendel		Abgeleitet aus Nummer	Täglich
1	Aug. 26	6 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>	— 0 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup> .94	— 0 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup> .97	— 0 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup> .97	— 0 <sup>m</sup> 7 <sup>s</sup> .96		
2	„ 27	14 59	— 0 5.84	— 0 5.85	— 0 5.85	— 0 5.85	2 u. 4	+ 5 <sup>s</sup> .46
3	„ 27	5 57	— 0 2.42	— 0 2.49	— 0 2.47	— 0 2.47	4 u. 6	+ 5.24
4	„ 28	15 45	— 0 0.19	— 0 0.23	— 0 0.22	— 0 0.22		
5	„ 28	6 17	+ 0 2.96	+ 0 2.91	+ 0 2.94	+ 0 2.93	6 u. 8	+ 5.05
6	„ 29	16 1	+ 0 5.16	+ 0 5.05	+ 0 5.07	+ 0 5.08		
7	„ 29	6 14	+ 0 8.22	+ 0 8.05	+ 0 8.09	+ 0 8.10		
8	„ 30	10 15	+ 0 9.02	+ 0 8.88	+ 0 8.91	+ 0 8.92		

\*) Bei der Mittelbildung wurde TIEDE das Gewicht  $\frac{1}{2}$  gegeben, da die Uhr, wenn auch trotz ihres Alters ganz leidlich, nicht mehr so konstanten Gang zeigt, wie die beiden anderen.

*Tägliche Gänge für STRASSER & ROHDE 101 für die Anschlußmessungen in Potsdam.*

Sept. 26 und Sept. 27	— 0 <sup>s</sup> .02
„ 27 „ „ 28	— 0.10
Okt. 3 „ Okt. 4	— 0.23
„ 4 „ „ 5	— 0.33

Die täglichen Gänge der Beobachtungsur in Potsdam sind mit einem mittleren Fehler von  $\pm 0^s.02$  behaftet. Die Bestimmung der täglichen Gänge der Uhr in Leipzig steht an Genauigkeit der in Potsdam gleich, sodaß auch für diese ein mittlerer Fehler eines täglichen Ganges von  $\pm 0^s.02$  angesetzt werden kann.

Für die täglichen Gänge der Uhr auf den Feldstationen berechnen wir den durchschnittlichen mittleren Fehler eines Wertes aus der Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel derjenigen Werte, die sich auf eine Zwischenzeit von etwa  $24^h$  beziehen nach S. 7 u. 8 zu:

$$m'_u = \pm \sqrt{\frac{0.0668}{33 - 13}} = \pm 0^s.06,$$

und da die täglichen Gänge auf den Stationen auf mindestens zwei Bestimmungen beruhen

$$m_u = \pm 0^s.04 \text{ oder } \pm 2^s.4 \times 10^{-7}$$

in der Schwingungszeit des mittleren Pendels, welchen Wert wir bei der Genauigkeitsberechnung der Beobachtungen auf den Feldstationen annehmen werden.

### § 5. Die Pendelbeobachtungen.

Wie schon in der Einleitung kurz erwähnt wurde, sind die Pendelbeobachtungen in gleicher Weise angestellt worden wie in früheren Jahren. (Vergl. „*Schwerkraft im Harze*“ 1905, S. 9.) An jedem Beobachtungstage wurden zwei Reihen zu vier Pendeln in etwa 12 stündigem Abstand beobachtet, um das Mittel nach Möglichkeit frei zu erhalten von dem Einfluß der täglichen Schwankungen des Ganges der Beobachtungsur. Diejenigen Stationen, auf denen an zwei Tagen zwischen drei Zeitbestimmungen beobachtet wurde, dienen zur Verstärkung und Vergleichung der Genauigkeit der Schwerkraftbestimmungen.

Als Pfeiler wurde ein Sandsteinpfeiler benutzt mit quadratischem Querschnitt von 40 cm Seitenfläche und einer Höhe von 50 cm. Aus der Mitte des Pfeilers ist ein Zylinder von 20 cm Durchmesser herausgebohrt, um ihn leichter zu machen. An den Seiten angebrachte kleine Öffnungen dienen zum Durchstecken von Tragstäben. Sowohl die obere als auch die untere Fläche ist so hergerichtet, daß der Pfeiler auf dem Boden mit 4 Punkten ruht und die Kopfplatte auf den vier isolierten Punkten der Endfläche des Pfeilers festgekipst wird. Auf der Kopfplatte wird das Pendelstativ festgeschraubt. Die Reservependel hängen an einem Galgen, der hinter dem Stativ auf dem Pfeiler angebracht ist. Das Ganze befindet sich während der Beobachtungen unter einem geeignet mit Fenstern und Türen versehenen innen und außen mit Staniol beklebten Holzschutzkasten, wie er in der Veröffentlichung „*Schwerkraft im Harze*“ S. 9 näher beschrieben ist.

Das benutzte Pendelthermometer P. T. R. 3820, das ich auch bei meinen früheren Beobachtungen verwendet habe, ist 1902 und 1903 von der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT untersucht worden,\*) wobei die folgenden Korrekturen ermittelt wurden.

Temperatur	Korrekturen		Angewandte Korrekturen
	23. XII. 1902	24. XI. 1903	
— 10°	— 0.22	— 0.12	— 0.17
— 4	— 0.12	— 0.14	— 0.13
0	— 0.10	— 0.10	— 0.10
+ 5	— 0.06	— 0.10	— 0.08
+ 10	— 0.02	— 0.06	— 0.04
+ 15	— 0.04	— 0.08	— 0.06
+ 20	— 0.04	— 0.06	— 0.05
+ 25	— 0.04	— 0.06	— 0.05
+ 30	— 0.06	— 0.06	— 0.06
+ 35	— 0.04	— 0.04	— 0.04
+ 40	0	0	0
+ 45	0	+ 0.04	+ 0.02

Für das benutzte Aneroidbarometer BOHNE 938 ist die Standkorrektur vor Beginn und nach Schluß der Reise ermittelt und im Mittel zu + 1.8 mm bei 0° angenommen worden. Die Temperaturkorrektur des Barometers für 1° ist nach den Untersuchungen der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT vom 24. Mai 1894:

bei 788 mm	— 0.01 mm	bei 679 mm	+ 0.03 mm
„ 761 „	0.00 „	„ 652 „	+ 0.04 „
„ 734 „	+ 0.01 „	„ 625 „	+ 0.05 „
„ 706 „	+ 0.02 „		

Da die Pendel stets unter ein und demselben Schutzkasten hingen, solange die Beobachtungen dauerten, ist von der Benutzung eines besonderen Thermometers für die Temperaturangaben der Reservependel Abstand genommen.

Ein Hygrometer ist während der Beobachtungen nicht abgelesen. Der hierdurch entstehende Fehler in den Angaben der Dichtkorrekturen kann im Mittel vernachlässigt werden.

Als Temperaturkonstanten sind die schon früher ermittelten weiter angewandt worden.\*\*\*) Sie sind in Einheiten der 7. Dezimalstelle

für Nr. 57	$44.20 \pm 0.14 \times 10^{-7}$ ,
„ „ 58	$44.90 \pm 0.12 \times 10^{-7}$ ,
„ „ 60	$44.54 \pm 0.12 \times 10^{-7}$ ,
„ „ 59	$45.02 \pm 0.14 \times 10^{-7}$ .

\*) Vergl. „Schwerkraft im Harze“, S. 119.

\*\*) „Schwerkraft im Harze“, S. 11.



Als durchschnittlicher mittlerer Fehler der Bestimmung der Temperaturkonstanten ist  $\pm 0.13 \times 10^{-7}$  angenommen.

Die Dichtekonstanten der Pendel sind im Jahre 1902 neu ermittelt worden. Bei dieser Neubestimmung ist von einem Beobachtungsschema Gebrauch gemacht, das Herr Geheimrat HELMERT früher aufgestellt hat. Es wird bei Anwendung dieses Schemas das Gewichtmaximum erreicht. Die Beobachtungen sind angestellt mit Benutzung der beiden Luftdichtekästen des Geodätischen Institutes. (Vergl. „Kolberg-Schneekoppe“, S. 98 und S. 189.)\*

Luftdruck in Kasten A.	Luftdruck in Kasten B.
$B - b$	$B - b$
$B - b$	$B + b$
$B + b$	$B + b$
$B + b$	$B - b$

Die in den beiden Kästen untergebrachten Pendel schwingen gleichzeitig. Man erhält dann für jedes Pendelpaar nach dem Schema:

$$\begin{aligned} S_a - y_a (D_0 - d) &= u + S_b - y_b (D_0 - d) + v_1 \\ S_a - y_a (D_0 - d) &= u + S_b - y_b (D_0 + d) + v_2 \\ S_a - y_a (D_0 + d) &= u + S_b - y_b (D_0 + d) + v_3 \\ S_a - y_a (D_0 + d) &= u + S_b - y_b (D_0 - d) + v_4 \end{aligned}$$

die folgenden Fehlergleichungen:

$$\begin{aligned} l_1 + x - d y_a + d y_b + v_1 &= 0 \\ l_2 + x - d y_a - d y_b + v_2 &= 0 \\ l_3 + x + d y_a - d y_b + v_3 &= 0 \\ l_4 + x + d y_a + d y_b + v_4 &= 0. \end{aligned}$$

Und daraus die Normalgleichungen:

$$\begin{aligned} 4x + [l] &= 0 \\ 4d^2 y_a + (l_1 + l_2 - l_3 - l_4) d &= 0 \\ 4d^2 y_b + (-l_1 + l_2 + l_3 - l_4) d &= 0. \end{aligned}$$

Gewichte 4,  $4d^2$ ,  $4d^2$ .

Bei Ausführung der Berechnung wurde  $D_0 = 0.950$  angenommen; so sind die folgenden Fehlergleichungen für die einzelnen Pendelpaare erhalten, wobei die Indexe der  $v$  weggelassen sind:

1. Nr. 59 und Nr. 58.

$$\begin{aligned} x - 0.246 y_{59} - 0.245 y_{58} + 276 &= v = -3.83 \\ x - 0.247 y_{59} + 0.244 y_{58} - 4 &= v = -0.70 \\ x + 0.231 y_{59} + 0.243 y_{58} - 269 &= v = -0.73 \\ x + 0.229 y_{59} - 0.234 y_{58} - 3 &= v = +5.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{58} &= 570.9 \pm 13.5 & \text{Gew. } & 0.2334 \\ y_{59} &= 563.9 \pm 13.6 & & 0.2273 \\ x &= -0.72 \pm 3.3 & & 4. \end{aligned}$$

\*) Mit diesem abgekürzten Titel wird bezeichnet: „Bestimmung der Polhöhe und der Intensität der Schwerkraft auf 22 Stationen von der Ostsee bei Kolberg bis zur Schneekoppe.“ Berlin 1896.

2. Nr. 57 und Nr. 58.

$$\begin{aligned} x + 0.242 y_{57} - 0.242 y_{58} - 21 &= v = -9.34 \\ x + 0.242 y_{57} + 0.250 y_{58} - 273 &= v = +9.36 \\ x - 0.252 y_{57} + 0.248 y_{58} + 2 &= v = -9.28 \\ x - 0.251 y_{57} - 0.250 y_{58} + 294 &= v = +9.21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{58} &= 550.2 \pm 37.7 & \text{Gew. } & 0.2451 \\ y_{57} &= 592.2 \pm 37.8 & & \text{'' } 0.2435 \\ x &= +2.03 \pm 9.3 & & \text{'' } 4 \end{aligned}$$

3. Nr. 58 und Nr. 60.

$$\begin{aligned} x - 0.258 y_{58} + 0.258 y_{60} + 10 &= v = +3.54 \\ x - 0.257 y_{58} - 0.241 y_{60} + 276 &= v = -3.45 \\ x + 0.241 y_{58} - 0.234 y_{60} - 2 &= v = +3.96 \\ x + 0.241 y_{58} + 0.266 y_{60} - 284 &= v = -3.99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{60} &= 548.2 \pm 14.9 & \text{Gew. } & 0.2499 \\ y_{58} &= 565.3 \pm 14.9 & & \text{'' } 0.2485 \\ x &= -2.05 \pm 3.7 & & \text{'' } 4 \end{aligned}$$

4. Nr. 59 und Nr. 60.

$$\begin{aligned} x - 0.248 y_{59} + 0.245 y_{60} - 6 &= v = -3.12 \\ x - 0.248 y_{59} - 0.252 y_{60} + 274 &= v = +3.08 \\ x + 0.251 y_{59} - 0.249 y_{60} &= v = -3.07 \\ x + 0.251 y_{59} + 0.249 y_{60} - 268 &= v = +3.27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{60} &= 550.9 \pm 12.6 & \text{Gew. } & 0.2475 \\ y_{59} &= 533.3 \pm 12.6 & & \text{'' } 0.2489 \\ x &= +0.17 \pm 3.1 & & \text{'' } 4 \end{aligned}$$

5. Nr. 57 und Nr. 60.

$$\begin{aligned} x - 0.229 y_{57} + 0.237 y_{60} - 6 &= v = -5.58 \\ x - 0.227 y_{57} - 0.248 y_{60} + 278 &= v = +5.62 \\ x + 0.252 y_{57} - 0.248 y_{60} - 2 &= v = -3.84 \\ x + 0.250 y_{57} + 0.242 y_{60} - 270 &= v = +3.78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{60} &= 564.3 \pm 19.7 & \text{Gew. } & 0.2376 \\ y_{57} &= 564.8 \pm 19.9 & & \text{'' } 0.2295 \\ x &= +4.10 \pm 4.8 & & \text{'' } 4 \end{aligned}$$

6. Nr. 57 und Nr. 59.

$$\begin{aligned} x - 0.227 y_{57} + 0.237 y_{59} + 7 &= v = -1.34 \\ x - 0.226 y_{57} - 0.241 y_{59} + 275 &= v = +1.44 \\ x + 0.243 y_{57} - 0.253 y_{59} - 2 &= v = -1.39 \\ x + 0.253 y_{57} + 0.241 y_{59} - 280 &= v = +1.31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_{59} &= 556.1 \pm 5.6 & \text{Gew. } & 0.2362 \\ y_{57} &= 598.8 \pm 5.8 & & \text{'' } 0.2252 \\ x &= -4.21 \pm 1.4 & & \text{'' } 4 \end{aligned}$$

Aus den vorstehenden Ergebnissen der Ausgleichung erhalten wir für die Dichtekoeffizienten der Pendel in Einheiten der 7. Dezimale der Schwingungszeit die Werte:

	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59
$l_1$	$592.2 \pm 37.8$	$570.9 \pm 13.5$	$548.2 \pm 14.9$	$563.9 \pm 13.5$
$l_2$	$564.8 \pm 19.9$	$550.2 \pm 37.8$	$550.9 \pm 12.6$	$533.3 \pm 12.6$
$l_3$	$598.8 \pm 5.8$	$565.3 \pm 14.9$	$564.3 \pm 19.7$	$556.6 \pm 5.6$





Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Relative Luftdichte	Schwingzeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduz. Schwingzeit in Sternzeitsekunden	
			Anfang	Ende	Anfang	Ende				Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Ubergang	Mit-schwingen		
Juli 21 und 22.																
57	8 <sup>h</sup> 5	28 <sup>s</sup> .189	17.5	15.0	16.54	16.56	53.4	35	0 <sup>s</sup> .50	90288	7	732	557	137	85	0 <sup>s</sup> .50
58	9.5	31.420	14.5	10.2	16.68	16.58	53.5	35	80854	4	747	530	137	85	89044	
60	10.5	31.856	15.2	12.3	16.70	16.62	53.4	34	79729	5	740	517	137	85	79625	
59	11.5	30.836	14.5	11.5	16.72	16.70	53.3	34	82410	4	752	517	137	85	78519	
															81189	82094
57	8 <sup>h</sup> 7	28.189	18.0	14.8	16.30	16.42	53.5	35	90288	7	723	557	137	85	89053	
58	9.7	31.424	15.0	12.3	16.48	16.52	53.5	35	80844	5	742	530	137	85	79619	
60	10.7	31.859	14.0	10.8	16.68	16.76	53.3	34	79722	4	745	517	137	85	78508	
59	11.7	30.833	15.0	12.5	16.78	16.92	53.2	34	82419	5	762	517	137	85	81187	82092
Schmiedeberg, Bez. Halle. Juli 26 und 27.																
57	10 <sup>h</sup> 3	28 <sup>s</sup> .193	15.0	12.5	16.36	16.40	54.7	37	0 <sup>s</sup> .50	90275	5	725	558	169	80	0 <sup>s</sup> .50
58	11.3	31.425	15.4	12.4	16.54	16.48	54.8	36	80841	5	741	531	169	80	89076	
60	12.3	31.858	16.2	12.5	16.54	16.54	54.7	36	79724	6	737	519	169	80	79653	
59	1.3	30.836	16.8	12.8	16.54	16.54	54.5	36	82410	6	745	519	169	80	78551	81229
															81229	82127
57	9.9	28.189	20.0	16.4	16.24	16.26	54.1	36	90288	9	718	558	169	80	89092	
58	10.9	31.422	16.8	12.8	16.39	16.42	54.0	36	80849	6	737	531	169	80	79664	
60	11.9	31.856	15.3	12.5	16.54	16.52	53.8	35	79729	5	736	518	169	80	78559	
59	12.9	30.833	15.8	12.5	16.62	16.62	53.7	35	82419	5	748	518	169	80	81237	82138
Düben. Juli 29 und 30.																
57	10 <sup>h</sup> 5	28 <sup>s</sup> .158	17.0	12.8	18.74	18.80	53.7	28	0 <sup>s</sup> .50	90390	6	830	553	188	64	0 <sup>s</sup> .50
58	11.5	31.386	13.8	10.6	18.92	18.92	53.6	27	80943	4	850	526	188	64	89125	
60	12.5	31.819	15.0	12.3	19.00	18.96	53.4	27	79824	5	845	514	188	64	79687	
59	1.5	30.801	15.0	11.8	18.94	18.90	53.1	27	82505	5	851	514	188	64	78584	81259
															81259	82164
57	9.5	28.164	18.8	15.0	18.18	18.18	50.1	25	90370	8	804	551	188	64	89131	
58	10.5	31.393	15.5	12.7	18.34	18.38	50.0	25	80924	5	824	524	188	64	79695	
60	11.5	31.824	15.3	12.5	18.50	18.54	49.7	24	79811	5	825	512	188	64	78593	
59	12.5	30.802	15.0	12.3	18.64	18.72	49.6	24	82503	5	841	512	188	64	81269	82172
Juli 30 und 31.																
57	8 <sup>h</sup> 0	28 <sup>s</sup> .153	18.0	15.0	18.82	18.86	50.2	23	0 <sup>s</sup> .50	90406	7	833	550	181	64	0 <sup>s</sup> .50
58	9.0	31.386	14.1	12.9	19.04	19.02	51.1	24	80943	5	855	523	181	64	89133	
60	10.0	31.812	13.9	11.3	19.12	19.12	51.8	24	79842	4	852	512	181	64	79677	
59	11.0	30.795	14.3	12.0	19.12	19.12	52.2	25	82521	5	861	512	181	64	78591	81260
															81260	82165
57	8 <sup>h</sup> 0	28.161	20.0	14.5	18.12	18.10	55.1	32	90380	8	800	555	181	64	89134	
58	9.0	31.386	14.0	11.3	18.14	18.14	55.2	32	80943	4	815	528	181	64	79713	
60	10.0	31.825	13.8	11.3	18.14	18.31	55.2	31	79808	4	812	516	181	64	78593	
59	11.0	30.801	14.5	11.3	18.38	18.37	55.1	31	82505	5	828	516	181	64	81273	82178

Pendel Nr.	Genüheres Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koin- ziden- zen- inter- vall	Aus Schlag in Bogen- minuten am		Pendel- temperatur am		Luft- druck 750 <sup>mm</sup> +	Rela- tive Luft- dichte	Schwing- zeit in Uhrzeit- sekunden	Korrek tionen wegen					Reduz. Schwing- zeit in Sternzeit- sekunden
			An- fang	En- de	Anfang	Ende				Ausschlag	Tempe- ratur	Luft- dichte	Uhr- gang	Mit- schwin- gen	
<b>Eilenburg. August 2 und 3.</b>															
					+	+		0.9	0 <sup>s</sup> .50	—	—	—	+	—	<b>0<sup>s</sup>.50</b>
57	9 <sup>p</sup> .8	28 <sup>s</sup> .153	19 <sup>p</sup> .8	15 <sup>p</sup> .5	17 <sup>o</sup> .82	17 <sup>o</sup> .79	51.4	28	90406	8	787	553	175	47	89186
58	10.8	31.377	17.4	13.8	17.86	17.74	51.4	28	80967	7	799	526	175	47	79763
60	11.8	31.808	17.0	13.3	17.82	17.72	51.5	28	79852	6	791	514	175	47	78669
59	12.8	30.794	16.9	12.8	17.72	17.68	51.8	29	82524	6	797	515	175	47	81334 <b>82238</b>
57	8.6	28.160	17.3	13.5	17.19	17.26	51.7	30	90383	6	763	554	175	47	89188
58	9.6	31.385	14.4	11.3	17.38	17.38	51.5	30	80945	4	780	527	175	47	79762
60	10.6	31.817	15.8	12.5	17.48	17.50	51.2	29	79829	5	780	515	175	47	78657
59	11.6	30.799	15.8	12.5	17.58	17.58	50.8	28	82511	5	791	514	175	47	81329 <b>82234</b>
<b>Delitzsch. August 7 und 8.</b>															
					+	+		0.9	0 <sup>s</sup> .50	—	—	—	+	—	<b>0<sup>s</sup>.50</b>
57	10 <sup>p</sup> .6	28 <sup>s</sup> .176	15 <sup>o</sup> .0	12.2	17 <sup>o</sup> .76	17 <sup>o</sup> .78	56.5	34	90331	5	785	557	243	68	89159
58	11.6	31.405	12.9	10.3	17.88	17.94	56.4	34	80893	4	804	530	243	68	79730
60	12.5	31.836	12.8	10.5	18.04	17.94	56.4	34	79780	4	801	517	243	68	78633
59	1.5	30.817	13.0	10.3	18.06	18.00	56.3	33	82462	4	812	517	243	68	81304 <b>82207</b>
57	9.6	28.178	17.4	13.8	17.46	17.54	56.4	35	90325	6	784	557	243	68	89153
58	10.6	31.406	13.5	10.6	17.70	17.76	56.3	34	80890	4	786	530	243	68	79745
60	11.6	31.839	12.5	10.0	17.88	17.98	56.2	34	79773	4	799	517	243	68	78628
59	12.6	30.816	13.3	10.3	18.04	18.04	56.0	33	82465	4	812	517	243	68	81307 <b>82208</b>
<b>Zöribg. August 10 und 11.</b>															
					+	+		0.9	0 <sup>s</sup> .50	—	—	—	+	—	<b>0<sup>s</sup>.50</b>
57	10 <sup>p</sup> .0	28 <sup>s</sup> .149	16 <sup>p</sup> .4	13.3	19 <sup>o</sup> .52	19 <sup>o</sup> .44	52.2	24	90419	6	861	551	145	74	89072
58	11.0	31.376	14.3	10.8	19.56	19.46	52.0	23	80969	4	876	523	145	74	79637
60	12 <sup>p</sup> .0	31.807	13.3	10.5	19.52	19.48	51.8	23	79854	4	869	511	145	74	78541
59	1.0	30.788	13.3	10.5	19.52	19.50	52.3	24	82543	4	878	512	145	74	81220 <b>82118</b>
57	9.5	28.156	17.0	13.8	18.92	18.98	53.1	26	90396	6	838	552	145	74	89071
58	10.5	31.378	13.3	10.5	19.12	19.16	53.0	26	80964	4	859	525	145	74	79647
60	11.5	31.811	12.9	10.4	19.19	19.16	52.9	26	79844	4	854	513	145	74	78544
59	12.5	30.792	14.9	12.1	19.26	19.24	52.8	25	82531	5	867	512	145	74	81218 <b>82120</b>
<b>August 11 und 12.</b>															
					+	+		0.9	0 <sup>s</sup> .50	—	—	—	+	—	<b>0<sup>s</sup>.50</b>
57	8 <sup>p</sup> .0	28 <sup>s</sup> .154	17 <sup>o</sup> .0	13.6	18 <sup>o</sup> .98	18 <sup>o</sup> .98	52.5	26	90403	6	839	552	143	74	89075
58	9.5	31.378	17.4	13.5	18.98	18.98	53.8	27	80964	6	852	526	143	74	79649
60	10.5	31.812	16.3	12.5	19.00	18.94	54.0	27	79842	6	845	514	143	74	78546
59	11.5	30.795	15.6	12.5	18.98	18.94	54.4	28	82521	5	854	514	143	74	81217 <b>82122</b>
57	9 <sup>p</sup> .0	28.158	16.4	12.5	18.58	18.62	56.9	32	90390	6	822	555	143	74	89076
58	11.0	31.379	16.8	12.5	18.74	18.78	57.3	32	80962	6	842	528	143	74	79655
60	12 <sup>p</sup> .0	31.812	16.0	12.5	18.86	18.88	57.6	32	79842	5	840	516	143	74	78550
59	1.0	30.793	15.3	12.5	18.94	18.98	57.9	32	82527	5	854	516	143	74	81221 <b>82126</b>

Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzen-intervall	Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftdruck 700 <sup>mm</sup>	Relative Luftdichte	Schwingzeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduz. Schwingzeit in Sternzeitsekunden	
			Anfang	Ende	Anfang	Ende				Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhrgang	Mit-schwingen		
<b>Wettin. August 15 und 16.</b>																
57	9.6	28.140	17.0	13.3	18.94	18.86	54.5	28	0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
58	10.6	31.362	17.3	13.3	18.81	18.64	54.3	29		90449	7	835	553	68	68	89054
60	11.6	31.797	17.3	13.2	18.54	18.40	54.0	29		81006	8	841	527	68	68	79630
59	12.6	30.786	17.1	13.3	18.32	18.26	53.8	29		79880	7	823	515	68	68	78535
										82546	7	824	515	68	68	81200
																<b>82105</b>
57	8.9	28.161	19.5	15.5	17.60	17.72	52.8	30		90380	10	781	554	68	68	89035
58	9.9	31.380	17.5	13.6	17.99	18.14	52.7	29		80959	8	811	527	68	68	79613
60	10.9	31.805	17.1	13.1	18.39	18.44	53.0	28		79859	7	820	514	68	68	78518
59	11.9	30.784	17.0	13.1	18.61	18.59	53.3	28		82552	7	837	514	68	68	81194
																<b>82090</b>
<b>August 16 und 17.</b>																
57	8.6	28.145	19.3	15.2	18.48	18.44	54.0	29	0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
58	9.6	31.360	17.4	13.6	18.52	18.48	54.3	29		90432	9	815	554	68	68	89054
60	10.6	31.792	17.0	13.3	18.54	18.48	54.5	30		81011	8	831	527	68	68	79645
59	11.6	30.780	17.0	13.3	18.54	18.48	54.6	30		79893	7	825	515	68	68	78546
										82563	7	833	515	68	68	81208
																<b>82113</b>
57	8.8	28.160	16.5	15.0	17.30	17.30	55.9	35		90383	9	765	557	68	68	89052
58	9.8	31.381	17.4	13.6	17.39	17.40	56.1	35		80956	8	781	530	68	68	79637
60	10.8	31.813	16.8	13.0	17.46	17.46	56.3	35		79839	7	778	518	68	68	78536
59	11.8	30.795	16.8	13.1	17.56	17.54	56.2	35		82521	7	790	518	68	68	81206
																<b>82108</b>
<b>Halle a. S. August 19 und 20.</b>																
57	8.2	28.164	22.0	17.5	19.90	19.82	55.6	27	0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
58	9.2	31.386	20.1	15.9	19.88	19.78	55.9	27		90370	11	878	552	154	64	89019
60	10.2	31.822	18.0	15.0	19.70	19.58	56.3	28		80943	9	890	526	154	64	79608
59	11.2	30.806	17.5	14.5	19.58	19.50	56.4	29		79816	8	875	514	154	64	78509
										82492	7	878	515	154	64	81182
																<b>82080</b>
57	8.3	28.180	22.0	17.5	17.48	17.52	56.0	35		90318	8	774	557	154	64	89069
58	9.3	31.411	20.1	15.6	17.64	17.70	56.0	34		80877	9	793	530	154	64	79635
60	10.3	31.844	19.0	15.0	17.82	17.82	55.9	34		79760	8	794	517	154	64	78531
59	11.3	30.817	19.5	15.5	17.94	17.90	55.7	33		82462	8	806	517	154	64	81221
																<b>82114</b>
<b>August 20 und 21.</b>																
57	7.8	28.176	21.9	17.6	17.66	17.72	53.6	31	0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
58	8.8	31.399	20.1	15.4	17.88	17.96	53.8	31		90331	8	782	555	153	64	89075
60	9.8	31.840	18.8	14.9	18.02	17.94	53.9	31		80909	9	805	528	153	64	79656
59	10.8	30.817	18.5	14.9	18.04	17.98	54.5	31		79770	8	801	516	153	64	78534
										82462	8	811	516	153	64	81216
																<b>82120</b>
57	8.2	28.175	22.0	17.5	17.68	17.69	58.1	37		90334	11	782	558	153	64	89072
58	9.2	31.399	19.3	15.0	17.80	17.80	58.5	37		80909	8	799	531	153	64	79660
60	10.2	31.836	19.0	14.9	17.88	17.84	58.7	37		79780	8	795	519	153	64	78547
59	11.2	30.816	18.1	14.9	17.91	17.92	58.8	37		82465	8	807	519	153	64	81220
																<b>82125</b>

Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall		Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Relative Luftdichte	Schwingzeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduz. Schwingzeit in Sternzeitsekunden
		Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende				Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhrgang	Mittelschwingen	
<b>Merseburg. August 23 und 24.</b>																
57	9 <sup>h</sup> 5	28 <sup>s</sup> 146	17'8	14'8	19'80	19'90	52.4	0.9	0 <sup>s</sup> 50	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50	
58	10.5	31.361	14.8	12.0	20.10	20.20	52.9	23	90429	7	877	550	150	48	89097	
60	11.5	31.791	14.5	11.5	20.31	20.36	53.1	22	81008	5	907	523	150	48	79675	
59	12 <sup>h</sup> 5	30.771	14.5	11.8	20.42	20.40	52.9	22	79895	5	907	511	150	48	78574	
									82587	5	918	511	150	48	81255	
															<b>82150</b>	
57	9.4	28.145	17.8	14.8	19.68	19.64	53.3	24	90432	7	869	551	150	48	89107	
58	10.4	31.364	14.8	11.4	19.82	19.86	53.3	24	81001	5	891	524	150	48	79683	
60	11.4	31.797	14.5	11.3	19.90	19.92	53.3	24	79880	5	887	512	150	48	78578	
59	12 <sup>h</sup> 4	30.778	14.5	11.6	19.94	19.94	53.0	23	82568	5	898	512	150	48	81255	
															<b>82156</b>	
<b>Leipzig. August 27 und 28.</b>																
57	6 <sup>h</sup> 0	28 <sup>s</sup> 221	15'9	12'5	16 <sup>s</sup> 50	16 <sup>s</sup> 52	49.2	0.9	0 <sup>s</sup> 50	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50	
58	6.8	31.466	12.8	10.3	16.58	16.58	49.3	30	90185	5	730	554	321	46	89171	
60	7.6	31.892	13.9	10.9	16.70	16.74	49.4	29	80733	4	745	527	321	46	79732	
59	8.6	30.877	17.6	14.2	16.78	16.78	49.5	29	79638	4	745	515	321	46	78649	
									82299	6	755	515	321	46	81298	
															<b>82213</b>	
57	6 <sup>h</sup> 0	28 213	15.0	11.0	16.22	16.29	47.5	28	90210	5	719	553	321	46	89208	
58	7 0	31.452	12.5	9.8	16.36	16.38	47.1	27	80770	4	735	526	321	46	79780	
60	8.0	31.892	15.0	12.3	16.56	16.56	46.6	26	79638	5	738	513	321	46	78657	
59	9.0	30.885	14.3	10.6	16.64	16.62	46.3	26	82277	4	749	513	321	46	81286	
															<b>82233</b>	
<b>August 28 und 29.</b>																
57	5 <sup>h</sup> 0	28 <sup>s</sup> 217	17'5	14'0	16 <sup>s</sup> 70	16 <sup>s</sup> 74	42.7	0.9	0 <sup>s</sup> 50	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50	
58	6.0	31.453	15.0	12.5	16.80	16.76	42.2	20	90198	6	739	549	308	46	89166	
60	7.0	31.892	15.1	12.6	16.90	16.86	41.5	19	80767	5	753	522	308	46	79749	
59	8.0	30.877	14.9	11.9	16.96	16.92	40.7	18	79638	5	752	509	308	46	78634	
									82299	5	763	509	308	46	81284	
															<b>82208</b>	
57	6 <sup>h</sup> 0	28.217	20.0	17.4	16.38	16.38	36.6	14	90198	10	724	545	308	46	89181	
58	7.0	31.464	14.0	12.6	16.46	16.46	36.7	14	80739	5	739	518	308	46	79739	
60	8.0	31.899	15.0	12.0	16.56	16.58	36.5	13	79621	5	738	506	308	46	78634	
59	9.0	30.888	12.6	10.0	16.60	16.58	36.3	13	82269	4	747	506	308	46	81274	
															<b>82207</b>	
<b>August 29 und 30.</b>																
57	5 <sup>h</sup> 0	28 <sup>s</sup> 216	17'0	14'1	16 <sup>s</sup> 54	16 <sup>s</sup> 66	35.0	0.9	0 <sup>s</sup> 50	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50	
58	6.0	31.453	12.8	10.1	16.72	16.70	34.9	11	90201	6	734	544	297	46	89168	
60	7.0	31.872	13.0	11.5	16.78	16.78	34.7	11	80767	4	749	517	297	46	79748	
59	8.8	31.887	14.0	10.8	16.78	16.78	34.7	11	79689	4	747	505	297	46	78684	
									82315	4	747	505	297	46	78646	
															81300	
															<b>82220</b>	

\*)

\*) Die Werte des Pendels sind gemittelt bei der Bildung des Reihenmittels. Die eingeklammerte Beobachtung gestört durch vorbeifahrende Wagen. Die Störung zeigt sich deutlich in der ungewöhnlichen Amplitudenabnahme.







Pendel Nr.	Gemählertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Relative Luftdichte	Schwingzeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduz. Schwingzeit in Sternzeitsekunden
			Anfang	Ende	Anfang	Ende				Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhrgang	Mit-schwingen	
4. Oktober 4 und 5.														<b>0<sup>h</sup>50</b>	
57	4 <sup>h</sup> 8	28 <sup>s</sup> .229	19.0	15.1	14.07	14.12	41.8	28	0 <sup>m</sup> 50	8	623	553	19	59	88896
58	5.8	31.458	17.2	13.1	14.14	14.18	41.1	27	80754	6	636	526	19	59	79508
60	6.8	31.894	18.2	15.0	14.32	14.28	40.2	25	79633	7	637	512	19	59	78399
59	7.8	30.870	16.8	12.5	14.34	14.30	39.2	24	82318	7	645	512	19	59	81076
														<b>81970</b>	
57	9 <sup>h</sup> 0	28.226	20.1	16.3	14.04	14.09	35.8	21	90168	9	622	549	19	59	88910
58	10.0	31.460	17.4	14.4	14.16	14.18	35.7	20	80749	7	636	522	19	59	79506
60	11.0	31.896	17.5	12.5	14.24	14.28	35.7	20	79628	5	635	510	19	59	78400
59	12 <sup>h</sup> 0	30.871	15.3	12.3	14.36	14.28	35.6	19	82315	5	645	509	19	59	81078
														<b>81974</b>	

Aus der Summe der Fehlerquadrate der Schwingungszeiten der einzelnen Pendel in der Tabelle der beiden folgenden Seiten erhält man bei 60 Einzelbeobachtungen in 30 Gruppenmitteln als durchschnittliche mittlere Fehler für die Beobachtung einer Schwingungszeit:

$$\begin{aligned}
 m'_{57} &= \pm 11.0 \times 10^{-7} & m'_{58} &= \pm 10.7 \times 10^{-7} \\
 m'_{60} &= \pm 7.4 \times 10^{-7} & m'_{59} &= \pm 8.7 \times 10^{-7};
 \end{aligned}$$

der durchschnittliche mittlere Fehler einer Beobachtung also  $= \pm 9.5 \times 10^{-7}$ .

Und als durchschnittlichen mittleren Fehler des Mittels aus zwei um etwa 12 Stunden auseinanderliegenden Beobachtungen:

$$\begin{aligned}
 m_{57} &= \pm 7.8 \times 10^{-7} & m_{58} &= \pm 7.6 \times 10^{-7} \\
 m_{60} &= \pm 5.2 \times 10^{-7} & m_{59} &= \pm 6.2 \times 10^{-7}.
 \end{aligned}$$

Der mittlere Fehler einer Reihe von vier Pendeln, abgeleitet aus der inneren Übereinstimmung der beiden an jedem Tage beobachteten, ist

$$m'_{II} = \pm 6.8 \times 10^{-7},$$

und des Mittels aus den beiden Tagesreihen

$$m_{II} = \pm 4.8 \times 10^{-7}.$$

Reduziert man die Schwingungszeiten auf die Mitte der Beobachtungszeit, indem man die ersten beiden Abendpendel mit den letzten beiden Morgenpendeln und die letzten beiden Abendpendel mit den ersten beiden Morgenpendeln zu Reihen zusammenfaßt, so erhält man als mittleren Fehler einer Reihe

$$m'_I = \pm 3.8 \times 10^{-7},$$

und wieder als mittleren Fehler aus zwei Tagesreihen

$$m_I = \pm 2.7 \times 10^{-7}.$$

Zusammenstellung der

Nr.	Station	Nummer der Beob- achtung	Nr. 57		Nr. 58	
			Schwingungs- zeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungs- zeit	[ <i>vv</i> ]
	Potsdam .....	1	0. <sup>s</sup> 5088899	313	0. <sup>s</sup> 5079511	2
		2	0.5088887	72	0.5079497	13
		3	0.5088884	61	0.5079501	25
		4	0.5088892	113	0.5079491	1
		5	0.5088896	1	0.5079504	2
			<u>0.5088892</u>		<u>0.5079501</u>	
1	Gräfenhainichen .....	1	0.5089042	41	0.5079618	2
		2	0.5089049	41	0.5079622	18
			<u>0.5089046</u>		<u>0.5079620</u>	
2	Schmiedeberg, Bez. Halle		0.5089084	128	0.5079659	61
3	Düben .....	1	0.5089128	18	0.5079691	32
		2	0.5089134	1	0.5079695	648
			<u>0.5089131</u>		<u>0.5079693</u>	
4	Eilenburg .....		0.5089187	2	0.5079763	1
5	Delitzsch .....		0.5089156	18	0.5079738	113
6	Zörbig .....	1	0.5089072	1	0.5079642	50
		2	0.5089076	1	0.5079652	18
			<u>0.5089074</u>		<u>0.5079647</u>	
7	Wettin .....	1	0.5089045	181	0.5079622	145
		2	0.5089053	2	0.5079641	32
			<u>0.5089049</u>		<u>0.5079632</u>	
8	Halle a. S. ....	1	0.5089044	1250	0.5079622	365
		2	0.5089074	5	0.5079658	8
			<u>0.5089059</u>		<u>0.5079640</u>	
9	Merseburg .....		0.5089102	50	0.5079679	32
10	Leipzig .....	1	0.5089190	685	0.5079756	1152
		2	0.5089174	113	0.5079744	50
		3	0.5089159	181	0.5079758	181
			<u>0.5089174</u>		<u>0.5079753</u>	
11	Naumburg a. S. ....	1	0.5089215	1	0.5079795	113
		2	0.5089211	50	0.5079795	32
			<u>0.5089213</u>		<u>0.5079795</u>	
12	Jena .....	1	0.5089311	113	0.5079894	41
		2	0.5089315	32	0.5079903	1
			<u>0.5089313</u>		<u>0.5079899</u>	
	Potsdam .....	1	0.5088915	8	0.5079501	25
		2	0.5088907	5	0.5079496	288
		3	0.5088908	18	0.5079506	1
		4	0.5088903	98	0.5079507	2
			<u>0.5088908</u>		<u>0.5079503</u>	
Summe der Fehlerquadrate:				3603		3454

*Pendelbeobachtungen.*

Nr. 60		Nr. 59		Mittleres Pendel			Anzahl der Beobachtung.
Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ] I	[ <i>vv</i> ] II	
0. <sup>8</sup> 5078402	0	0. <sup>8</sup> 5081056	98	0. <sup>8</sup> 5081967	8	50	2
0.5078402	2	0.5081087	5	0.5081968	18	5	2
0.5078395	25	0.5081081	72	0.5081965	0	50	2
0.5078401	50	0.5081074	25	0.5081964	5	8	2
0.5078408	1	0.5081082	41	0.5081972	5	2	2
<u>0.5078402</u>		<u>0.5081076</u>		<u>0.5081967</u>			
0.5078510	72	0.5081185	5	0.5082089	8	1	2
0.5078514	61	0.5081188	2	0.5082093	8	2	2
<u>0.5078512</u>		<u>0.5081187</u>		<u>0.5082091</u>			
0.5078555	32	0.5081233	32	0.5082133	2	61	2
0.5078589	41	0.5081264	50	0.5082168	2	32	2
0.5078592	2	0.5081267	85	0.5082172	18	85	2
<u>0.5078591</u>		<u>0.5081266</u>		<u>0.5082170</u>			
0.5078663	72	0.5081332	13	0.5082236	8	8	2
0.5078631	13	0.5081306	5	0.5082208	5	1	2
0.5078543	5	0.5081219	2	0.5082119	2	2	2
0.5078548	8	0.5081219	8	0.5082124	0	8	2
<u>0.5078546</u>		<u>0.5081219</u>		<u>0.5082122</u>			
0.5078527	145	0.5081197	18	0.5082098	5	113	2
0.5078541	50	0.5081207	2	0.5082111	1	13	2
<u>0.5078534</u>		<u>0.5081202</u>		<u>0.5082105</u>			
0.5078520	242	0.5081202	761	0.5082097	8	578	2
0.5078541	85	0.5081218	8	0.5082123	8	13	2
<u>0.5078531</u>		<u>0.5081210</u>		<u>0.5082110</u>			
0.5078576	8	0.5081255	0	0.5082153	8	18	2
0.5078653	32	0.5081292	72	0.5082223	242	200	2
0.5078634	0	0.5081279	50	0.5082208	8	1	2
0.5078648	613	0.5081312	288	0.5082219	2	2	2
<u>0.5078645</u>		<u>0.5081294</u>		<u>0.5082217</u>			
0.5078690	2	0.5081334	0	0.5082259	5	13	2
0.5078693	1	0.5081352	421	0.5082263	5	72	2
<u>0.5078692</u>		<u>0.5081343</u>		<u>0.5082261</u>			
0.5078788	25	0.5081453	1	0.5082361	8	32	2
0.5078792	13	0.5081467	0	0.5082369	8	1	2
<u>0.5078790</u>		<u>0.5081460</u>		<u>0.5082365</u>			
0.5078405	18	0.5081073	0	0.5081974	1	5	2
0.5078401	1	0.5081072	61	0.5081969	32	2	2
0.5078401	2	0.5081068	145	0.5081971	2	13	2
0.5078400	1	0.5081077	2	0.5081972	2	8	2
<u>0.5078402</u>		<u>0.5081073</u>		<u>0.5081972</u>			
	1622		2272		434	1399	60

Während der mittlere Fehler  $m_{II}$  voll von den Schwankungen des täglichen Ganges der Beobachtungsuhr und nicht ausgeglichener Temperatur beeinflusst wird, ist der mittlere Fehler  $m_I$  wesentlich freier von diesen systematisch wirkenden Einflüssen. Man erhält eine Vorstellung von der Größe dieser Einflüsse, indem man bildet:

$$m_{st} = \pm \sqrt{4.8^2 - 2.7^2} \times 10^{-7} = \pm 4.0 \times 10^{-7}.$$

Den Hauptanteil an der Größe des mittleren Fehlers  $m_I = \pm 2.9$  haben die beiden ersten Reihen in Leipzig, deren Fehlerquadrat beinahe die Hälfte der Summe aller ausmacht. Es hat den Anschein, daß in Leipzig die Uhr bei der ersten Beobachtungsreihe ihren Gang noch nicht genügend ausgeglichen hatte.

Läßt man den einen auffallenden Wert in Leipzig fort, so erhält man

$$\begin{aligned} m'_I &= \pm 2.6 \times 10^{-7} \\ m_I &= \pm 1.8 \times 10^{-7}, \end{aligned}$$

welche Werte den mit den gleichen Pendeln und unter den gleichen Bedingungen in den Jahren 1899 bis 1903 erhaltenen nahe kommen.

Es war nach „*Schwerkraft im Harze*“

1899	$m_I = \pm 2.8 \times 10^{-7}$	(S. 21)
1900	$= \pm 2.8$	(„ 52)
1901	$= \pm 2.4$	(„ 74)
1902	$= \pm 2.2$	(„ 103)
1903	$= \pm 1.7$	(„ 125)

Die Übereinstimmung der Größen der mittleren Fehler zeigt den in allen Jahren genügenden regelmäßigen Gang der Beobachtungsuhr.

Die wenig gute Übereinstimmung der einzelnen Beobachtungen in *Leipzig* rührt von der Aufstellung des Pendelapparates in dem für Pendelbeobachtungen nicht geeigneten Komparatorkeller der Sternwarte her. Der Boden des Kellers wird durch die zu allen Zeiten auf dem schlechten Pflaster vor der Sternwarte vorbeifahrenden Wagen stets stark erschüttert. Zuweilen mußte wegen solcher Störungen mitten in einer Reihe aufgehört oder eine schon vollendete wiederholt werden. Am dritten Beobachtungstage sind die in der allgemeinen Übersichtstabelle Seite 21 eingeklammerten Werte unsicher. Sie sind aber trotzdem mit den neu ermittelten Werten zu einfachem Mittel vereinigt und dann mit einfachem Gewicht in den Sätzen mitgenommen. Daß die Endwerte in *Leipzig* trotzdem genügend sind, geht aus der befriedigenden Übereinstimmung der drei Tageswerte hervor.

Für die stark abweichenden Werte der Schwingungszeiten der Pendel am ersten Beobachtungstage in *Halle a. S.* kann eine genügende Aufklärung nicht gegeben werden. Die täglichen Gänge der Beobachtungsuhr zeigen eine gute Übereinstimmung, sodaß die Abweichungen der Abendreihe des ersten

Beobachtungstages nur in dem Verhalten der Pendel oder der Temperatur gesucht werden müßten. Die Pendel hingen vor Beginn der Beobachtungen etwa 4 Stunden unter dem Schutzkasten. Es ist aber dennoch möglich, daß die Temperatur noch nicht genügend ausgeglichen war.

Für die Genauigkeitsberechnung der Pendelbeobachtungen werden wir den mittleren Fehler  $m_{II} = \pm 4.8 \times 10^{-7}$  für die Beobachtungen auf einer Feldstation annehmen.

**§ 6. Der Temperaturausgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten.**

In den Tabellen sind die Mittelwerte der Doppelreihen der einzelnen Pendel nach den Angaben des Pendelthermometers dargestellt.

*Übersicht der Mitteltemperaturen der Pendel.*

Station	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59	$M_P$	Station	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59	$M_P$		
Potsdam . . . . .	1	15.78	15.87	15.92	15.93	15.88	Halle a. S. . . . .	19.86	19.83	19.64	19.54	19.72	
		15.74	15.81	15.90	15.94	15.85		17.50	17.67	17.82	17.92	17.73	
		16.19	16.28	16.33	16.38	16.30		2	17.69	17.92	17.98	18.01	17.90
	2	16.19	16.28	16.34	16.38	16.30	Merseburg . . . . .	19.85	20.15	20.34	20.41	20.19	
		16.36	16.44	16.53	16.60	16.48		19.66	19.84	19.91	19.94	19.84	
	3	16.40	16.46	16.55	16.57	16.50	Leipzig . . . . .	16.51	16.58	16.72	16.78	16.65	
		16.37	16.45	16.56	16.63	16.50		16.26	16.37	16.56	16.63	16.46	
	4	16.60	16.75	16.82	16.85	16.76		2	16.72	16.78	16.88	16.94	16.83
		16.92	16.93	16.96	16.99	16.95		3	16.38	16.46	16.57	16.59	16.50
	5	16.74	16.82	16.86	16.88	16.83		16.24	16.41	16.54	16.54	16.43	
	Gräfenhainichen	16.42	16.51	16.61	16.52	16.52	Naumburg a. S.	15.89	15.94	16.04	16.16	16.01	
		16.29	16.39	16.62	16.73	16.51		15.96	16.08	16.18	16.21	16.11	
		16.55	16.63	16.66	16.71	16.64		2	16.31	16.43	16.56	16.70	16.50
		16.36	16.50	16.72	16.85	16.61		16.34	16.40	16.50	16.58	16.46	
	Schmiedeberg, Bez. Halle	16.38	16.51	16.54	16.54	16.49	Jena . . . . .	15.45	15.57	15.61	15.58	15.55	
16.25		16.41	16.53	16.62	16.45	15.30		15.56	15.73	15.86	15.61		
Düben . . . . .	18.77	18.92	18.98	18.92	18.90	2	15.94	16.04	16.18	16.23	16.10		
	18.18	18.36	18.52	18.68	18.44	15.76	15.97	16.23	16.27	16.06			
Eilenburg . . . . .	18.84	19.03	19.12	19.12	19.03	Potsdam . . . . .	14.54	14.62	14.69	14.74	14.65		
	18.11	18.14	18.23	18.38	18.22		14.39	14.50	14.58	14.60	14.52		
Eilenburg . . . . .	17.81	17.80	17.77	17.70	17.77	2	14.57	14.68	14.77	14.76	14.70		
	17.23	17.38	17.49	17.58	17.42	3	14.62	14.72	14.79	14.87	14.75		
Delitzsch . . . . .	17.77	17.91	17.99	18.03	17.93	Zörbig . . . . .	14.03	14.19	14.27	14.33	14.21		
	17.50	17.73	17.93	18.04	17.80		13.84	13.96	13.99	14.13	13.98		
Zörbig . . . . .	19.48	19.51	19.50	19.51	19.50		4	14.10	14.16	14.30	14.32	14.22	
	18.95	19.14	19.18	19.25	19.13		14.07	14.17	14.26	14.32	14.21		
Wettin . . . . .	18.98	18.98	18.97	18.96	18.97	Wettin . . . . .	18.90	18.73	18.47	18.29	18.60		
	18.60	18.76	18.87	18.96	18.80		17.66	18.07	18.42	18.60	18.19		
Wettin . . . . .	18.46	18.50	18.51	18.51	18.50	2	17.30	17.40	17.46	17.55	17.43		
	17.30	17.40	17.46	17.55	17.43								

Die vorstehende Tabelle zeigt eine gute Übereinstimmung der Temperaturen während der Beobachtungsdauer auf den einzelnen Stationen. Nur Halle zeigt am ersten Beobachtungstage einen Unterschied von etwa 2° zwischen Abend- und Morgenbeobachtungen. Es ist darauf schon bei Betrachtung der Schwingungszeiten der Pendel auf S. 26 u. 27 aufmerksam gemacht.

Der Einfluß des dynamischen Temperaturkoeffizienten  $25^s \times 10^{-7}$  der Schwingungszeit eines Pendels für eine Temperaturänderung von einem Grad in einer Stunde (Vergl. „Kolberg—Schneekoppe“, S. 152 f.), ergibt sich aus der folgenden Tabelle:

*Dynamische Temperaturkorrektur für die Schwingungszeiten der Pendel.*  
(In Einheiten der 7. Dezimalstelle.)

Station	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59	$M_P$	Stations- mittel für $M_P$	Station	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59	$M_P$	Stations- mittel für $M_P$	
Potsdam.....	-2 0 +1 +1 +2 0 -3 +4 -2 0	-2 0 +1 0 0 -1 -1 +1 -1 0	-2 0 0 0 -1 -1 -1 0 -1 0	-1 0 -1 -1 -2 -1 -1 +1 -1 0	-2 0 0 -1 -1 -2 +1 -1 -1 0	-0.5		Halle a. S....	-4 +2 +3 0	-5 +3 +4 0	-6 0 -4 -2	-4 -2 -3 0	-5 +1 0 -1	-1.3
Gräfenhainichen	-2 +1 +1 +6	+1 +6 -5 +2	-8 +4 -4 +4	-2 +1 -1 +7	-3 +3 -2 +5	+0.8		Merseburg....	+5 -2	+5 -2	+2 +1	-1 0	+3 -1	+1.0
Schmiedeberg..	+1 +1	-3 -1	0 -1	0 0	-1 0	-0.5		Leipzig .....	+1 +4 +2 0 +4 +2	0 0 -2 0 -1 -3	+2 0 -2 +1 0 0	0 -1 -2 +1 0 0	+1 +1 +1 0 +1 0	+0.3
Düben.....	+3 0 +2 -1	0 +2 -1 0	-2 +2 0 +8	-2 +4 0 +2	0 +2 0 +2	+1.0		Naumburg a. S.	+3 +2 +3 +4	0 +2 +5 -2	+4 0 +4 +4	+2 +1 0 +2	+2 +1 +3 +2	+2.0
Eilenburg.....	-1 +4	-6 0	-5 +1	-2 0	-4 +1	-1.5		Jena.....	-1 +2 +2 0	+1 0 0 +1	-3 +5 0 +1	0 -2 -1 +2	-1 +1 0 +1	+0.3
Delitzsch .....	+1 +4	+3 +3	-5 +5	-3 0	-1 +3	+1.0		Potsdam .....	0 0 +1 +2 +3 +4 +3 +3 +3	0 0 0 +2 +1 0 0 +1	-1 0 -1 +1 +1 -1 -2 +2	-2 +2 +1 -3 -1 -2 -2 -4	-1 +1 +1 0 +1 +1 0 +1	+0.5
Zörbig.....	-4 +3 0 +2	-5 +2 0 +2	-2 -1 -3 +1	-1 +1 -2 +2	-3 +1 -1 +2	-0.3		Wettin .....	-4 +6 -2 0	-8 +7 -2 0	-3 +2 -3 -3	-3 -1 -3 -3	-5 +4 -3 -3	-1.0

Die Korrekturen sind geringfügig und werden nur in der Genauigkeitsberechnung berücksichtigt werden.



Um den Einfluß der Unsicherheit in der Bestimmung der Temperaturkonstanten auf den Unterschied der Schwingungszeiten der Pendel auf einer Feldstation gegen Potsdam zu finden, bildet man für Potsdam und die Feldstationen die Mitteltemperaturen. Aus den Unterschieden der Werte in Potsdam und auf den Feldstationen erhält man mit dem S. 13 abgeleiteten mittleren Fehler der Temperaturkoeffizienten als durchschnittlichen mittleren Anteil dieser Fehlerquelle:

$$m_T = \pm 0.3 \times 10^{-7}.$$

In gleicher Weise erhält man den Anteil der Unsicherheit der Dichtekonstantenbestimmung aus den Unterschieden der mittleren Luftdichten in Potsdam und denen auf den Feldstationen mit Berücksichtigung des mittleren Fehlers der Dichtekoeffizienten von S. 15:

$$m_d = \pm 0.04 \times 10^{-7}.$$

### § 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel.

Die Ausgangs- und Anschlußwerte der Schwingungszeiten der Pendel in Potsdam nach S. 24 u. 25 sind, durch Addition von  $3 \times 10^{-7}$  auf den Pfeiler 31 des Pendelsaales reduziert, die folgenden:

	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59	$M_P$
Ausgang:	0.5088895	0.5079504	0.5078405	0.5081079	0.5081970
Anschluß:	0.5088911	0.5079506	0.5078405	0.5081076	0.5081975
Anschluß weniger Ausgang	+ 16	+ 2	0	- 3	+ 5

Die Änderungen der Pendel 58, 60 und 59 liegen innerhalb der Größe der Beobachtungsfehler. Nur die Änderung von Nr. 57 ist bemerkenswert.

Um nun den durchschnittlichen mittleren Fehler eines aus 8 Pendeln bestehenden Stationsmittels zu bestimmen und gleichzeitig einen Einblick in das Verhalten der Pendel auf den einzelnen Stationen zu gewinnen, bilden wir die Differenzen der Schwingungszeiten der einzelnen Pendel gegen ihr Mittel. Dabei gehen wir aus von den Mitteln der an einem Tage in 12 stündigem Zwischenraum beobachteten Pendel.

Betrachtet man die Abweichungen der Einzelwerte von ihrem Mittelwerte als zufällige Fehler, so erhält man bei  $n$  Reihen die Beziehung:

$$[vv] = m'_{III}{}^2 (4n - (n + 3)) = m'_{III}{}^2 (3n - 3).$$

$$m'_{III}{}^2 = \frac{[vv]}{3n - 3}.$$

An diesem mittleren Fehler nehmen nach seiner Entstehungsweise in erster Linie teil die Einflüsse der Veränderungen der Pendel von Station zu Station.

Station	Unterschiede mittleres Pendel weniger				Abweichungen der Einzelunterschiede von ihrem Mittel				Anzahl der Beobachtungen	
	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59	Nr. 57	Nr. 58	Nr. 60	Nr. 59		
Potsdam.....	1	-6932	+2456	+3565	+911	-14	+14	+ 8	- 8	2
	2	-6919	+2471	+3566	+881	-27	- 1	+ 7	+22	2
	3	-6919	+2464	+3570	+884	-27	+ 6	+ 3	+19	2
	4	-6928	+2473	+3563	+890	-18	- 3	+10	+13	2
	5	-6924	+2468	+3564	+890	-22	+ 2	+ 9	+13	2
Gräfenhainichen.....	1	-6953	+2471	+3579	+904	+ 7	- 1	- 6	- 1	2
	2	-6956	+2471	+3579	+905	+10	- 1	- 6	- 2	2
Schmiedeberg, Bez. Halle		-6951	+2474	+3578	+900	+ 5	- 4	- 5	+ 3	2
Düben.....	1	-6960	+2477	+3579	+904	+14	- 7	- 6	- 1	2
	2	-6962	+2477	+3580	+905	+16	- 7	- 7	- 2	2
Eilenburg.....		-6951	+2473	+3573	+904	+ 5	- 3	0	- 1	2
Delitzsch.....		-6948	+2470	+3577	+902	+ 2	0	- 4	+ 1	2
Zörbig.....	1	-6953	+2477	+3576	+900	+ 7	- 7	- 3	+ 3	2
	2	-6952	+2472	+3576	+905	+ 6	- 2	- 3	- 2	2
Wettin.....	1	-6947	+2476	+3571	+901	+ 1	- 6	+ 2	+ 2	2
	2	-6942	+2470	+3570	+904	- 4	0	+ 3	- 1	2
Halle a. S.....	1	-6947	+2475	+3577	+895	+ 1	- 5	- 4	+ 8	2
	2	-6951	+2465	+3582	+905	+ 5	+ 5	- 9	- 2	2
Merseburg.....		-6949	+2474	+3577	+898	+ 3	- 4	- 4	+ 5	2
Leipzig.....	1	-6967	+2467	+3570	+931	+21	+ 3	+ 3	-28	2
	2	-6966	+2464	+3574	+929	+20	+ 6	- 1	-26	2
	3	-6940	+2461	+3571	+907	- 6	+ 9	+ 2	- 4	2
Naumburg a. S.....	1	-6956	+2464	+3569	+925	+10	+ 6	+ 4	-22	2
	2	-6948	+2468	+3570	+911	+ 2	+ 2	+ 3	- 8	2
Jena.....	1	-6950	+2467	+3573	+908	+ 4	+ 3	0	- 5	2
	2	-6946	+2466	+3577	+902	0	+ 4	- 4	+ 1	2
Potsdam.....	1	-6941	+2473	+3569	+901	- 5	- 3	+ 4	+ 2	2
	2	-6938	+2473	+3568	+897	- 8	- 3	+ 5	+ 6	2
	3	-6937	+2465	+3570	+903	- 9	+ 5	+ 3	0	2
	4	-6931	+2465	+3572	+895	-15	+ 5	+ 1	+ 8	2
Mittelwerte:		-6946	+2470	+3573	+903					
		Summe der Fehlerquadrate:				4646	785	751	3533	

Wir erhalten als mittleren Fehler einer Doppelbeobachtung eines Pendels:

$$m'_{III} = \sqrt{\frac{9715}{87}} \times 10^{-7} = \pm 10.6 \times 10^{-7}.$$

Für das Stationsmittel, aus 4 solchen Doppelbeobachtungen bestehend, findet man:

$$m_{III} = \pm 5.3 \times 10^{-7}.$$

Dieser mittlere Fehler  $m_{III}$  ist zu vergleichen mit dem S. 23 abgeleiteten:

$$m_I = \pm 2.7 \times 10^{-7}.$$

$m_I$  ist nahezu frei von den Schwankungen des Uhranges und außer von den reinen Beobachtungsfehlern nur beeinflusst von den Veränderungen der Pendel auf der Station.

Der mittlere Fehler  $m_{III}$  stellt sich größer heraus als  $m_I$ , es ist das ein Zeichen, daß die Änderungen der Pendel von Station zu Station erheblicher gewesen sind. Angenähert erhalten wir die Größe des Einflusses der Änderung der Pendel von Station zu Station, indem wir bilden:

$$m_o = \sqrt{5.3^2 - 2.7^2} \times 10^{-7} = \pm 4.6 \times 10^{-7}.$$

Um den mittleren Betrag dieser Änderungen festzustellen, bedienen wir uns eines von Herrn Geheimrat HELMERT früher angegebenen Verfahrens\*), das den Verlauf dieser Änderungen von Station zu Station zeigt und durch eine Beziehung zwischen dem mittleren Fehler  $m_{II}$  und der mittleren Änderung der Pendel diese letztere zu bestimmen gestattet.

Die folgende Tabelle gibt zunächst die Unterschiede der Schwingungszeiten der einzelnen Pendel gegeneinander:

Nr.	Station	Unterschiede der Schwingungszeiten der Pendel in Einheiten der 7. Dezimalstelle						Reziproke Gewichts- zahlen
		57—58	57—60	57—59	58—60	59—58	59—60	
1	Potsdam.....	9391	10490	7816	1099	1575	2674	0.10
2	Gräfenhainichen .....	9426	10534	7859	1108	1567	2675	0.25
3	Schmiedeberg, Bez. Halle	9425	10529	7851	1104	1574	2678	0.50
4	Düben .....	9438	10540	7865	1102	1573	2675	0.25
5	Eilenburg.....	9424	10524	7855	1100	1569	2669	0.50
6	Delitzsch .....	9418	10525	7850	1107	1568	2675	0.50
7	Zörbig.....	9427	10528	7855	1101	1572	2673	0.25
8	Wettin .....	9417	10515	7847	1098	1570	2668	0.25
9	Halle a. S. ....	9419	10528	7849	1109	1570	2679	0.25
10	Merseburg .....	9423	10526	7847	1103	1576	2679	0.50
11	Leipzig .....	9421	10529	7880	1108	1541	2649	0.17
12	Naumburg a. S. ....	9418	10521	7870	1103	1548	2651	0.25
13	Jena .....	9414	10523	7853	1109	1561	2670	0.25
14	Potsdam.....	9405	10506	7835	1101	1570	2671	0.13

Die Stationsunterschiede für jede Differenz werden nun nach dem folgenden Schema gebildet:

Station	2—1,	3—2,	4—3	....	14—13
	3—1,	4—2,	5—3	....	14—12
	4—1,	5—2,	6—3	....	14—11
	.	.	.	....	.
	8—1,	9—2,	10—3	....	14—7.

\*) „Kolberg—Schneekoppe“, S. 280 f.

Diese Unterschiede werden quadriert und für die Gruppen und Differenzen zu Mittelwerten vereinigt. Dann erhält man die folgende Übersicht:

Intervall der Stationen	Mittleres $\Delta^2$ für die Differenzen						Mittel aus allen $\Delta^2$	Faktor von $m'_{IV}$
	57—58	57—60	57—59	58—60	59—58	59—60		
1	149	215	318	31	132	106	159	1.24
2	172	178	366	15	221	224	196	1.26
3	233	310	567	22	223	188	257	1.24
4	203	169	386	17	168	146	182	1.28
5	161	223	329	29	182	164	181	1.20
6	238	290	348	22	228	132	210	1.16
7	222	241	277	12	222	134	185	1.19
Mittel:	197	232	370	21	197	156	196	1.22

Die auffallend stark von den anderen  $\Delta^2$  abweichenden Werte der Differenz 58—60 zeigen, daß diese beiden Pendel eine nachweisbare von der Zeit abhängige Veränderung nicht in großem Maße erlitten haben können. Die beiden anderen Pendel 57 und 59 sind etwas größeren Änderungen unterworfen gewesen. Jedoch zeigt die genügende Übereinstimmung der  $\Delta^2$  in den einzelnen Intervallen, daß man berechtigt ist mit den Mittelwerten zu rechnen, um den Einfluß einer Änderung der Pendel von Station zu Station auf den Unterschied der Schwingungszeiten der Pendel gegen ihren Mittelwert in Potsdam vor Beginn und nach Schluß der Feldbeobachtungen festzustellen.

Bezeichnen wir mit  $\lambda$  die Veränderung der Pendel, so besteht zwischen  $\Delta^2$ ,  $m'_{IV}$  und  $f$  die Gleichung\*)

$$\Delta^2 = fm'_{IV} + 2\lambda^2.$$

$\Delta$ ,  $f$  und  $\lambda$  sind auf das Stationsintervall  $k-i$  bezogen.

Für  $m'_{IV}$  setzen wir den durchschnittlichen mittleren Fehler einer Pendelbeobachtung ein, der auf S. 23 zu  $\pm 9^{\cdot}5 \times 10^{-7}$  abgeleitet wurde. Dann wird bei einem Zwischenraum von 4 Stationen und einer durchschnittlichen Anzahl von 8 Pendelbeobachtungen für eine Station der mittlere Einfluß der Veränderung der Pendel auf die Genauigkeit der beobachteten Differenz der Schwingungszeiten der mittleren Pendel der Feldstationen gegen Potsdam:

$$\lambda = \pm 2^{\cdot}4 \times 10^{-7}.$$

Diesen Wert werden wir bei der Genauigkeitsberechnung berücksichtigen. Der Betrag entspricht annähernd dem Unterschiede der Anschlußmessungen auf S. 29.

Der auf S. 31 abgeleitete Wert  $m_v = \pm 4^{\cdot}6 \times 10^{-7}$  ist erheblich größer, was nicht zu verwundern ist, da in diesen Fehlerquellen zum Spruch kommen, die bei der Ableitung von  $\lambda$  besser eliminiert wurden.

\*) Vgl. „Schwerkraft im Harze“, S. 26.

### § 8. Genauigkeit der Beobachtungen.

Bei der folgenden Genauigkeitsberechnung ist entgegen der Gepflogenheit in „*Schwerkraft im Harze*“ der Anteil fortgelassen, der infolge der Schwankungen des Uhranges im Tagesmittel bleibt, weil dieser schon in dem durchschnittlichen Fehler 1. genügend zur Geltung kommt.

1. Der durchschnittliche mittlere Fehler des Mittels der Schwingungszeiten auf einer Feldstation, aus der inneren Übereinstimmung berechnet, beträgt nach Seite 23 höchstens  $\pm 4.8 \times 10^{-7}$ .

2. Das Mittel der Anschlußmessungen in Potsdam ist mit einem mittleren Fehler von  $\pm 0.9 \times 10^{-7}$  beobachtet.

3. Der mittlere Fehler der Bestimmung des Mitschwingens beträgt nach Seite 6 für eine Feldstation  $\pm 1.0 \times 10^{-7}$  und für Potsdam  $\pm 0.7 \times 10^{-7}$ .

4. Der Einfluß des Fehlers der benutzten Temperaturkonstanten beträgt nach Seite 29:  $\pm 0.3 \times 10^{-7}$ .

5. Der Einfluß des Fehlers der benutzten Dichtekonstanten ist nach Seite 29:  $\pm 0.04 \times 10^{-7}$ .

6. Der Einfluß der Temperaturschwankungen ergibt sich nach Seite 28 zu  $\pm 1.0 \times 10^{-7}$ .

7. Der Einfluß der Veränderung der Pendel ist nach Seite 32:  $\pm 2.4 \times 10^{-7}$ .

8. Der Einfluß des mittleren Fehlers des täglichen Ganges der Beobachtungsuhr ist für die Feldstationen nach Seite 11:  $\pm 2.4 \times 10^{-7}$ , für Potsdam  $\pm 1.2 \times 10^{-7}$ .

Stellen wir nun zusammen und addieren die Quadrate der obigen Fehler, so erhalten wir als mittleren Fehler des Unterschiedes einer Feldstationsbestimmung gegen Potsdam:

$$M_s^2 = 39.4 \times 10^{-14}; \quad M_s = \pm 6.3 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler für die Unterschiede der Schwerkraft mit Potsdam wird daher:

$$M_g = \pm 0.0024 \text{ cm.}$$

## II. Beobachtungen im Jahre 1906.

### § 1. Vorbemerkungen.

Auf den Wunsch des Herrn Geheimrat HELMERT habe ich für die Beobachtungen dieses Jahres einen Dreipendelapparat von P. STÜCKRATH in *Friedenau* verwandt. Es ist ein Säulenapparat, der durch flügelartige Ansätze im Umkreis der Säule Versteifungen erhalten hat. Der obere Teil der Säule trägt die Pendellager, die in kreuzweise angebrachte starke Messingarme eingelassen sind. Die drei Pendel, die der Apparat aufnehmen kann, sind so angeordnet, daß zwei in gleicher Schwingungsrichtung und das dritte in der zu dieser senkrechten Richtung schwingen. Die Reflexe der zwei in gleicher Richtung schwingenden Pendel werden vermittels totalbrechender rechtwinkliger Prismen und die des dritten Pendels direkt beobachtet. Das Mitschwingen wird bei erstgenanntem Pendelpaar durch dieses selbst bestimmt. Für die Bestimmung des Mitschwingens des dritten Pendels ist ein SCHUMANN'Sches Hilfspendel vom Mechaniker FECHNER konstruiert, das, mit verstellbarer Linse versehen, auf beliebige Schwingungszeit eingestellt werden kann.

Der Apparat ist von Herrn Professor Dr. HECKER auf seinen Auslandsreisen in den Jahren 1902 und 1904—05 benutzt. Eine kurze Beschreibung des Apparates nebst einer stereoskopischen Photographie findet sich in der Veröffentlichung des Geodätischen Instituts, Neue Folge Nr. 11: „*Bestimmung der Schwerkraft auf dem Atlantischen Ozean sowie in Rio de Janeiro, Lissabon und Madrid*“ von O. HECKER, Berlin 1903. Weitere Beobachtungen und Erfahrungen sind in der Veröffentlichung der Internationalen Erdmessung, Neue Folge Nr. 16: „*Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Großen Ozean und an deren Küsten*“ von Prof. Dr. O. HECKER, Berlin 1908, niedergelegt.

Auf der Reise führte ich das Messingpendel Nr. 21 von STÜCKRATH, das *Messingpendel* Nr. 7 von FECHNER und ein mit einer Phosphorbronzestange versehenes Nr. 5 von FECHNER mit, außerdem zum erstenmale die drei *Nickelstahlpendel* von STÜCKRATH Nr. 76, 77 und 79. Ich werde die Ergebnisse der beiden Pendelarten gesondert behandeln.

Die Beobachtungen auf den Stationen dieses Jahres bilden eine Fortsetzung der Untersuchung über den Verlauf der Schwerkraft längs des 52. Breitengrades. In der Umgebung von *Osnabrück* wurden die Stationen dichter gelegt, um einem Wunsche des Herrn Geheimrat v. KOENEN nachzu-

kommen, der für diese geologisch sehr interessante Gegend durch Ermittlung des Verlaufs der Schwerkraft bemerkenswerte Aufschlüsse erhoffte. Herrn Geheimrat v. KOENEN, der seine lebhafteste Anteilnahme an diesen Untersuchungen auch durch einen persönlichen Besuch auf der Station *Lübbecke* betätigte, möchte ich auch an dieser Stelle für die wertvollen Ratschläge bei der Auswahl der Stationen herzlich danken.

Nach Westen gehen die Beobachtungen bis *Münster i. W.*, sodaß bis zur holländischen Grenze nur noch wenige Stationen auf dem genannten Breitengrade zu erledigen sind, um Anschluß zu gewinnen an die von holländischer Seite geplanten Schwerkraftsbeobachtungen.

Auf jeder Station sind mindestens zwei Reihen der Messingpendel und zwei der Nickelstahlpendel beobachtet. Die Messingpendel hingen überall vor der Beobachtung mehrere Stunden im Apparat, während die Nickelstahlpendel unmittelbar nach dem Einhängen beobachtet wurden.

Auf einigen Stationen gelang es ohne viel Zeitversäumnis drei Zeitbestimmungen statt der üblichen zwei zu beobachten, sodaß diese Stationen Material zur Ableitung der Größe der täglichen Schwankungen der Beobachtungsuhr bieten.

## § 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen.

Nr.	Station	Geographische		Höhe in m	Lage des Beobachtungsraumes	Art des Fußbodens
		Breite	Länge			
1	Münster i. W..	51° 57.9	7° 37.9	62	Keller d. St. Lambertischule.	Ziegelsteinpflaster.
2	Ladbergen ...	52 8.0	7 45.3	52	Flur im Hause des Herrn SCHOPPENHORST.	Steinfiesen.
3	Iburg .....	52 9.6	8 2.9	124	Flur in der Bürgerschule.	Steinfiesen.
4	Ibbenbüren ..	52 16.6	7 42.9	73	Keller im Rathause.	Steinfiesen.
5	Osnabrück ...	52 16.8	8 2.7	66	Nebenraum des Stadt- theaters.	Steinpflaster.
6	Bramsche ....	52 24.9	7 58.9	48	Keller im Hause des Herrn BLASZ.	Zement.
7	Bohmte .....	52 22.1	8 18.9	59	Flur im Hause des Ge- meindevorstehers.	Zement.
8	Melle i. H. ...	52 12.0	8 20.5	78	Keller der Präparanden- anstalt.	Zement.
9	Lübbecke ...	52 18.1	8 36.9	94	Keller des Kreiskranken- hauses.	Ziegelsteinpflaster.
10	Minden i. W. .	52 17.6	8 54.3	54	Keller des städtischen Krankenhauses.	Terrazzo.
	Potsdam .....	52 22.9	13 3.9	82.8	Mittelkeller des Geod. Institutes.	Zement.

In der vorstehenden Tabelle sind die Höhenlagen der Stationen schon aufgenommen. Eine genaue Zusammenstellung der Ergebnisse der Höhenbestimmungen nebst den Vergleichen des benutzten Barometers BOHNE Nr. 938 mit dem auf der Station verbliebenen BOHNE Nr. 937 lasse ich in der nachstehenden Tabelle folgen.

Nr.	Station	Anbindepunkt	Unterschiede 937—938		Unter- schiede von 938 Pendel- pfeiler weniger Anbinde- punkt	Mittl. Baro- meter- stand	Luft- tempe- ratur	Höhen- unter- schied Pendel- pfeiler weniger Anbinde- punkt	Höhe des An- binde- punkts	Höhe des Pen- del- pfeilers	Mittel- wert	Mittl. Fehler	
			vor	nach der Bestimmung									
1	Münster i. W...	Bolzen des Stadt- nivellements.	mm	mm	mm	mm							
			+6.8	+6.7	-0.05	757	+15.6	+ 0.5		59.8			
			+7.1	+7.1	0	759	+16.0	0	59.3	61.8	±0.9		
			+6.9	+7.0	-0.3	759	+17.5	+ 3.3	62.6				
			+6.9	+7.0	-0.3	758	+20.5	+ 3.3	62.6				
2	Ladbergen .....	Nivellem. der L.-A.	+6.8	+7.0	-0.1	752	+21.8	+ 1.1		51.8			
			+6.9	+6.8	-0.1	752	+24.8	+ 1.1	50.7	51.8	52.4	±0.3	
			+6.8	+6.8	-0.2	754	+14.7	+ 2.2		52.9			
			+6.8	+6.8	-0.2	754	+14.8	+ 2.2		52.9			
3	Iburg .....	Nivellem. der L.-A. Bhf., Schienen- oberkante.	+6.7	+6.6	-1.1	755	+17.5	+12.4	112.0	124.4			
			+6.6	+6.6	-0.8	756	+18.5	+ 9.0	114.0	123.0	124.2	±1.0	
			+6.9	+6.8	-1.0	754	+18.5	+11.4	114.0	125.4			
4	Ibbenbüren ....	Bolzen am Bahn- hof.	+6.4	+6.5	+0.5	755	+17.8	- 5.7		73.5			
			+6.5	+6.6	+0.5	754	+24.0	- 5.8	79.2	73.4	73.4	±0	
			+6.5	+6.5	+0.5	755	+27.0	- 5.8		73.4			
5	Osnabrück .....	Stadtnivellements- punkt.	+6.7	+6.7	-0.1	759	+21.5	+ 1.1		65.9			
			+7.1	+7.1	-0.1	756	+19.0	+ 1.1	64.8	65.9	65.8	±0.1	
			+7.0	+7.0	-0.05	752	+26.0	+ 0.6		65.4			
			+7.0	+7.0	-0.1	754	+24.0	+ 1.1		65.9			
6	Bramsche .....	Bahnhof, Schienen- oberkante.	+6.5	+6.6	+0.5	762	+15.5	- 5.6		47.9			
			+6.5	+6.6	+0.5	760	+16.3	- 5.6	53.5	47.9	47.9	±0	
			+6.4	+6.4	+0.5	760	+18.5	- 5.7		47.8			
7	Bohmte .....	Bolzen am Bahn- hof.	+6.5	+7.0	-0.9	750	+18.0	+ 9.1		58.2			
			+7.1	+7.1	-0.8	750	+18.0	+ 9.1	49.1	58.2	58.8	±0.4	
			+7.1	+7.3	-0.9	748	+18.5	+10.3		59.4			
			+6.8	+6.8	-0.9	755	+15.6	+10.2		59.5			
8	Melle i. H. ....	Bolzen am Bahn- hof.	+7.0	+7.1	+0.5	748	+28.7	- 5.9		75.1			
			+7.0	+7.0	+0.2	752	+18.5	- 2.3	81.0	78.7	78.1	±1.1	
			+7.0	+7.0	+0.2	753	+21.0	- 2.3		78.7			
			+7.0	+7.0	+0.1	754	+17.0	- 1.1		79.9			
9	Lübbecke .....	Bahnhof, Schienen- oberkante.	+7.1	+7.1	-2.0	754	+16.8	+22.8		91.8			
			+6.9	+6.9	-2.1	754	+16.0	+23.9	69.0	92.9	93.9	±1.1	
			+6.8	+6.8	-2.5	758	+13.2	+28.0		97.0			
			+7.1	+7.1	-2.2	756	+19.0	+25.0		94.0			
10	Minden i. W. ..	Stadtnivellements- punkt.	+7.2	+7.2	0	753	+23.8	0		53.7			
			+7.2	+7.1	-0.05	755	+19.7	+ 0.6	53.7	54.3	53.9	±0.2	
			+6.7	+6.6	0	755	+13.5	0		53.7			

Die gute Übereinstimmung der Einzelwerte auf den Stationen zeigt, daß der Einfluß des mittleren Fehlers der Höhenbestimmung auf die Differenz der Schwerkraft einer *Feldstation* gegen *Potsdam* zu vernachlässigen ist.



§ 3. Bestimmung des Mitschwingens.

Die Richtungen der Pendelschwingungen, in denen das Mitschwingen bestimmt wurde, sind mit I und II bezeichnet. I ist die Richtung des mittleren, II die der beiden seitlich aufgehängten Pendel. Alle Beobachtungen erfolgten in Zwischenräumen von 2, in einzelnen Fällen von 3 Minuten.

Nr.	Station	Richtung I					Richtung II				
		Mitschwingen	[ $\nu\nu$ ]	Anzahl der Beobachtung.	Stationsmittel	Mittlerer Fehler	Mitschwingen	[ $\nu\nu$ ]	Anzahl der Beobachtung.	Stationsmittel	Mittlerer Fehler
	Potsdam . . . . . 1	58	291	9	58	$\pm 1.1$	45	183	10	44	$\pm 0.7$
	2	58	17	5			42	6	8		
1	Münster i. W. . . 1	71	34	7	73	$\pm 0.5$	55	15	4	57	$\pm 0.5$
	2	74	11	8			58	15	9		
	3						57	23	7		
2	Ladbergen . . . . 1	79	29	7	78	$\pm 0.5$	56	49	7	57	$\pm 0.6$
	2	77	37	10			58	32	10		
3	Iburg . . . . . 1	89	20	5	92	$\pm 0.7$	76	50	6	76	$\pm 1.3$
	2	95	34	6							
4	Ibbenbüren . . . 1	69	38	6	68	$\pm 0.6$	47	47	9	48	$\pm 0.6$
	2	66	9	6			48	25	6		
5	Osnabrück . . . . 1	73	84	8	74	$\pm 0.7$	62	51	6	61	$\pm 1.0$
	2	74	21	6			60	71	6		
6	Bramsche . . . . . 1	68	16	8	67	$\pm 0.5$	46	51	8	48	$\pm 0.6$
	2	66	31	8			49	34	8		
7	Bohnte . . . . . 1	48	22	8	46	$\pm 0.5$	35	11	8	35	$\pm 0.4$
	2	43	44	8			35	24	8		
8	Melle i. H. . . . . 1	51	8	8	53	$\pm 0.9$	39	200	8	40	$\pm 1.0$
	2	55	106	6			40	11	6		
9	Lübbecke . . . . . 1	65	148	8	66	$\pm 1.1$	50	21	8	51	$\pm 0.4$
	2	67	133	8			51	20	8		
10	Minden i. W. . . . 1	47	50	9	48	$\pm 0.5$	33	70	8	34	$\pm 0.8$
	2	48	28	8			35	67	7		
	Potsdam . . . . .	58	35	8	58	$\pm 0.8$	44	23	8	44	$\pm 0.6$

Für die Bestimmungen des Mitschwingens in Potsdam und auf einer Feldstation ergibt sich aus den vorstehenden Werten ein durchschnittlicher mittlerer Fehler von  $\pm 0.8 \times 10^{-7}$ ,

§ 4. Die Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr  
STRASSER & ROHDE 101.

Für die Anschlußmessungen in Potsdam hat Herr Professor WANACH die täglichen Gänge der Beobachtungsuhr aus mittägigen Vergleichen mit den Hauptuhren des Geodätischen Institutes abgeleitet.

Auf den Feldstationen wurde zur Zeitbestimmung das gleiche kleine Passageninstrument und die gleiche Methode wie im Vorjahre benutzt. Siehe S. 6.

*Tägliche Uhgänge für die Anschlußmessungen in Potsdam.*

Juni 20	+ 0 <sup>s</sup> .20	Juni 27	+ 0 <sup>s</sup> .14
" 21	+ 0.18	" 28	+ 0.09
" 22	+ 0.15	" 29	+ 0.02.

*Tägliche Uhgänge für die Feldstationen.*

Nr.	Station	1906	Nummer der Beobachtung	Beobachtungszeit	Uhrkorrektur	Uhgang		Angewandte Mittel der täglichen Uhgänge	Mittlere Fehler der täglichen Uhgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel		
						abgeleitet aus Nummer	täglich					
1	Münster i. W. . . .	Juli 13	1	21 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	+ 9 <sup>m</sup> 41 <sup>s</sup> .78	1 u. $\frac{2+3+4}{3}$	+ 20 <sup>s</sup> .12	+ 20 <sup>s</sup> .12	—	—		
			" 14	2	18 42	+ 9 59.15	$\frac{2+3}{2}$ u. 5	+ 20.05	+ 20.09	—	—	
				3	19 22.5	59.76	4 u. 6	+ 20.13				
				4	19 40	59.91						
			" 16	5	18 13.5	+ 10 38.87	6	18 38	39.31			
				6	18 38	39.31						
2	Ladbergen . . . . .	" 20	1	16 43	+ 0 32.80	$\frac{1+3}{2}$ u. 4	+ 2.94	+ 2.92	± 0 <sup>s</sup> .03	0.0013		
			2	17 42	33.03	2 u. 5	+ 2.89					
			3	18 0	33.16							
			" 21	4	17 21	+ 0 35.92	5				17 42	35.92
				5	17 42	35.92						
3	Iburg . . . . .	" 25	1	17 18	+ 2 19.11	1 u. $\frac{4+5}{2}$	+ 1.05	+ 1.09	± 0.04	0.0122		
			2	17 31	19.16	2 u. 6	+ 1.04					
			3	17 53	19.12	3 u. 7	+ 1.18					
			" 26	4	16 35	+ 2 20.17	5				17 8	20.12
				5	17 8	20.12						
				6	17 31	20.20						
				7	17 53	20.30						

Nr.	Station	1906	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektur	Uhrgang		Ange- wandte Mittel der täglichen Uhrgänge	Mittlere Fehler der täglichen Uhrgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel	
						abgeleitet aus Nummer	täglich				
4	Ibbenbüren . . . .	Juli 28	1	18 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	+ <sup>o</sup> m 17.38	1 u. 5	+0.72	+0.80	±0.05	0.0321	
			2	18 30	17.40	2 u. 6	+0.86				
			3	19 0	17.34	3 u. 7	+0.91				
			4	19 21	17.49	4 u. 8	+0.70				
		" 29	5	16 25	+0 18.05	$\frac{5+6}{2}$ u. 9	+0.96	+0.91	±0.05	0.0161	
			6	16 50	18.20	7 u. 10	+0.97				
			7	17 15	18.18	8 u. 11	+0.81				
			8	17 41	18.14						
		" 30	9	16 24	+0 19.08						
			10	17 7	19.14						
			11	17 54	18.96						
5	Osnabrück . . . . .	Aug. 1	1	16 49	+1 24.42	$1 u. \frac{3+4}{2}$	+2.43	+2.38	±0.05	0.0050	
			2	17 36	24.51	2 u. 5	+2.33				
		" 2	3	17 13	+1 26.95						
			4	17 41	26.86						
			5	18 0	26.88						
6	Bramsche . . . . .	" 5	1	17 55	+1 33.01	1 u. 2	-1.06	-1.06	—	—	
			2	19 43	+1 31.87	$2 u. \frac{3+4}{2}$	-1.35	-1.35	—	—	
		" 7	3	19 24	+1 30.52						
4	20 2		30.51								
7	Bohmte . . . . .	" 10	1	17 46	+2 28.89	$1 u. \frac{4+5}{2}$	+1.47	+1.48	±0.03	0.0053	
			2	18 17	29.01	2 u. 6	+1.44				
			3	18 49	28.99	3 u. 7	+1.54				
		" 11	4	18 2	+2 30.39						
			5	18 31	30.40						
			6	18 58	30.49						
			7	19 19	30.56						
8	Melle i. H. . . . .	" 13	1	17 35	+4 46.26	1 u. 3	+0.08	+0.08	—	—	
			2	17 59	46.23	$2 u. \frac{4+5}{2}$	+0.08				
		" 15	3	0 6	+4 46.45						
			4	0 33	46.36						
			5	1 2	46.47						
9	Lübbecke . . . . .	" 18	1	1 17	+0 15.46	$1 u. \frac{3+4}{2}$	+1.33	+1.28	±0.05	0.0050	
			2	1 46	15.58	2 u. 5	+1.23				
		" 19	3	0 32	+0 16.69						
			4	0 55	16.82						
			5	1 26	16.78						

Nr.	Station	1906	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektur	Urgang		Angewandte Mittel der täglichen Urgänge	Mittlere Fehler der täglichen Urgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel	
						abgeleitet aus Nummer	täglich				
10	Minden i. W. . .	Aug. 22	1	17 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	+ 0 <sup>m</sup> 11.869	1 u. 4	+ 2.00	+ 1.94	± 0.04	0.0101	
			2	17 38	11.64	2 u. 5	+ 1.95				
			3	18 0	11.57	3 u. $\frac{6+7}{2}$	+ 1.86				
		" 23	4	17 17	+ 0 13.69	$\frac{4+5}{2}$ u. 8	+ 1.80	+ 1.86	± 0.06		0.0085
			5	17 38	13.59	$\frac{6+7}{2}$ u. 9	+ 1.93				
			6	17 57	13.50						
			7	18 15	13.38						
		" 24	8	19 59	+ 0 15.63						
			9	20 46	15.58						

*Tägliche Urgänge für die Anschlußmessungen in Potsdam.*

Sept. 12	— 0.42	Sept. 19	— 0.47
" 13	— 0.49	" 20	— 0.44
" 14	— 0.57	" 21	— 0.47
" 15	— 0.52	" 22	— 0.42.
" 18	— 0.44		

Bei der Berechnung des durchschnittlichen mittleren Fehlers eines täglichen Ganges berücksichtigen wir nur die aus Zeitbestimmungen mit nahe eintägigem Zwischenraum abgeleiteten Gänge und erhalten aus 24 Einzelwerten in 9 Gruppen als mittleren Fehler eines aus nur einem Sternpaar abgeleiteten täglichen Ganges  $\pm 0.08$ . Für die auf den *Stationen* erlangten Mittelwerte der täglichen Gänge, die auf durchschnittlich drei Sternpaaren beruhen, folgt dann ein mittlerer Fehler von  $\pm 0.05$  oder  $\pm 3^s \times 10^{-7}$  der Schwingungszeit eines mittleren Pendels. Für die Beobachtungen in *Potsdam* beträgt der gleiche mittlere Fehler  $\pm 1.2 \times 10^{-7}$  der Schwingungszeit des mittleren Pendels.

**§ 5. Die Pendelbeobachtungen.**

Der Gang der Beobachtungen der Schwingungszeiten war der gleiche wie in früheren Jahren. Von jedem Pendel wurde die Dauer von 60 Koinzidenzen zehnmal beobachtet und aus dieser die Schwingungszeit abgeleitet. Auf das Einschwingen der Pendel wurde keine Rücksicht genommen. Nach

geschehenem Anstoß und nach der Ablesung der meteorologischen Elemente und der Amplitude wurde sofort mit der Beobachtung begonnen. Die *Messingpendel* wurden stets zuerst beobachtet. Sie hingen vor Beginn ihrer Beobachtung mindestens 8 Stunden in dem mit der Schutzhaube überdeckten Pendelstativ. Man konnte also wohl annehmen, daß die abgelesenen Temperaturen des Pendelthermometers auch die der einzelnen Pendel waren. Die Temperatur unter der Haube war sehr beständig. Nach der Beobachtung der *Messingpendel* wurden diese herausgenommen und die *Nickelstahlpendel* eingehängt, mit deren Beobachtung sofort nach Einrichtung des Koinzidenzapparates begonnen wurde. Bei dem kleinen Temperaturkoeffizienten von  $3^{\circ} \times 10^{-7}$  der *Nickelstahlpendel* hielt ich eine Wartezeit zum Ausgleich der Temperatur für überflüssig, zumal die Unterschiede zwischen der zuletzt abgelesenen Temperatur für die *Messingpendel* und der zuerst abgelesenen für die *Nickelstahlpendel* stets bis auf wenige Zehntel Grade übereinstimmten. Wurden die *Nickelstahlpendel* nicht beobachtet, so lagen sie in ihrem offestehenden Kasten, der in der Nähe des Pendelpeilers stand. Die Temperaturen in den Beobachtungsräumen waren sehr konstant.

Auf der Station *Ibbenbüren* stand der Pendelapparat in einem durch eine Bretterwand in zwei Teile geteilten Keller des Rathauses. Trotz strengsten Verbotes wurde während der Beobachtung der zweiten Pendelreihe des zweiten Beobachtungstages im nichtbenutzten Kellerteil von einer Bewohnerin Holz gespalten. Durch die dadurch hervorgerufenen Erschütterungen wurde der Gang der Beobachtungsuhr stark gestört. Im Mittel stimmen trotzdem die Ergebnisse dieses Tages genügend mit denen des ersten ungestörten Tages überein, sie wurden daher als gleichwertig mitgenommen. Bei der Fehlerberechnung habe ich aber diesen Tag ausgeschlossen. Immerhin zeigt das Ergebnis, daß die Elimination der Schwankungen des täglichen Ganges der Beobachtungsuhr durch die Verteilung der Pendelbeobachtungen auf zwei um 12<sup>h</sup> verschiedene Zeiten des Tages wohl gelungen ist.

Drei Zeitbestimmungen und dementsprechend zwei Beobachtungstage für die Pendel wurden erhalten in *Ibbenbüren*, *Bramsche* und *Minden*. In *Bramsche* hielt ich die dritte Zeitbestimmung für notwendig, weil bei dem äußerst ungünstigen Wetter am ersten Tage nur je ein Sternpaar beobachtet werden konnte. In *Minden* als Schlußstation konnten ohne Zeitverlust drei Zeitbestimmungen erhalten werden.

Die Standkorrektion des benutzten Aneroidbarometers BOHNE Nr. 938 wurde vor Beginn und nach Schluß der Reise von Herrn Professor WANACH zu  $+ 2.0$  mm ermittelt werden.

Als Pendelthermometer diente ein von FUESS in Steglitz hergestelltes meteorologisches Thermometer, das seiner ganzen Länge nach in einer Messinghülse steckt, die ihrerseits wieder in eine Pendellinse verschraubt ist. Die Messinghülse ist vorn aufgeschnitten, um die Skala freizumachen. Das Thermometer ist von der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN REICHSANSTALT untersucht und es sind dafür folgende Korrekturen ermittelt worden:

*Korrekturen des Pendelthermometers P. T. R. 15955.*

(Ermittelt im Jahre 1901.)

Bei 0°	— 0.04
10	— 0.04
20	— 0.04
30	— 0.04
40	— 0.04.

Die Temperatur- und Dichtekonstanten der Messingpendel sind von Professor SUGIYAMA aus Tokio im Jahre 1902 im Geodätischen Institut bestimmt worden. Die Werte sind der Veröffentlichung des Zentralbureaus der Internationalen Erdmessung, Neue Folge Nr. 16: „Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Großen Ozean und an deren Küsten“ von Prof. Dr. O. HECKER, Berlin 1908, S. 9 u. f. entnommen:

	Dichtekonstanten	Temperaturkonstanten
Nr. 21	$(650^8 \pm 6) \times 10^{-7}$	$(48.74 \pm 0.05) \times 10^{-7}$
„ 5	$(641 \pm 11) \times 10^{-7}$	$(45.30 \pm 0.03) \times 10^{-7}$
„ 7	$(640 \pm 3.3) \times 10^{-7}$	$(49.07 \pm 0.13) \times 10^{-7}$ .

Die dynamische Konstante der *Messingpendel* habe ich im Jahre 1908 bestimmt. Die Pendel hingen in dem auch für die Feldbeobachtungen benutzten Dreipendelapparat. Dieser stand im Wärmekasten des Geodätischen Instituts im Ostkeller. Beobachtet wurde das Pendel Nr. 21 bei steigender und fallender Temperatur. Das Pendel schwang bei jeder Beobachtung eine Stunde lang. Die Temperatur wurde alle 4 Minuten abgelesen. Aus diesen Werten wurde das Mittel genommen und zur Reduktion der Schwingungszeit auf 0° verwendet. Die Fehlergleichungen hatten die Form:

$$x + ay + l = v.$$

Darin ist  $x$  eine Konstante,  $a$  der Unterschied zwischen Anfangs- und Endtemperatur und  $l$  die Beobachtung. Als  $l$  wurde die Abweichung der Einzelbeobachtung von dem Gesamtmittel aller angestellten Beobachtungen genommen. Ich beschränke mich auf die Wiedergabe der Fehlergleichungen, die ja auch die Einzelheiten erkennen lassen.

*Dynamischer Temperaturkoeffizient der Messingpendel.*

(Dreipendelapparat, Pendelthermometer P.T.R. 15955, Pendeluhr DENCKER 28.)

$x + 3.62y - 37 = v = - 9.01$
$x + 2.88y - 22 = v = + 0.14$
$x + 3.47y - 46 = v = - 19.19$
$x + 3.12y - 10 = v = + 14.04$
$x + 2.56y - 3 = v = + 16.61$
$x - 2.17y + 21 = v = + 3.20$
$x - 5.12y + 38 = v = - 3.14$
$x - 4.02y + 37 = v = + 4.57$
$x - 3.10y + 18 = v = - 7.16$

$$\begin{aligned} 9x + 1.24y - 4 &= 0 \\ + 1.24x + 106.42y + 840.47 &= 0 \\ y &= +(7.91 \pm 1.16) \times 10^{-7}. \end{aligned}$$

Mittlerer Fehler der Gewichtseinheit  $m = \pm 12.04$ .

Als dynamischen Temperaturkoeffizienten habe ich angenommen  $8.0 \times 10^{-7}$  für einen Grad Temperaturänderung in einer Stunde.

Bei der Beständigkeit der Temperaturen während der Feldbeobachtungen brauchte dieser Koeffizient nirgends angewandt zu werden.

### Die Konstanten der Nickelstahlpiegel.

#### 1. Die Temperaturkonstanten.

Gleich nach der Übergabe der Spiegel durch Herrn STÜCKRATH im Jahre 1904 wurden ihre Temperaturkonstanten bestimmt. Die Methode war die übliche. Ich lasse auch hier nur die aus den Beobachtungen folgenden Fehlergleichungen folgen, denen die Form zugrunde lag:

$$x + yt + l = v,$$

worin  $l$  = Beobachtungswert,  $t$  = Temperatur,  $y$  = Temperaturkoeffizient und  $x$  eine Konstante bedeuten. Die Beobachtungen sind mit dem Dichtekoeffizienten  $690^8 \times 10^{-7}$  reduziert.

#### a. Bestimmungen im Jahre 1904.

##### Nr. 76.

$$\begin{aligned} x + 2.71y + 75 &= v = + 6.5 \\ x + 2.71y + 74 &= v = + 5.5 \\ x + 37.33y - 62 &= v = + 3.9 \\ x + 37.68y - 62 &= v = + 5.2 \\ x + 37.95y - 66 &= v = + 2.3 \\ x + 37.56y - 77 &= v = - 10.3 \\ x + 3.78y + 53 &= v = - 11.6 \\ x + 3.59y + 64 &= v = - 1.4 \\ 8x + 163.21y - 1 &= 0 \\ 163.21x + 5706.12y - 9213.55 &= 0 \\ y &= (3.88 \pm 0.15) \times 10^{-7}. \end{aligned}$$

##### Nr. 77.

$$\begin{aligned} x + 2.69y + 75 &= v = + 8.3 \\ x + 2.72y + 67 &= v = + 0.4 \\ x + 37.36y - 63 &= v = + 0.9 \\ x + 37.64y - 62 &= v = + 3.0 \\ x + 37.97y - 66 &= v = + 0.3 \\ x + 37.61y - 69 &= v = - 4.1 \\ x + 3.78y + 53 &= v = - 9.6 \\ x + 3.59y + 64 &= v = + 0.7 \\ 8x + 163.36y - 1 &= 0 \\ 163.36x + 5710.58y - 8974.38 &= 0 \\ y &= (3.77 \pm 0.12) \times 10^{-7}. \end{aligned}$$

##### Nr. 79.

$$\begin{aligned} x + 2.98y + 79 &= v = + 6.3 \\ x + 3.01y + 85 &= v = + 12.4 \\ x + 37.75y - 73 &= v = + 1.3 \\ x + 36.65y - 75 &= v = - 5.3 \\ x + 36.31y - 71 &= v = - 2.8 \\ x + 38.16y - 70 &= v = + 6.1 \\ x + 2.87y + 67 &= v = - 6.2 \\ x + 2.69y + 62 &= v = - 12.0 \\ 8x + 160.42y + 4 &= 0 \\ 160.42x + 5576.30y - 9903.37 &= 0 \\ y &= (4.23 \pm 0.18) \times 10^{-7}. \end{aligned}$$

b. Bestimmungen im Jahre 1906.

Angenommener genäherter Temperaturkoeffizient:  $2^8 \times 10^{-7}$ . Dichte-  
koeffizient:  $690^8 \times 10^{-7}$ .

Nr. 76.

$$\begin{aligned} x + 6.72 y + 22 &= v = + 10.0 \\ x + 5.56 y + 7 &= v = - 5.9 \\ x + 5.96 y + 14 &= v = + 1.4 \\ x + 37.56 y - 6 &= v = + 6.9 \\ x + 37.98 y - 13 &= v = + 0.3 \\ x + 38.64 y - 12 &= v = + 1.8 \\ x + 39.81 y - 20 &= v = - 5.3 \\ x + 39.59 y - 18 &= v = - 3.4 \\ x + 6.20 y + 9 &= v = - 3.4 \\ x + 6.51 y + 14 &= v = + 1.9 \\ x + 6.46 y + 8 &= v = - 4.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 11 x + 230.99 y + 5 &= 0 \\ 230.99 x + 7732.64 y - 2222.78 &= 0 \\ y &= + 0.808 \pm 0.10 \end{aligned}$$

$$y' = (2^8 81 \pm 0.10) \times 10^{-7}.$$

Nr. 77.

$$\begin{aligned} x + 6.47 y + 25 &= v = + 5.4 \\ x + 5.56 y + 16 &= v = - 4.8 \\ x + 5.97 y + 30 &= v = + 9.8 \\ x + 37.58 y - 19 &= v = + 2.7 \\ x + 38.11 y - 18 &= v = + 4.4 \\ x + 38.66 y - 23 &= v = + 0.1 \\ x + 39.88 y - 29 &= v = - 4.2 \\ x + 39.58 y - 27 &= v = - 2.6 \\ x + 6.21 y + 19 &= v = - 0.9 \\ x + 6.46 y + 16 &= v = - 3.6 \\ x + 6.53 y + 13 &= v = - 6.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 11 x + 231.01 y + 3 &= 0 \\ 231.01 x + 7747.57 y - 3778.31 &= 0 \\ y &= + 1.33 \pm 0.10 \end{aligned}$$

$$y' = (3^8 33 \pm 0.10) \times 10^{-7}.$$

Nr. 79.

$$\begin{aligned} x + 6.11 y + 33 &= v = + 14.9 \\ x + 5.59 y + 23 &= v = + 4.3 \\ x + 6.00 y + 26 &= v = + 7.8 \\ x + 37.63 y - 27 &= v = - 8.1 \\ x + 38.20 y - 8 &= v = + 11.5 \\ x + 40.50 y - 18 &= v = + 4.2 \\ x + 39.83 y - 30 &= v = - 8.6 \\ x + 39.56 y - 20 &= v = + 1.1 \\ x + 6.23 y + 6 &= v = - 12.0 \\ x + 6.45 y + 9 &= v = - 8.7 \\ x + 6.59 y + 11 &= v = - 6.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 11 x + 232.69 y + 5 &= 0 \\ 232.69 x + 7895.35 y - 3382.59 &= 0 \\ y &= + 1.17 \pm 0.18 \end{aligned}$$

$$y' = (3^8 17 \pm 0.18) \times 10^{-7}.$$

Ergebnisse:

	1904	1906
Nr. 76:	$y = (3^8 88 \pm 0.15) \times 10^{-7}$	$(2^8 81 \pm 0.10) \times 10^{-7}$
„ 77:	$y = (3.77 \pm 0.12) \times 10^{-7}$	$(3.33 \pm 0.10) \times 10^{-7}$
„ 79:	$y = (4.23 \pm 0.18) \times 10^{-7}$	$(3.17 \pm 0.18) \times 10^{-7}$ .

Bei der Reduktion der Feldbeobachtungen 1906, 1907, 1908 sind die im Jahre 1906 ermittelten Konstanten benutzt worden.

Die Ergebnisse zeigen, daß sich die Temperaturkoeffizienten der drei Pendel stark geändert haben. Es ist das ein Zeichen dafür, daß molekulare Änderungen innerhalb der Pendel vorgegangen sind, die auch vielleicht ein Grund sind für die wenig günstigen Ergebnisse der Beobachtungen im Jahre 1906, wie wir weiterhin sehen werden.

Der dynamische Temperaturkoeffizient der Pendel wurde als unter  $+ 1^8 \times 10^{-7}$  für eine Änderung von  $1^\circ$  in einer Stunde liegend ermittelt, konnte mithin überall vernachlässigt werden.



2. Die Dichtekonstanten.

Auch bei der Darstellung der Dichtekonstantenbestimmung begnügen wir uns mit der Wiedergabe der Fehlergleichungen, die ja zugleich ein völlig genügendes Bild von der Art der Bestimmung und auch von der Genauigkeit der Beobachtungen geben. Die Fehlergleichungen sind von der Form  $x + dy + l = v$ . Als genäherter Dichtekoeffizient ist  $650^{\text{a}} \times 10^{-7}$  eingeführt.

Nr. 76.

$$\begin{array}{l} x + 0.458 y - 15 = v = -16.2 \\ x + 0.335 y + 7 = v = +1.0 \\ x + 0.128 y + 13 = v = -1.0 \\ x + 0.093 y + 23 = v = +7.6 \\ x + 0.143 y + 18 = v = +4.6 \\ x + 0.251 y + 11 = v = +1.8 \\ x + 0.297 y + 10 = v = +2.5 \\ x + 0.388 y + 5 = v = +1.1 \\ x + 0.420 y \quad 0 = v = +2.7 \\ x + 0.540 y - 4 = v = -2.0 \\ x + 0.568 y - 11 = v = -7.9 \\ x + 0.626 y - 6 = v = -0.7 \\ x + 0.680 y - 11 = v = -3.6 \\ x + 0.752 y - 12 = v = -1.7 \\ x + 0.818 y - 7 = v = +5.8 \\ x + 0.873 y - 8 = v = +7.0 \\ x + 0.962 y - 14 = v = +4.4 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 17x + 8.332 y - 1 = 0 \\ 8.332x + 5.236 y - 45.223 = 0 \\ y = +38.92 \pm 5.6 \end{array}$$

$$y' = (688^{\text{a}}9 \pm 5.6) \times 10^{-7}.$$

Nr. 77.

$$\begin{array}{l} x + 0.461 y - 1 = v = -1.8 \\ x + 0.338 y + 4 = v = -0.9 \\ x + 0.132 y + 18 = v = +6.1 \\ x + 0.099 y + 19 = v = +6.0 \\ x + 0.148 y + 19 = v = +7.6 \\ x + 0.254 y + 10 = v = +2.2 \\ x + 0.301 y \quad 0 = v = -6.2 \\ x + 0.391 y - 3 = v = -6.2 \\ x + 0.424 y - 6 = v = -8.0 \\ x + 0.544 y - 3 = v = -1.0 \\ x + 0.569 y - 7 = v = -4.1 \\ x + 0.627 y - 13 = v = -8.2 \\ x + 0.683 y - 13 = v = -6.3 \\ x + 0.752 y - 8 = v = +1.0 \\ x + 0.821 y + 5 = v = +16.4 \\ x + 0.874 y - 14 = v = -0.8 \\ x + 0.962 y - 12 = v = +4.1 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 17x + 8.380 y - 5 = 0 \\ 8.380x + 5.272 y - 41.018 = 0 \\ y = +33.79 \pm 6.4 \end{array}$$

$$y' = (683^{\text{a}}8 \pm 6.4) \times 10^{-7}.$$

Nr. 79.

$$\begin{array}{l} x + 0.462 y - 6 = v = -6.8 \\ x + 0.343 y - 7 = v = -12.9 \\ x + 0.123 y + 24 = v = +8.8 \\ x + 0.088 y + 22 = v = +5.3 \\ x + 0.138 y + 21 = v = +6.4 \\ x + 0.246 y + 3 = v = -7.0 \\ x + 0.290 y + 8 = v = -0.1 \\ x + 0.383 y + 6 = v = +1.8 \\ x + 0.417 y + 5 = v = +2.3 \\ x + 0.537 y - 6 = v = -3.6 \\ x + 0.563 y - 12 = v = -8.5 \\ x + 0.624 y - 11 = v = -4.9 \\ x + 0.679 y - 1 = v = +7.4 \\ x + 0.752 y - 6 = v = +5.5 \\ x + 0.816 y - 17 = v = -2.8 \\ x + 0.872 y - 10 = v = +6.6 \\ x + 0.963 y - 18 = v = +2.5 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 17x + 8.296 y - 5 = 0 \\ 8.296x + 5.213 y - 51.905 = 0 \\ y = +42.46 \pm 6.2 \end{array}$$

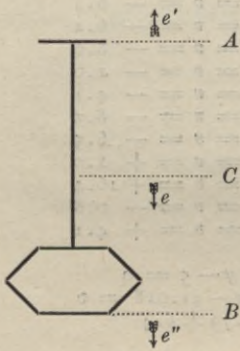
$$y' = (692^{\text{a}}5 \pm 6.2) \times 10^{-7}.$$

### 3. Einfluß der Variation des magnetischen Feldes der Erde auf die Schwingungszeiten der Nickelstahlpendel.

Um über die magnetische Natur der Pendel Aufklärung zu gewinnen, hatte ich gleich nach den ersten Beobachtungen mit ihnen Herrn Prof. Dr. AD. SCHMIDT gebeten, im magnetischen Observatorium eine Bestimmung des magnetischen Moments eines Nickelstahlpendels vornehmen zu lassen. Herr Prof. SCHMIDT erfüllte gern meine Bitte und ließ durch Herrn Dr. NIPPOLDT, der sich dieser Mühe in dankenswerter Weise unterzog, die Ablenkungsbeobachtungen vornehmen.

Herr Prof. SCHMIDT hat dann auch, wofür ich ihm ebenfalls großen Dank schulde, selbst die Berechnung der Beobachtungen vorgenommen und mir freundlichst das Manuskript zur Veröffentlichung überlassen.

#### Bestimmung des magnetischen Moments des Nickelstahlpendels Nr. 79.



„Unter  $e'$  und  $e''$  finden sich die in Zentimetern ausgedrückten Entfernungen des abgelenkten Magnets von A Schneide und B Unterfläche der Linse;  $e$  bezeichnet die in der Richtung von A nach B positiv gerechnete Entfernung des abgelenkten Magneten von C, das mitten zwischen A und B liegt, sodaß

$$e = e'' + 14.3 = -(e' + 14.3),$$

da  
ist.

$$AB = 28.6$$

Nr.	Lage der Pendellinse	$e'$	$e''$	$e$	Ruהלage 310°+	Abgelenkte Lage 310°+	Ablenkung	Abl. Feld $F$ positiv n. W.	$f = \frac{F e^3}{70^3}$
1	Ost	55.3		-69.6	33.14	35.50	+2.36	-13.70	12.78
2	West		55.2	+69.5	33.16	30.39	-2.37	+15.2	15.0
3	West		63.7	+78.0	33.19	31.46	-1.37	+9.5	13.1
4	Ost	63.8		-78.1	33.21	34.81	+1.60	-8.8	12.2
5	Ost	49.6		-63.9	33.25	35.79	+2.54	-14.0	10.6
6	West		49.6	+63.9	33.27	29.36	-3.78	+20.8	15.8

Die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung gehen bis zu 1.07%, ein Betrag, der etwas über die Schärfe der Beobachtung hinausgeht. Die Ursache dafür ist eine magnetische Störung, die zufällig in die Zeit der Messung fiel. Ich setze nun:

$$f = x + y \frac{70}{e} + z \left( \frac{70}{e} \right)^2$$

und nehme für  $z$  von vornherein den Wert an, der sich für einen schematischen Magneten von 25 cm Poldistanz ergibt. Das magnetische Moment der Linse ist nicht besonders berücksichtigt, weil bei ihrer Gestalt eine sehr viel schwächere mittlere Magnetisierung wahrscheinlich ist als bei dem Stabe. (Es ist ganz ausgeschlossen, daß bei der geringen Differenz der angewandten Entfernungen aus den stark gestörten 6 Werten eine auch nur einigermaßen zuverlässige Trennung von  $x$  und  $z$  erzielt werden könnte.) Dies gibt:

$$z = \frac{x}{2} \left( \frac{25}{70} \right)^2 = 0.064 x.$$

Hiernach ergeben sich die folgenden Fehlergleichungen 5, 6, 1, 2, 4, 3.

$$\begin{aligned} v &= 1.077 x - 1.10 y - 10.6 \\ v &= 1.077 x + 1.10 y - 15.8 \\ v &= 1.065 x - 1.01 y - 12.8 \\ v &= 1.065 x + 1.01 y - 15.0 \\ v &= 1.051 x - 0.81 y - 12.2 \\ v &= 1.051 x + 0.81 y - 13.1. \end{aligned}$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} x &= 12.46 \pm 0.43 \\ y &= 1.50 \pm 0.45 \\ z &= (0.80 \pm 0.03). \end{aligned}$$

Also

$$f = 12.5 + 1.5 \frac{70}{e} + 0.8 \left( \frac{70}{e} \right)^2.$$

Hiernach ist das Feld in der ersten Hauptlage:

$$F = 12.5 \left( \frac{70}{e} \right)^3 + 1.5 \left( \frac{70}{e} \right)^4 + 0.8 \left( \frac{70}{e} \right)^5$$

und das für Fernwirkungen maßgebende Moment:

$$M = \frac{1}{2} \times 12.5 \cdot 70^3 \times 10^{-5},$$

da  $F$  in  $\gamma$  gemessen ist, d. h.:

$$M = 21.4 \Gamma \text{ cm}^3.$$

$F$  bezeichnet die magnetische Feldstärkeneinheit im elektromagnetischen Maßsystem  $\text{cm}^{-1/2} g^{1/2} \text{sek}^{-1}$ ,  $\gamma = 0.1^5 \Gamma$ .

Es liege nun der magnetische Mittelpunkt  $O$  des Pendels, von dem man natürlich nur solange reden darf, als man die Wirkung des Magnets auf diejenige zweier Pole reduziert denken kann, in der Entfernung  $e = \varepsilon$  von  $O$  und es seien die Abstände längs der Achse im Sinne  $AB$  gemessen von  $O$  als  $e_1$  bezeichnet, dann ist  $e = e_1 + \varepsilon$  und somit:

$$F = 12.5 \left(\frac{70}{e_1}\right)^3 + 1.5 \left(\frac{70}{e_1}\right)^4 + 0.8 \left(\frac{70}{e_1}\right)^5 \\ - \frac{37.5}{70} \varepsilon \left(\frac{70}{e_1}\right)^4 - \frac{6.0}{70} \varepsilon \left(\frac{70}{e_1}\right)^5 .$$

Für  $1.5 - \frac{37.5}{70} \varepsilon = 0$ , d. h.  $\varepsilon = 2.8$  folgt:

$$F = 12.5 \left(\frac{70}{e_1}\right)^3 + 0.6 \left(\frac{70}{e_1}\right)^5$$

Der magnetische Mittelpunkt, für den eben der Wegfall des Gliedes  $\left(\frac{70}{e_1}\right)^4$  charakteristisch ist, liegt also 2.8 cm unter  $C$  oder 17.1 cm unter der Schneide. Also:

$$M = 21.4 \text{ I cm}^3 \text{ mit dem Nordpol an der Linse.}$$

Feld im Abstand  $e$  vom magnetischen Mittelpunkte in der 1. Hauptlage

$$12.5 \left(\frac{70}{e}\right)^3 + 0.6 \left(\frac{70}{e}\right)^5 ,$$

demnach Feld in der zweiten Hauptlage in der Entfernung  $e$  seitwärts vom Pendel

$$6.2 \left(\frac{70}{e}\right)^3 - 0.2 \left(\frac{70}{e}\right)^5 .''$$

Im Anschluß hieran habe ich das Pendel im magnetischen Felde schwingen lassen und den Einfluß auf die Schwingungszeit bestimmt. Das magnetische Feld stellte ich durch einen 30.5 cm langen Elektromagneten her, dessen Eisenzylinder von 0.02 m Durchmesser derart mit Kupferdraht umwickelt war, daß auf jedes laufende Zentimeter  $8\frac{1}{2}$  Windungen kamen. Die Windungen lagen siebenfach übereinander. Den elektrischen Strom lieferten drei Beutelemente. Bei der Einrichtung und der Bestimmung des Momentes des Elektromagneten unterstützte mich der wissenschaftliche Hilfsarbeiter im Geodätischen Institut Herr FÖRSTER.

Bei den Beobachtungen der Schwingungszeiten stand der Mittelpunkt des Elektromagneten in gleicher Höhe mit dem magnetischen Mittelpunkte des Pendels. Die Schwingungsrichtung des Pendels war radial und bei zwei Versuchen tangential zum Kraftfelde des Elektromagneten. Die Beobachtung der Schwingungszeiten geschah ohne Benutzung eines Referenzpendels, weil die Güte der Beobachtungsuhr DENCKER 28 und die Anordnung der Beobachtungen einen Einfluß der Schwankungen des täglichen Ganges nicht erwarten ließen.

Je zwei Beobachtungen des Pendels „mit Strom“ wurden eingeschlossen durch zwei Beobachtungen „ohne Strom“.

Die folgende Tabelle gibt die Endergebnisse der Beobachtungen. Unter  $\Delta s$  sind die Unterschiede der Schwingungszeiten „ohne Strom“ weniger „mit Strom“ in Einheiten der 7. Dezimalstelle zu verstehen.

<i>E</i>	Schwingungsrichtung des Pendels radial    tangential zum Kraftfelde.				Feld- stärke in <i>I</i>
	Lage des Nordpols des Elektromagneten				
	oben	unten	oben	unten	
	<i>Δs</i>	<i>Δs</i>	<i>Δs</i>	<i>Δs</i>	
20 <sup>cm</sup>	— 934	— 316			1.902
20	— 869	— 296			1.902
30	— 129	+ 21			0.564
30	— 120	+ 22			0.564
40	— 21	+ 6	+ 22	— 17	0.238
40			+ 10	— 24	0.221
50	— 10	+ 5	+ 6	— 13	0.122

In der Tabelle bezeichnet *E* die Entfernung der Mitte des Elektromagneten von der Pendelschneide. Betrachtet man nur die bei den Entfernungen 40 und 50 cm erhaltenen Werte, so sieht man sofort, daß ein fälschender Einfluß der Schwingungszeiten des Pendels durch die Variation der erdmagnetischen Kraft, die pro Breitengrad etwa 0.006 *I* beträgt, nicht zu befürchten ist.

Herr Professor Dr. ADOLF SCHMIDT hat die magnetischen Eigenschaften des Pendels an der Hand der obigen Beobachtungen einer theoretischen Betrachtung unterzogen, die ich hier mit seiner Genehmigung folgen lasse:

„Ist *M* das magnetische Moment des Pendels (in vertikaler Lage, positiv bei Nordpol unten), *Z* die vertikale Komponente des Magnetfeldes, in dem es schwingt, also *MZ* das magnetische Direktionsmoment, während *D* das mechanische bezeichnet, ist ferner *T* die normale, also  $T - 10^{-7} \Delta s$  die gestörte Schwingungsdauer, so hat man  $\Delta s = 10^7 T M Z : 2 D$ . Nun ist nach Angabe von Herrn Prof. HAASEMANN die Masse des Pendels 1258 g und der Abstand seines Schwerpunkts von der Schneide 21.22 cm, also  $D = 981.3 \cdot 1258 \cdot 21.22 = 2.62 \cdot 10^7$  und mit  $T = 0.5077$  demnach  $\Delta s = 0.0969 MZ$ .

Selbst für den Maximalwert der erdmagnetischen Vertikalintensität,  $Z = 0.67$ , bleibt hiernach die störende Gesamtwirkung unter  $1^8 \times 10^{-7}$ , solange  $M = 15$  ist. Bei der Vergleichung der Schwingungen an verschiedenen Orten ist indessen die Induktionswirkung, durch die *M* merklich beeinflußt werden kann, zu berücksichtigen. Beschränkt man sich auf ein Gebiet, in dem sich *Z* um nicht mehr, als etwa 0.10 ändert (was z. B. in Europa einer Breitenänderung um reichlich 15° entspricht), so kann man  $dM : dZ$  als annähernd konstant ansehen, vorausgesetzt natürlich, daß die permanente Magnetisierung

keine Änderung, etwa durch unvorsichtige Behandlung, erfährt. Auf eine Variation  $\Delta Z$  entfällt also, wenn  $\Delta M = x \Delta Z$  gesetzt wird, eine solche in  $T$  vom Betrage  $\Delta s = 0.0969 (M + xZ) \Delta Z$ . Die Konstante  $x$  wäre, wenn es darauf ankäme, für jedes Pendel zu bestimmen; sie kann der Größenordnung nach einige Hundert Einheiten erreichen. Für Deutschland, innerhalb dessen  $\Delta Z$  im Maximum 0.05 kaum übersteigt, würde hiernach  $M + xZ$  unter rund 200 zu halten sein, wenn der magnetische Störungseinfluß auf die Schwingungsdauer nirgends größer als  $1.10^{-7}$  werden soll. Das ist nach dem Gesagten durchaus zu erreichen.

Die verhältnismäßig hohen Werte von  $\Delta s$ , die sich bei den vorstehend mitgeteilten Messungen im Felde eines Elektromagneten von rund  $15000 \text{ I cm}^3$  Moment ergeben haben, erklären sich einerseits durch die ziemlich großen Änderungen dieses Feldes bei Stromumkehr, andererseits dadurch, daß das Pendel einen starken permanenten Magnetismus angenommen hatte, als es in noch größerer Nähe des Elektromagneten (bis zu 20 cm herab) beobachtet wurde.

Die Beobachtungen in 40 und 50 cm Entfernung könnten insofern Verwendung finden, als sie zur Bestimmung der Größen  $M$  und  $x$  benutzt werden können. Allerdings führt die Unsicherheit, die in bezug auf die sehr komplizierte Magnetisierung des Elektromagneten besteht, die Unmöglichkeit herbei, sein Feld in der großen Nähe zutreffend zu berechnen, und das schränkt den Wert der Ergebnisse stark ein. Dieses Feld ist nicht homogen, und sein Einfluß auf die Induktion im Pendel wie auf die Schwingungen ist infolgedessen nicht durch eine einheitliche Größe darzustellen. Man muß vielmehr drei Größen  $F_m$ , die mittlere Feldstärke längs des Pendels, die annähernd für die Induktion maßgebend ist, und  $F_r$  sowie  $F_t$  als Stärke derjenigen homogenen Felder unterscheiden, in denen das Pendel gerade so gestört werden würde, wie im Felde des Elektromagneten. Man hat dann die Beziehung

$$0.0969 [(Z + F)(M + xF_m) - ZM] = \Delta s,$$

worin  $F$  für  $F_r$  oder  $F_t$  steht.

Nun ergibt sich unter bestimmten Annahmen über die Konstitution des Elektromagneten für

die Entfernung bei Nordpol oben	40 cm	50 cm
$F_m$	0.19	0.10
$F_r$	— 0.12	— 0.06
$F_t$	0.15	0.08,

Zahlen, die nach dem Gesagten nur sehr bedingte Bedeutung haben, die aber hinreichen, die beobachteten Werte wenigstens qualitativ verständlich

zu machen. Man sieht, daß  $F_r$  und  $F_t$  entgegengesetztes Zeichen haben, und darin liegt es begründet, daß auch  $\Delta s$  beim Wechsel der Lage des Kraftfeldes zur Schwingungsebene seinen Sinn ändert.

Die Auflösung ergibt für  $\alpha$  einen physikalisch unmöglichen, nämlich negativen Wert, der allerdings nahe an Null liegt. Es deutet dies auf eine geringe Suszeptibilität des verwandten Nickelstahls hin.

Für  $M$  ergibt sich, wenn man von  $\alpha$  absieht, der Wert 1220. Die hiermit berechneten Werte von  $\Delta s$  sind

	$E = 40 \text{ cm}$		$E = 50 \text{ cm}$	
bei radialer Lage der Schwingungsebene	- 14	+ 14	- 7	+ 7
bei tangentialer Lage	+ 18	- 18	+ 9	- 7.

Die Differenzen gegenüber den beobachteten Werten sind nicht groß, aber, was nach dem Vorhergehenden nicht zu verwundern ist, systematischer Natur. Es hat keinen Zweck, an dieser Stelle darauf einzugehen, was nur an der Hand weiterer Beobachtungen geschehen könnte. Das Schlußergebnis, daß unter normalen Verhältnissen\*) die erdmagnetische Einwirkung auf die Nickelstahlpendel zu vernachlässigen ist, wird dadurch nicht berührt.“ —

Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftdruck 700 mm	Relative Luftdichte	Schwingzeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduz. Schwingzeit in Sternzeitsekunden
			Anfang	Ende	Anfang	Ende				Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhrgang	Mit-schwingen	
<b>Potsdam, Mittelkeller.</b>															
<i>Messingpendel. Juni 27.</i>															
21	9°0	25.784	23.8	18.1	15.52	15.58	55.6	41	98876	12	757	606	8	58	97451
7	9.6	30.076	19.3	14.8	15.58	15.60	55.4	41	84528	8	766	606	8	44	83112
5	10.2	30.002	17.8	12.3	15.60	15.64	55.2	40	84740	6	708	606	8	44	83384
															<b>87983</b>
21	4°0	25.783	22.5	18.1	15.68	15.64	53.0	37	98880	11	763	603	8	58	97453
7	4.6	30.075	18.3	14.5	15.64	15.68	52.9	37	84530	7	769	603	8	44	83115
5	5.2	29.999	19.0	14.8	15.68	15.68	52.8	37	84749	8	710	603	8	44	83392
															<b>87987</b>

\*) Darunter ist vor allem zu verstehen, daß das Pendel keine starke Magnetisierung besitzen soll. Falls eine solche ausnahmsweise unterwegs eintritt, so genügt eine rohe Messung des Moments, um mit Hilfe der zu Anfang angegebenen Formel eine entsprechende Korrektur abzuleiten. Bei ganz abnormen Beträgen des Moments (1000 Einheiten u. m.) müßte freilich auch die gegenseitige Einwirkung der gleichzeitig schwingenden Pendel berücksichtigt werden.

Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Aus Schlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Relative Luftdichte	Schwingzeit in Uhrzeitsekunden	Korrek tionen wegen					Reduz. Schwingzeit in Sternzeitsekunden
			Anfang	Ende	Anfang	Ende				Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhr gang	Mit schwingen	
Juni 28.															
21	9.0	25.782	24.0	18.8	15.60	15.64	53.5	0.9 38	0.50 98884	—	—	—	+	—	0.50 97454
7	9.6	30.075	17.8	12.5	15.64	15.68	53.4	38 84530	6	769	604	5	44	83112	
5	10.2	29.997	19.0	12.8	15.68	15.66	53.2	38 84754	7	710	604	5	44	83394	
														<b>87987</b>	
21	4.6	25.781	24.0	18.8	15.70	15.72	51.9	35 98888	12	766	602	5	58	97455	
7	5.2	30.072	17.5	13.1	15.72	15.76	52.0	36 84539	6	773	603	5	44	83118	
5	5.8	29.992	18.8	14.5	15.76	15.76	52.1	36 84769	7	714	603	5	44	83406	
														<b>87993</b>	
Juni 29.															
21	9.0	25.781	22.5	17.5	15.70	15.72	49.6	0.9 33	0.50 98888	—	—	—	+	—	0.50 97453
7	9.6	30.074	18.0	14.3	15.72	15.72	49.7	33 84534	11	766	601	1	58	83110	
5	10.2	29.997	18.5	14.3	15.72	15.76	49.7	33 84754	8	713	601	1	44	83389	
														<b>87984</b>	
21	4.6	25.780	22.5	17.5	15.86	15.88	48.1	30 98892	11	773	599	1	58	97452	
7	5.2	30.073	17.5	12.5	15.88	15.90	47.6	30 84537	6	780	599	1	44	83109	
5	5.8	29.994	18.0	12.8	15.90	15.92	47.1	29 84763	6	721	598	1	44	83395	
														<b>87985</b>	
Nickelstahlpendel. Juni 20.															
79	9.3	32.869	18.0	12.5	14.82	14.84	60.9	0.9 50	0.50 77234	—	—	—	+	—	0.50 76477
77	10.1	32.657	18.0	12.6	14.84	14.90	61.0	50 77743	6	47	658	12	58	77006	
76	11.1	32.687	17.9	12.5	14.90	14.96	61.0	50 77671	6	50	649	12	44	76936	
														<b>76806</b>	
79	4.6	32.872	17.8	12.5	14.96	15.02	60.4	48 77227	6	47	657	12	58	76471	
77	5.4	32.660	17.8	12.5	15.02	15.04	60.4	48 77736	6	50	647	12	44	77001	
76	6.2	32.689	16.8	10.3	15.04	15.08	60.7	48 77666	5	42	653	12	44	76934	
														<b>76802</b>	
Juni 21.															
79	9.3	32.873	17.8	12.5	15.00	15.04	61.5	0.9 50	0.50 77225	—	—	—	+	—	0.50 76466
77	10.1	32.657	17.8	12.5	15.04	15.08	61.3	49 77743	6	48	658	11	58	77006	
76	10.9	32.686	17.0	12.5	15.08	15.10	61.3	49 77674	6	50	648	11	44	77007	
														<b>76939</b>	
														<b>76804</b>	
79	4.6	32.870	18.1	12.5	15.12	15.12	59.5	47 77232	6	48	656	11	58	76475	
77	5.1	32.657	17.5	12.5	15.12	15.10	59.3	47 77743	6	50	647	11	44	77007	
76	6.1	32.687	17.3	12.0	15.10	15.14	59.0	46 77671	6	42	652	11	44	76938	
														<b>76807</b>	



Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koin- ziden- zen- inter- vall	Aus Schlag in Bogen- minuten am		Pendel- temperatur am		Luft- druck 700 <sup>mm</sup> +	Rela- tive Luft- dichte	Schwing- zeit in Uhrzeit- sekunden	Korrek tionen wegen					Reduz. Schwing- zeit in Sternzeit- sekunden	
			An- fang	En- de	Anfang	Ende				Ausschlag	Tempe- ratur	Luft- dichte	Uhrgang	Mit- schwingen		
Juni 22.																
79	9.4	32.872	17.5	11.0	15.12	15.11	57.1	44	0.50	77227	6	48	654	9	58	0.50 76470
77	10.2	32.657	17.5	12.5	15.11	15.11	57.0	44	77743	6	50	645	9	44	77007	
76	11.1	32.690	17.4	11.0	15.11	15.18	56.6	43	77663	6	42	650	9	44	76930 76802	
79	4.7	32.871	17.5	12.5	15.26	15.30	55.9	41	77230	6	48	652	9	58	76475	
77	5.8	32.659	19.5	11.8	15.30	15.30	55.8	41	77738	7	51	643	9	44	77002	
76	6.8	32.688	16.5	9.3	15.30	15.36	55.7	41	77668	4	43	649	9	44	76937 76805	
Münster i. W.																
Messingpendel. Juli 14.																
21	3.6	26.047	18.4	14.4	16.11	16.08	58.8	43	0.50 97859	7	784	607	1187	73	97575	
5	4.4	30.366	27.2	20.0	16.08	16.06	59.0	43	83707	15	728	607	1183	57	83483	
7	5.2	30.447	22.6	17.0	16.06	16.06	59.2	43	83480	11	789	607	1183	57	83199 88086	
21	12.6	26.044	18.1	14.6	16.00	16.00	58.8	43	97870	7	779	607	1187	73	97591	
5	1.4	30.367	27.2	20.3	16.00	16.02	58.8	43	83704	15	725	607	1183	57	83483	
7	2.2	30.445	23.0	17.4	16.02	16.06	58.7	43	83486	11	788	607	1183	57	83206 88093	
Juli 14 und 15.																
21	6.8	26.044	18.4	14.4	16.22	16.26	58.1	42	0.50 97870	7	791	606	1185	73	97578	
7	7.6	30.439	22.6	17.6	16.26	16.28	58.2	42	83503	11	799	606	1181	57	83211	
5	8.4	30.363	27.0	20.0	16.28	16.32	58.2	42	83716	15	738	606	1181	57	83481 88090	
21	11.2	26.041	21.7	17.0	16.20	16.24	56.8	40	97882	10	790	605	1185	73	97589	
7	12.0	30.437	24.4	17.8	16.24	16.30	56.5	40	83508	12	799	605	1181	57	83216	
5	12.8	30.359	27.4	20.0	16.30	16.36	56.2	40	83727	15	740	605	1181	57	83491 88099	
Juli 16.																
21	7.8	26.037	25.5	20.7	16.50	16.50	56.5	38	0.50 97897	14	804	604	1185	73	97583	
7	8.6	30.436	18.2	13.6	16.50	16.50	56.6	39	83511	7	810	605	1181	57	83217	
5	9.5	30.364	20.7	15.4	16.50	16.52	56.9	39	83713	9	748	605	1181	57	83475 88092	
21	6.6	26.037	21.3	14.7	16.80	16.84	56.6	38	97897	9	819	604	1185	73	97577	
7	7.5	30.434	20.0	15.0	16.84	16.84	56.5	38	83517	9	827	604	1181	57	83201	
5	8.4	30.365	20.0	14.8	16.84	16.84	56.4	38	83710	9	763	604	1181	57	83458 88079	













Pendel Nr.	Gehäuftes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koin- ziden- zen- inter- vall	Aus Schlag in Bogen- minuten am		Pendel- temperatur am		Luft- druck 700 <sup>mm</sup> +	Rela- tive Luft- dichte	Schwing- zeit in Uhrzeit- sekunden	Korrek tionen wegen					Reduz. Schwing- zeit in Sternzeit- sekunden
			An- fang	En- de	Anfang	Ende				Ausschlag	Tempe- ratur	Luft- dichte	Uhr- gang	Mit- schwin- gen	
<i>Nickelstahlpendel. August 19.</i>															
					+	+		0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
79	7.8	32.891	16.3	11.8	15.98	15.98	52.1	35	77182	5	51	648	75	66	76487
76	8.7	32.711	18.8	13.3	15.98	16.00	52.3	35	77614	7	45	644	75	51	76942
77	9.6	32.687	17.0	12.3	16.00	16.00	52.8	36	77671	6	53	639	75	51	76997
															<b>76809</b>
79	4.6	32.890	18.3	12.3	16.20	16.20	54.4	37	77184	6	51	649	75	66	76487
76	5.5	32.714	19.3	14.3	16.20	16.28	54.9	38	77606	7	46	646	75	51	76931
77	6.4	32.684	20.0	15.3	16.28	16.30	55.3	38	77678	9	54	641	75	51	76998
															<b>76805</b>
<i>Minden i. W.</i>															
<i>Messingpendel. August 22 und 23.</i>															
					+	+		0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
21	9.8	25.776	20.3	15.8	19.36	19.38	56.9	28	98908	9	943	599	114	48	97423
5	10.7	29.995	16.0	12.5	19.38	19.42	56.8	28	84760	5	879	599	114	34	83357
7	11.6	30.057	16.0	12.5	19.42	19.52	56.6	28	84582	5	956	599	114	34	83102
															<b>87961</b>
21	8.5	25.769	22.5	17.5	19.70	19.71	53.6	24	98936	11	959	595	114	48	97437
5	9.4	29.978	20.1	15.8	19.71	19.76	53.4	24	84809	9	894	595	114	34	83391
7	10.3	30.051	23.4	17.5	19.76	19.81	53.3	24	84599	12	972	595	114	34	83100
															<b>87976</b>
<i>August 23 und 24.</i>															
					+	+		0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
21	9.8	25.761	21.4	17.0	20.20	20.18	57.7	26	98967	10	983	596	109	48	97439
5	10.7	29.972	17.8	13.3	20.18	20.18	57.8	26	84826	7	914	596	109	34	83384
7	11.6	30.040	17.5	12.5	20.18	20.20	57.9	26	84631	6	991	596	109	34	83113
															<b>87979</b>
21	8.5	25.769	20.5	16.3	19.68	19.61	59.2	32	98936	9	957	600	109	48	97431
5	9.4	29.982	17.5	13.0	19.61	19.56	59.3	32	84797	6	888	600	109	34	83378
7	10.3	30.056	17.0	12.3	19.56	19.62	59.2	32	84595	6	962	600	109	34	83102
															<b>87970</b>
<i>Nickelstahlpendel. August 23.</i>															
					+	+		0.9	0.50	—	—	—	+	—	<b>0.50</b>
79	12.6	32.916	17.5	12.0	19.66	19.68	56.5	28	77123	6	62	643	114	48	76478
76	1.5	32.737	19.5	14.4	19.68	19.72	56.2	28	77550	8	55	639	114	34	76928
77	2.4	32.709	21.1	15.1	19.72	19.82	56.0	28	77618	9	65	634	114	34	76990
															<b>76799</b>
79	11.2	32.909	18.0	13.0	19.88	20.00	53.3	24	77139	7	63	640	114	48	76495
76	12.1	32.732	19.3	14.2	20.00	20.06	53.1	24	77562	8	56	637	114	34	76941
77	1.0	32.705	17.5	12.5	20.06	20.20	52.7	24	77628	6	66	631	114	34	77005
															<b>76814</b>







Tabelle I.

Zusammenstellung der Messingpendelbeobachtungen.

(Die Schwingungszeiten der Pendel in Potsdam sind durch Addition von  $+ 3^s \times 10^{-7}$  auf den Pfeiler Nr. 31 des Pendelsaales bezogen.)

Nr.	Station	Pendel Nr. 21		Pendel Nr. 7		Pendel Nr. 5		Mittl. Pendel		Anzahl der Beobachtungen	
		Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]		
	Potsdam . . . . .	1	0. <sup>s</sup> 5097455	2	0. <sup>s</sup> 5083117	1	0. <sup>s</sup> 5083391	32	0. <sup>s</sup> 5087988	8	2
		2	0.5097458	1	0.5083118	18	0.5083403	72	0.5087993	18	2
		3	0.5097456	1	0.5083113	1	0.5083395	18	0.5087988	1	2
			0.5097456		0.5083116		0.5083396		0.5087990		
1	Münster i. W. . . . .	1	0.5097583	128	0.5083203	25	0.5083483	0	0.5088090	25	2
		2	0.5097584	61	0.5083214	13	0.5083486	50	0.5088095	41	2
		3	0.5097582	50	0.5083207	72	0.5083467	145	0.5088085	85	2
			0.5097583		0.5083208		0.5083479		0.5088090		
2	Ladbergen . . . . .		0.5097535	98	0.5083167	145	0.5083430	221	0.5088044	145	2
3	Iburg . . . . .		0.5097510	128	0.5083188	145	0.5083453	0	0.5088050	0	2
4	Ibbenbüren . . . . .	1	0.5097433	50	0.5083098	18	0.5083351	41	0.5087961	41	2
		*) 2	0.5097446	(41)	0.5083084	(1013)	0.5083357	(450)	0.5087962	(242)	2
			0.5097440		0.5083091		0.5083354		0.5087962		
5	Osnabrück . . . . .		0.5097414	32	0.5083089	25	0.5083355	2	0.5087953	13	2
6	Bramsche . . . . .	1	0.5097329	18	0.5083011	221	0.5083261	61	0.5087867	85	2
		2	0.5097337	113	0.5083008	0	0.5083275	18	0.5087873	5	2
			0.5097333		0.5083010		0.5083268		0.5087870		
7	Bohmte . . . . .		0.5097395	5	0.5083070	200	0.5083328	50	0.5087931	41	2
8	Melle i. H. . . . .	1	0.5097438	113	0.5083110	365	0.5083383	265	0.5087977	221	2
		2	0.5097468	61	0.5083137	41	0.5083401	32	0.5088002	8	2
		3	0.5097488	.	0.5083146	.	0.5083424	.	0.5088019	.	1
			0.5097460		0.5083128		0.5083398		0.5087995		
9	Lübbecke . . . . .		0.5097436	32	0.5083113	32	0.5083382	242	0.5087977	72	2
10	Minden i. W. . . . .	1	0.5097430	98	0.5083101	2	0.5083374	578	0.5087968	113	2
		2	0.5097435	32	0.5083108	61	0.5083381	18	0.5087975	41	2
			0.5097433		0.5083105		0.5083378		0.5087972		
	Potsdam . . . . .	1	0.5097440	.	0.5083099	.	0.5083369	.	0.5087969	.	1
		2	0.5097443	.	0.5083101	.	0.5083365	.	0.5087970	.	1
		3	0.5097438	50	0.5083102	61	0.5083380	18	0.5087973	41	2
		4	0.5097445	.	0.5083108	.	0.5083385	.	0.5087979	.	1
		5	0.5097450	.	0.5083134	.	0.5083384	.	0.5087989	.	1
		6	0.5097450	5	0.5083110	18	0.5083392	5	0.5087984	8	2
		7	0.5097452	41	0.5083127	0	0.5083385	181	0.5087988	41	2
			0.5097446		0.5083112		0.5083382		0.5087980		
Summe der Fehlerquadrate:			1119		1464		2049		1053		

\*) Bei der Berechnung der mittleren Fehler ausgeschlossen, da die Beobachtungen durch Klopfen auf dem Fußboden des Nebenkellers gestört wurden.

Tabelle II.

Zusammenstellung der Nickelstahlpendelbeobachtungen.

(Die Schwingungszeiten der Pendel in Potsdam sind durch Addition von  $+3^8 \times 10^{-7}$  auf den Pfeiler Nr. 31 des Pendelsaales bezogen.)

Nr.	Station	Pendel Nr. 79		Pendel Nr. 76		Pendel Nr. 77		Mittl. Pendel		Anzahl der Beobachtungen		
		Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>vv</i> ]			
	Potsdam . . . . .	1	0. <sup>8</sup> 5076477	18	0. <sup>8</sup> 5076938	2	0. <sup>8</sup> 5077007	13	0. <sup>8</sup> 5076807	8	2	
		2	0.5076474	41	0.5076942	1	0.5077010	1	0.5076809	5	2	
		3	0.5076476	13	0.5076937	25	0.5077008	13	0.5076807	5	2	
			0.5076476		0.5076939		0.5077008		0.5076808			
1	Münster i. W. . . . .	1	0.5076631	13	0.5077046	13	0.5077110	25	0.5076929	5	2	
		2	0.5076630	2	0.5077050	61	0.5077102	5	0.5076927	8	2	
			0.5076631		0.5077048		0.5077106		0.5076928			
2	Ladbergen . . . . .		0.5076589	5	0.5076996	72	0.5077063	18	0.5076883	25	2	
3	Iburg . . . . .		0.5076563	18	0.5077011	13	0.5077075	13	0.5076883	8	2	
4	Ibbenbüren . . . . .	1	0.5076486	32	0.5076932	13	0.5076991	13	0.5076803	1	2	
		*) 2	0.5076473	(1922)	0.5076919	(2381)	0.5076984	(1625)	0.5076792	(1985)	2	2
			0.5076480		0.5076926		0.5076988		0.5076798			
5	Osnabrück . . . . .		0.5076477	18	0.5076918	25	0.5076981	72	0.5076792	8	2	
6	Bramsche . . . . .	1	0.5076387	8	0.5076832	8	0.5076894	32	0.5076704	5	2	
		2	0.5076383	5	0.5076839	13	0.5076897	1	0.5076706	2	2	
			0.5076385		0.5076835		0.5076896		0.5076705			
7	Bohmte . . . . .		0.5076448	98	0.5076896	113	0.5076962	18	0.5076769	61	2	
8	Melle i. H. . . . .	1	0.5076494	242	0.5076937	288	0.5077004	200	0.5076812	242	2	
		2	0.5076528	128	0.5076971	32	0.5077035	8	0.5076845	41	2	
		3	0.5076535	.	0.5076980	.	0.5077036	.	0.5076850	.	1	
			0.5076516		0.5076959		0.5077023		0.5076833			
9	Lübbecke . . . . .		0.5076487	0	0.5076937	61	0.5076998	1	0.5076807	8	2	
10	Minden i. W. . . . .	1	0.5076487	145	0.5076935	85	0.5076998	113	0.5076807	113	2	
		2	0.5076492	1	0.5076931	8	0.5077002	41	0.5076808	2	2	
			0.5076490		0.5076933		0.5077000		0.5076808			
	Potsdam . . . . .	1	0.5076496	1	0.5076935	13	0.5077002	2	0.5076811	1	2	
		2	0.5076497	72	0.5076932	0	0.5077001	1	0.5076810	8	2	
		3	0.5076506	61	0.5076932	1	0.5077005	8	0.5076814	2	2	
			0.5076500		0.5076933		0.5077003		0.5076812			
Summe der Fehlerquadrate:			921		847		598		558			

\*) Bei der Berechnung der mittleren Fehler ausgeschlossen, da die Beobachtungen durch Klopfen auf dem Fußboden des Kellers gestört wurden.

1. Mittlerer Fehler aus der innern Übereinstimmung von zwei zusammengehörigen an einem Tage beobachteten Pendelreihen.

Die auf einigen Stationen beobachteten einzelnen Pendelreihen sind natürlicherweise von dieser Berechnung ausgeschlossen, ebenso wurde die zweite Tagesreihe in Ibbenbüren ausgeschlossen, weil sie nachweislich systematisch gefälscht ist.

a. *Messingpendel.*

Aus 42 Einzelwerten in 21 Gruppenmitteln erhält man nach Tabelle I:

$$m_{21} = \pm 7^{\cdot 3} \times 10^{-7}; \quad m_7 = \pm 8^{\cdot 4} \times 10^{-7}; \quad m_5 = \pm 9^{\cdot 9} \times 10^{-7}.$$

Als mittleren Fehler des aus drei Pendeln abgeleiteten mittleren Pendels findet man:

$$m'_I = \pm 7^{\cdot 1} \times 10^{-7},$$

Der mittlere Fehler des aus zwei Reihen zu je drei Pendeln gewonnenen Tagesmittels des mittleren Pendels ist daher:

$$m_I = \pm 5^{\cdot 0} \times 10^{-7}.$$

In diesem mittleren Fehler kommen nach seiner Entstehungsart die zufälligen Fehler sowohl als auch die systematischen Fehler voll zum Ausdruck. Er wird also die obere Grenze dieses Fehlers darstellen.

*Zusammenhang zwischen zufälligen und systematischen Fehlern\*).*

Bezeichnen wir mit  $\mu$  den zufälligen, mit  $\kappa$  den systematischen Teil des mittleren Gesamtfehlers, so haben wir (vergl. Tabelle I) für Einheiten der 7. Dezimalstelle:

$$\mu_m^2 + \kappa_m^2 = \frac{1119 + 1464 + 2049}{3 \times 21} \quad \text{und} \quad \frac{\mu_m^2}{3} + \kappa_m^2 = \frac{1053}{21}$$

$$\mu_m = \pm 5^{\cdot 9} \times 10^{-7}, \quad \kappa_m = \pm 6^{\cdot 2} \times 10^{-7}.$$

b. *Nickelstahlpendel.*

Aus 40 Einzelwerten in 20 Gruppenmitteln berechnet sich nach Tabelle II:

$$\mu_{19} = \pm 6^{\cdot 8} \times 10^{-7}, \quad \mu_{17} = \pm 5^{\cdot 5} \times 10^{-7}, \quad \mu_{16} = \pm 6^{\cdot 5} \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler des aus drei Pendeln bestehenden mittleren Pendels:

$$m'_I = \pm 5^{\cdot 3} \times 10^{-7}$$

und des aus zwei Reihen erhaltenen Tagesmittels des mittleren Pendels:

$$m_I = \pm 3^{\cdot 8} \times 10^{-7}.$$

\*) Vgl. hierzu: E. BORRASS, „Bestimmung der Intensität der Schwerkraft auf 17 Stationen in der Nähe des Berliner Meridians von Elsterwerda bis Arkona. Veröffentlichung des Königl. Preussischen Geodätischen Institutes. (Neue Folge Nr. 9).“ Berlin 1902. Seite 131.

*Zusammenhang zwischen zufälligen und systematischen Fehlern*

(S. 64, Tabelle II, für Einheiten der 7. Dezimalstelle):

$$\mu_n^2 + \alpha_n^2 = \frac{921 + 847 + 598}{3 \times 20}, \quad \frac{\mu_n^2}{3} + \alpha_n^2 = \frac{558}{20},$$

$$\mu_n = \pm 4.2 \times 10^{-7}, \quad \alpha_n = \pm 4.7 \times 10^{-7}.$$

Die systematischen Fehler sind bei beiden Pendelarten größer als die zufälligen. Dabei sind die systematischen Fehler der Beobachtungen der Messingpendel größer als die der Nickelstahlpendel. Außer den Schwankungen des täglichen Ganges der Beobachtungsuhr, die auf beide Pendelarten in nahezu gleicher Weise einwirken, kommen für die Beobachtungen der Messingpendel noch die Einflüsse der veränderlichen Temperatur oder der mehr oder weniger guten Übereinstimmung der Pendeltemperatur mit der vom Thermometer angezeigten in Betracht. So konstant auch die Temperaturen während der Beobachtungen gewesen sind, so ist der erwähnte Einfluß doch merklich.

2. Eine zweite Berechnungsart der mittleren Fehler der beobachteten Schwingungszeiten ist wieder die aus den Unterschieden der Einzelpendel gegen ihr Mittel. Wir benutzen auch hier wieder die Tagesmittel der einzelnen Pendel (S. 67, Tabelle III).

Auf den beiden ersten Feldstationen *Münster i. W.* und *Ladbergen* zeigten die beiden Pendel Nr. 21 und 79, die stets auf dem mittleren Lager des Pendelstativs schwangen, eine auffallende Änderung. Auf der dritten Station hatten beide ihren ursprünglichen Wert wieder angenommen. Die zeitweise Veränderung wird demnach nicht durch Änderung der Pendel, sondern durch eine von mir nicht aufgeklärte Beschaffenheit des Lagers hervorgerufen sein. Die Schwingungszeit beider Pendel zeigte sich auf den genannten Stationen fast um die gleiche Größe zu klein. In der nachstehenden Tabelle sind die Unterschiede gegen das mittlere Pendel einmal mit Einschluß der beiden verdächtigen Stationen und das anderemal ohne sie dargestellt. Zur Berechnung der mittleren Fehler sind nur die zweiten Darstellungen benutzt worden. Die Abweichungen der Einzelwerte von ihrem Reihenmittel als zufällige Fehler angesehen, erhält man:

a. *Für die Messingpendel.*

Als mittleren Fehler eines Tagesmittels einer Pendelbeobachtung für Einheiten der 7. Dezimalstelle:

$$m'_{II} = \frac{564 + 590 + 525}{2(r-1)} = \frac{1679}{2 \times 17}, \quad m'_{II} = \pm 7.0 \times 10^{-7}$$

und demnach als mittleren Fehler des Tagesmittels des aus 3 Pendeln bestehenden mittleren Pendels:

$$m_{II} = \pm 4.0 \times 10^{-7}.$$

In diesem mittleren Fehler sind die Einflüsse der systematischen Fehler, die von der Schwankung des Uhranges und nicht ausgeglichener Temperatur herrühren, stark verkleinert gegen den auf S. 65 abgeleiteten:

$$m_I = \pm 5.0 \times 10^{-7}.$$

Tabelle III.

*Übersicht der Unterschiede der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel.*

Nr.	Station	Unterschiede mittleres Pendel weniger			Abweichungen der Einzelwerte vom Reihennittel															
		Nr. 21	Nr. 7	Nr. 5	mit Station 1 und 2			ohne Station 1 und 2												
					Nr. 21	Nr. 7	Nr. 5	Nr. 21	Nr. 7	Nr. 5										
<b>Messingpendel.</b>																				
1	Potsdam . . . . .	- 9467	+ 4871	+ 4597	- 3	- 2	+ 3	+ 2	- 4	+ 1										
		- 9465	+ 4875	+ 4590	- 5	- 6	+ 10	0	- 8	+ 8										
		- 9468	+ 4875	+ 4593	- 2	- 6	+ 7	+ 3	- 8	+ 5										
	Münster i. W. . . . .	- 9493	+ 4887	+ 4607	+ 23	- 18	- 7													
		- 9489	+ 4881	+ 4609	+ 19	- 12	- 9													
		- 9497	+ 4878	+ 4618	+ 27	- 8	- 18													
	2 Ladbergen . . . . .	- 9491	+ 4877	+ 4614	+ 21	- 8	- 14													
	3 Iburg . . . . .	- 9460	+ 4862	+ 4597	- 10	+ 7	+ 3	- 5	+ 5	+ 1										
	4 Ibbenbüren . . . . .	- 9472	+ 4863	+ 4610	+ 2	+ 6	- 10	+ 7	+ 4	- 12										
		- 9484	+ 4878	+ 4605	+ 14	- 9	- 5	+ 19	- 11	- 7										
5 Osnabrück . . . . .	- 9461	+ 4864	+ 4598	- 9	+ 5	+ 2	- 4	+ 3	0											
6 Bramsche . . . . .	- 9462	+ 4856	+ 4606	- 8	+ 13	- 6	- 3	+ 11	- 8											
	- 9464	+ 4865	+ 4598	- 6	+ 4	+ 2	- 1	+ 2	0											
7 Bohmte . . . . .	- 9464	+ 4861	+ 4603	- 6	+ 8	- 3	- 1	+ 6	- 5											
8 Melle i. H. . . . .	- 9461	+ 4867	+ 4594	- 9	+ 2	+ 6	- 4	0	+ 4											
	- 9466	+ 4865	+ 4601	- 4	+ 4	- 1	+ 1	+ 2	- 3											
9 Lübbecke . . . . .	- 9459	+ 4864	+ 4595	- 11	+ 5	+ 5	- 6	+ 3	+ 3											
10 Minden i. W. . . . .	- 9462	+ 4867	+ 4594	- 8	+ 2	+ 6	- 3	0	+ 4											
	- 9460	+ 4867	+ 4594	- 10	+ 2	+ 6	- 5	0	+ 4											
Potsdam . . . . .	- 9465	+ 4871	+ 4593	- 5	- 2	+ 7	0	- 4	+ 5											
	- 9466	+ 4874	+ 4592	- 4	- 5	+ 8	+ 1	- 7	+ 6											
	- 9464	+ 4861	+ 4603	- 6	+ 8	- 3	- 1	+ 6	- 5											
Summe der Quadrate der Abweichungen:					3074	1258	1251	564	590	525										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Nr. 79</th> <th>Nr. 76</th> <th>Nr. 77</th> <th>Nr. 79</th> <th>Nr. 76</th> <th>Nr. 77</th> <th>Nr. 79</th> <th>Nr. 76</th> <th>Nr. 77</th> </tr> </thead> </table>												Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77
	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77											
<b>Nickelstahlpendel.</b>																				
1	Potsdam . . . . .	+ 330	- 131	- 200	- 14	+ 5	+ 9	- 10	+ 4	+ 7										
		+ 335	- 133	- 201	- 19	+ 7	+ 10	- 15	+ 6	+ 8										
		+ 331	- 130	- 201	- 15	+ 4	+ 10	- 11	+ 3	+ 8										
	Münster i. W. . . . .	+ 298	- 117	- 181	+ 18	- 9	- 10													
		+ 297	- 123	- 175	+ 19	- 3	- 16													
	2 Ladbergen . . . . .	+ 294	- 113	- 180	+ 22	- 13	- 11													
	3 Iburg . . . . .	+ 320	- 128	- 192	- 4	+ 2	+ 1	0	+ 1	- 1										
	4 Ibbenbüren . . . . .	+ 317	- 129	- 188	- 1	+ 3	- 3	+ 3	+ 2	- 5										
		+ 319	- 127	- 192	- 3	+ 1	+ 1	+ 1	0	- 1										
	5 Osnabrück . . . . .	+ 315	- 126	- 189	+ 1	0	- 2	+ 5	- 1	- 4										
6 Bramsche . . . . .	+ 317	- 128	- 190	- 1	+ 2	- 1	+ 3	+ 1	- 3											
	+ 323	- 133	- 191	- 7	+ 7	0	- 3	+ 6	- 2											
7 Bohmte . . . . .	+ 321	- 127	- 193	- 5	+ 1	+ 2	- 1	0	0											
8 Melle i. H. . . . .	+ 318	- 125	- 192	- 2	- 1	+ 1	+ 2	- 2	- 1											
	+ 317	- 126	- 190	- 1	0	- 1	+ 3	- 1	- 3											
9 Lübbecke . . . . .	+ 320	- 130	- 191	- 4	+ 4	0	0	+ 3	- 2											
10 Minden i. W. . . . .	+ 320	- 128	- 191	- 4	+ 2	0	0	+ 1	- 2											
	+ 316	- 123	- 194	0	- 3	+ 3	+ 4	- 4	+ 1											
Potsdam . . . . .	+ 315	- 124	- 191	+ 1	- 2	0	+ 5	- 3	- 2											
	+ 313	- 122	- 191	+ 3	- 4	0	+ 7	- 5	- 2											
	+ 308	- 118	- 191	+ 8	- 8	0	+ 12	- 9	- 2											
Summe der Quadrate der Abweichungen:					2164	531	789	747	250	264										

b. Für die Nickelstahlpendel.

$$m''_{II} = \frac{747 + 250 + 264}{2 \times 17}, \quad m'_{II} = \pm 6^{\cdot}1 \times 10^{-7}.$$

In gleicher Weise, wie vorhin auf S. 66 gebildet, ergibt sich:

$$m_{II} = \pm 3^{\cdot}5 \times 10^{-7}.$$

In diesen mittleren Fehlern  $m_{II}$  sind die Veränderungen der Pendel auf der Station nahezu eliminiert, dagegen kommen ihre Veränderungen von Station zu Station voll zum Spruch. Das kommt recht zur Geltung bei der Summe der  $vv$ , die das Pendel Nr. 79 liefert, das sich von allen am stärksten geändert hat. Wie groß der Einfluß der Veränderungen der Pendel auf den Unterschied der Schwingungszeit eines mittleren Pendels einer *Feldstation* gegen den gleichen Wert in *Potsdam* zu schätzen ist, soll später ermittelt werden.

3. Ableitung des mittleren Fehlers aus den Unterschieden der Schwingungszeiten *Feldstation* weniger *Potsdam*.)

Für *Potsdam* legen wir das Mittel der Schwingungszeiten aus den beiden Anschlußreihen zugrunde.

Nr.	Station	Messingpendel				Rezi- proke Ge- wichts- zahlen	Nickelstahlpendel				Rezi- proke Ge- wichts- zahlen
		Unterschiede <i>Feldstation</i> weniger <i>Potsdam</i>					Unterschiede <i>Feldstation</i> weniger <i>Potsdam</i>				
		Nr. 21	Nr. 7	Nr. 5	$M_P$		Nr. 79	Nr. 77	Nr. 76	$M_P$	
1	Münster i. W.	+132	+ 94	+ 90	+105	0.17	+143	+100	+112	+118	0.25
2	Ladbergen ...	+ 84	+ 53	+ 41	+ 59	0.50	+101	+ 57	+ 60	+ 73	0.50
3	Iburg .....	+ 59	+ 74	+ 64	+ 65	0.50	+ 75	+ 69	+ 75	+ 73	0.50
4	Ibbenbüren ..	— 11	— 23	— 35	— 23	0.25	— 8	— 18	— 10	— 12	0.25
5	Osnabrück ...	— 37	— 25	— 34	— 32	0.50	— 11	— 25	— 18	— 18	0.50
6	Bramsche ....	—118	—104	—121	—115	0.25	—103	—110	—101	—105	0.25
7	Bohmte .....	— 56	— 44	— 61	— 54	0.50	— 40	— 44	— 40	— 41	0.50
8	Melle i. H. ...	+ 9	+ 14	+ 9	+ 10	0.20	+ 28	+ 17	+ 23	+ 23	0.20
9	Lübbecke ....	— 15	— 1	— 7	— 8	0.50	— 1	— 8	+ 1	— 3	0.50
10	Minden i. W. .	— 18	— 9	— 11	— 13	0.25	+ 2	— 6	— 3	— 2	0.25

An den Unterschieden sieht man deutlich die auffallende Abweichung der beiden auf dem mittleren Lager schwingenden Pendel Nr. 21 und Nr. 79 auf den beiden ersten Stationen *Münster* und *Ladbergen*. Bei beiden Pendeln ist die Abweichung von dem Mittel der zugehörigen Pendel nahezu gleich. Sie sind bei der folgenden Fehlerberechnung als nicht einwurfsfrei ausgeschlossen worden, sodaß uns nur 8 *Feldstationen* für diese Fehlerrechnung übrigbleiben.

Wir bezeichnen mit  $n$  die Anzahl der in *Potsdam* beobachteten Reihen zu drei Pendeln, mit  $n'$  die Anzahl der auf den *Feldstationen* beobachteten Reihen.

\*) Vergl. E. BORRASS a. a. O., S. 134.



Bildet man für beide Pendelarten die Unterschiede der Einzelwerte gegen ihr Mittel, so erhält man die folgende Zusammenstellung.

Nr.	Station	Messingpendel				Nickelstahlpendel			
		Abweichungen vom Mittel			Reziproke Gewichtszahlen	Abweichungen vom Mittel			Reziproke Gewichtszahlen
		Nr. 21	Nr. 7	Nr. 5		Nr. 79	Nr. 77	Nr. 76	
1	Iburg.....	+ 6	— 9	+ 1	0.50	— 2	+ 4	— 2	0.50
2	Ibbenbüren.....	— 12	0	+ 12	0.25	— 4	+ 6	— 2	0.25
3	Osnabrück.....	+ 5	— 7	+ 2	0.50	— 7	+ 7	0	0.50
4	Bramsche.....	+ 3	— 11	+ 6	0.25	— 2	+ 5	— 4	0.25
5	Bohmte.....	+ 2	— 10	+ 7	0.50	— 1	+ 3	— 1	0.50
6	Melle i. H.....	+ 1	— 4	+ 1	0.20	— 5	+ 6	0	0.20
7	Lübbecke.....	+ 7	— 7	— 1	0.50	— 2	+ 5	— 4	0.50
8	Minden i. W. ...	+ 5	— 4	— 2	0.25	— 4	+ 4	+ 1	0.25

Als Summe der reziproken Gewichtszahlen für *Potsdam* erhält man

$$\text{nach S. 63 für die Messingpendel: } \frac{1}{n} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{10} \right),$$

$$\text{nach S. 64 für die Nickelstahlpendel: } \frac{1}{n} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right).$$

Nun ist:

$$m'_{III} = \frac{[vv]}{2 \Sigma \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n'} \right)};$$

worin bei acht der Berechnung zugrunde gelegten Stationen zu setzen ist:

$$\text{für die Messingpendel: } \Sigma \frac{1}{n} = 8 \cdot \frac{1}{3} \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{10} \right) = 0.71,$$

$$\text{für die Nickelstahlpendel: } \Sigma \frac{1}{n} = 8 \cdot \frac{1}{3} \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \right) = 0.89.$$

$$\Sigma \frac{1}{n'} \text{ ist für beide Pendelarten} = 2.95.$$

Dann ergibt sich:

$$m'_{III} = \frac{965}{7.32}; \quad m'_{III} = \pm 11.5 \times 10^{-7} \text{ für die Messingpendel,}$$

$$m'_{III} = \frac{373}{7.68}; \quad m'_{III} = \pm 7.0 \times 10^{-7} \text{ für die Nickelstahlpendel.}$$

Bei einer durchschnittlichen Beobachtung von zwei Reihen zu je drei Pendeln auf jeder Feldstation wird der mittlere Fehler eines Unterschiedes der Schwingungszeit eines mittleren Pendels einer Feldstation gegen den gleichen Wert in *Potsdam*:

$$m_{III} = \pm 4.7 \times 10^{-7} \text{ für die Messingpendel.}$$

$$m_{III} = \pm 2.9 \times 10^{-7} \text{ für die Nickelstahlpendel.}$$

In dem Unterschiede der mittleren Fehler der beiden Pendelarten drücken sich die größeren systematischen Einflüsse bei den Messingpendeln

aus, die in erster Linie von dem Einfluß der Temperatur herrühren werden, da ja der Temperaturkoeffizient der Messingpendel etwa 16-mal so groß ist als derjenige der Nickelstahlpendel.

Als durchschnittlichen mittleren Fehler des mittleren Pendels einer Feldstation nehmen wir das Mittel aus den drei abgeleiteten mittleren Fehlern

$$m = \frac{m_I + m_{II} + m_{III}}{3}$$

und erhalten

für die Messingpendel:  $m = \pm 4^{.6} \times 10^{-7}$ ,  
 für die Nickelstahlpendel:  $m = \pm 3^{.4} \times 10^{-7}$ .

Diese Werte werden wir bei der Genauigkeitsberechnung der Endwerte zugrunde legen.

### § 6. Der Temperatursgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten.

Die folgende Tabelle gibt die Mittel der bei den Beobachtungen der einzelnen Pendel abgelesenen Temperaturen an.

*Mitteltemperaturen der Messingpendel.*

Station	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$M_P$	Station	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$M_P$
Potsdam .....	15°55	15°62	15°59	15°59	Bohmte .....	16°41	16°44	16°48	16°44
	15.66	15.68	15.66	15.67		16.46	16.44	16.46	16.45
	15.62	15.67	15.66	15.65	Melle i. H. ....	18.26	18.16	18.11	18.18
	15.71	15.76	15.74	15.74		17.57	17.56	17.56	17.56
	15.71	15.74	15.72	15.72		18.11	18.08	18.08	18.09
	15.87	15.91	15.89	15.89		17.99	18.00	18.01	18.00
				18.10		18.10	18.11	18.10	
Münster i. W. .	16.10	16.07	16.06	16.08	Lübbecke .....	15.96	15.92	15.94	15.94
	16.00	16.01	16.04	16.02		16.05	16.06	16.10	16.07
	16.24	16.27	16.30	16.27	Minden i. W. ...	19.37	19.40	19.46	19.41
	16.22	16.27	16.33	16.27		19.71	19.74	19.79	19.75
	16.50	16.50	16.51	16.50		20.19	20.18	20.19	20.19
16.82	16.84	16.84	16.83	19.65	19.59	19.59	19.61		
Ladbergen ....	17.42	17.42	17.41	17.42	Potsdam .....	16.19	16.19	16.19	16.19
	16.41	16.39	16.42	16.41		16.11	16.12	16.15	16.13
Iburg .....	18.18	18.13	18.11	18.14		16.33	16.34	16.34	16.34
	17.77	17.77	17.76	17.77		16.67	16.66	16.66	16.66
Ibbenbüren ...	16.27	16.29	16.34	16.30		16.42	16.41	16.43	16.42
	16.25	16.25	16.27	16.26		15.98	15.99	16.01	15.99
	16.55	16.58	16.68	16.60	15.91	15.91	15.94	15.92	
Osnabrück ....	16.90	17.10	17.41	17.14	16.06	16.06	16.06	16.06	
	20.91	20.90	20.89	20.90	15.89	15.88	15.89	15.89	
	19.70	19.71	19.75	19.72	16.01	16.01	16.01	16.01	
Bramsche .....	18.14	18.10	18.10	18.11					
	17.80	17.78	17.81	17.80					
	17.93	17.91	17.93	17.92					
	17.75	17.76	17.76	17.76					

In dem mit einer Haube versehenen Pendelapparat haben sich die Temperaturen sowohl während der Beobachtungszeit der einzelnen Pendel als auch während der Beobachtungszeit der einzelnen Reihen zu je drei Pendeln sehr konstant erhalten. Es kann deshalb von der Ermittlung des Einflusses der dynamischen Temperaturkonstante ganz abgesehen werden.

Der mittlere Fehler der Bestimmung der Temperaturkonstanten wird nach S. 42 zu  $\pm 0^{\circ}.10 \times 10^{-7}$  angenommen. Mit diesem ist der Einfluß des Fehlers der Bestimmung der Temperaturkoeffizienten auf den Unterschied der Schwingungszeiten des mittleren Pendels gegen den gleichen Wert in *Potsdam* berechnet. Die Mitteltemperatur des mittleren Pendels für *Potsdam* Anfang und Ende ist  $+ 15^{\circ}.94$ .

Man erhält als durchschnittlichen Einfluß des Fehlers in der Bestimmung der Temperaturkoeffizienten auf den Unterschied der Schwingungszeiten des mittleren Pendels einer Feldstation gegen *Potsdam*:

$$m_T = \pm 0^{\circ}.2 \times 10^{-7} .$$

Nach S. 42 ist das angewandte Mittel der Dichtekonstanten der Messingpendel zu  $(644^{\circ} \pm 7) 10^{-7}$  berechnet. Das mittlere Pendel in *Potsdam* ist bei einer Dichte 0.937 beobachtet. Der durchschnittliche mittlere Einfluß des Fehlers in der Bestimmung der Dichtekonstanten auf den Unterschied der Schwingungszeiten des mittleren Pendels einer Feldstation gegen *Potsdam* ergibt sich zu:

$$m_d = \pm 0^{\circ}.04 \times 10^{-7} .$$

Für die Nickelstahlpendel sind die gleichen Fehlereinflüsse sicher nicht größer, da die Dichtekonstanten dieser Pendel mit noch etwas größerer Genauigkeit bestimmt sind als die der Messingpendel und die Temperaturkonstanten mit etwa gleicher Genauigkeit.

### § 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel.

Nach den Tabellen I u. II S. 63 u. 64 erhält man für die Anschlußmessungen in *Potsdam*:

#### a. Messingpendel.

	Nr. 21	Nr. 7	Nr. 5	$M_P$
I:	0 <sup>o</sup> .5097456	0 <sup>o</sup> .5083116	0 <sup>o</sup> .5083396	0 <sup>o</sup> .5087990
II:	0.5097446	0.5083112	0.5083382	0.5087980
II—I:	— 10	— 4	— 14	— 10

b. Nickelstahlpendel.

	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	$M_P$
I:	0 <sup>s</sup> 5076476	0 <sup>s</sup> 5076939	0 <sup>s</sup> 5077008	0 <sup>s</sup> 5076808
II:	0.5076500	0.5076933	0.5077003	0.5076812
II—I:	+ 24	— 6	— 5	+ 4

Zur Ermittlung des Einflusses der Veränderlichkeit der Pendel auf die Genauigkeit des Unterschiedes der Pendelbeobachtungen einer Feldstation gegen die gleichen Werte in *Potsdam* benutzen wir die Unterschiede der Schwingungszeiten der Einzelpendel gegeneinander. Auch bei dieser Ableitung schließen wir die Stationen *Münster* und *Ladbergen* aus wegen abnormer Abweichung der beiden auf dem Mittellager schwingenden Pendel Nr. 21 und Nr. 79.

Nr.	Station	Messingpendel				Nickelstahlpendel			
		Unterschiede der Schwingungszeiten der Pendel in Einheit, der 7. Dezimale			Rezi-proke Ge-wichts-zahlen	Unterschiede der Schwingungszeiten der Pendel in Einheit, der 7. Dezimale			Rezi-proke Ge-wichts-zahlen
		21—7	21—5	5—7		76—79	77—79	77—76	
1	Potsdam.....	14340	14060	280	0.17	463	532	69	0.17
2	Iburg.....	14322	14057	265	0.50	448	512	64	0.50
3	Ibbenbüren....	14349	14086	263	0.25	446	508	62	0.25
4	Osnabrück.....	14325	14059	266	0.50	441	504	63	0.50
5	Bramsche.....	14323	14065	258	0.25	450	511	61	0.25
6	Bohmte.....	14325	14067	258	0.50	448	514	66	0.50
7	Melle i. H. ....	14332	14062	270	0.20	443	507	64	0.20
8	Lübbecke.....	14323	14054	269	0.50	450	511	61	0.50
9	Minden i. W....	14328	14055	273	0.25	443	510	67	0.25
10	Potsdam.....	14334	14064	270	0.10	433	503	70	0.17

Daraus wird, wie auf Seite 31 angegeben, die folgende Tabelle berechnet:

Intervall der Stationen	Messingpendel					Nickelstahlpendel				
	Mittleres $\Delta^2$ für die Differenzen			Mittel aus allen $\Delta^2$	Faktor von $\mu^2$	Mittleres $\Delta^2$ für die Differenzen			Mittel aus allen $\Delta^2$	Faktor von $\mu^2$
	21—7	21—5	5—7			76—79	77—79	77—76		
1	192	198	53	148	1.37	71	71	15	52	1.39
2	118	195	82	132	1.36	95	108	26	76	1.37
3	117	101	90	103	1.33	91	123	15	76	1.35
4	120	158	156	145	1.32	87	107	26	73	1.35
5	209	223	143	192	1.29	117	90	25	77	1.32
Mittelwert:	151	175	105	144	1.33	92	100	21	71	1.36

In den  $\Delta^2$  zeigen sich die relativen Veränderungen der Pendel. Um den mittleren Einfluß der Veränderungen der Pendel auf ein mittleres Stationsintervall von 4 Stationen zu erkennen, verfahren wir wie auf S. 32 angegeben.

Man erhält:

a. Für die *Messingpendel*.

$$144 = 1.33 \mu^2 + 2 \lambda_{z-1}^2.$$

Für  $\mu$  nehmen wir den durchschnittlichen mittleren Fehler der Beobachtung eines Pendels, aus der inneren Übereinstimmung abgeleitet. Aus den drei mittleren Fehlern der Einzelpendel auf S. 65 folgt als Mittel:

$$\mu = \pm 8.5 \times 10^{-7}.$$

Setzen wir diesen Wert in die obige Gleichung ein, so wird:

$$\begin{aligned} 47.9 \times 10^{-14} &= 2 \lambda^2 \\ \lambda &= \pm 4.9 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

und man findet als Einfluß der mittleren Veränderung bei einem Zwischenraum von 3 Stationen und einer durchschnittlichen Anzahl von 6 Pendelbeobachtungen für eine Station:

$$\lambda_m = \pm 2.8 \times 10^{-7}.$$

Diesen Wert werden wir bei der Fehlerberechnung einführen.

b. Für die *Nickelstahlpendel*.

$$\begin{aligned} 71 &= 1.36 \times 6.3^2 + 2 \lambda^2 \\ 17 \times 10^{-14} &= 2 \lambda^2 \\ \lambda &= \pm 2.9 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

und als Einfluß der mittleren Veränderung:

$$\lambda_n = \pm 1.2 \times 10^{-7}.$$

## § 8. Vergleich der Ergebnisse der Beobachtungen der Messing- und Nickelstahlpendel.

Die auf den Stationen beobachteten Schwerkkräfte, aus den Werten der Einzelpendel und der mittleren Pendel abgeleitet, und die Vergleichung ihrer Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle. Dieser Tabelle liegen die Werte der Tabellen I und II S. 63 und 64 zugrunde. Die Art der Ableitung wird am Schluß dieser Arbeit gegeben werden.

Beobachtete „g“.

Nr.	Station	Messingpendel				Nickelstahlpendel			
		Nr. 21 981. <sup>cm</sup>	Nr. 7 981. <sup>cm</sup>	Nr. 5 981. <sup>cm</sup>	$P_m$ 981. <sup>cm</sup>	Nr. 79 981. <sup>cm</sup>	Nr. 77 981. <sup>cm</sup>	Nr. 76 981. <sup>cm</sup>	$P_n$ 981. <sup>cm</sup>
1.	Münster i. W.	223 <sup>*)</sup>	238	239	235	219 <sup>*)</sup>	235	231	230
2	Ladbergen....	242 <sup>*)</sup>	254	258	253	235 <sup>*)</sup>	252	251	248
3	Iburg.....	251	245	249	249	245	247	245	246
4	Ibbenbüren...	278	283	288	283	277	281	278	279
5	Osnabrück ...	288	284	287	286	278	284	281	281
6	Bramsche ....	319	314	321	318	314	317	313	315
7	Bohmte.....	296	291	298	295	289	291	289	290
8	Melle i. H. ...	271	269	271	270	263	267	265	265
9	Lübbecke ....	280	275	277	277	274	277	274	275
10	Minden i. W. .	281	278	278	279	273	276	275	275

\*) Diesen beiden Werten ist halbes Gewicht gegeben.

Unterschiede der „g“ aus den Schwingungszeiten der auf gleichen Lagern des Pendelstativs beobachteten Pendel und der mittleren Pendel.

Nr.	Messingpendel weniger Nickelstahlpendel			
	Nr. 21 — Nr. 79	Nr. 7 — Nr. 77	Nr. 5 — Nr. 76	$P_m - P_n$
1	+ 4	+ 3	+ 8	+ 5
2	+ 7	+ 2	+ 7	+ 5
3	+ 6	- 2	+ 4	+ 3
4	+ 1	+ 2	+ 10	+ 4
5	+ 10	0	+ 6	+ 5
6	+ 5	- 3	+ 8	+ 3
7	+ 7	0	+ 9	+ 5
8	+ 8	+ 2	+ 6	+ 5
9	+ 6	- 2	+ 3	+ 2
10	+ 8	+ 2	+ 3	+ 4

Die beiden Pendelpaare 21 und 79 und 5 und 76 zeigen einen systematischen Unterschied. Das Pendelpaar 7 und 77 zeigt keine systematischen Unterschiede, diese haben vielmehr den Charakter zufälliger Fehler. Die aus den Beobachtungen der Messingpendel abgeleiteten Werte der Schwerkraft sind auf allen Stationen größer als die von den Nickelstahlpendeln herrührenden Werte. Der Grund dieses Verhaltens konnte nicht festgestellt werden. Vielleicht gibt die Änderung der Temperaturkonstanten (S. 44) einen

Anhalt zur Erklärung. Die größten Änderungen der Temperaturkonstanten zeigen die Pendel Nr. 79 und Nr. 76, während die Temperaturkonstante von Nr. 77 sich besser gehalten hat.

### § 9. Genauigkeit der Beobachtungen.

#### I. *Messingpendel.*

1. Mittlerer Fehler des Mittels der Schwingungszeiten der Pendel auf einer Feldstation nach S. 70 =  $\pm 4.6 \times 10^{-7}$ .
2. Mittlerer Fehler der Anschlußmessungen in Potsdam  $\pm 1.8 \times 10^{-7}$ .
3. Mittlerer Fehler der Bestimmung des Mitschwingens auf der Feldstation und in Potsdam  $\pm 0.8 \times 10^{-7}$ . S. 37.
4. Einfluß des Fehlers der benutzten Dichte- und Temperaturkonstanten =  $\pm 0.2 \times 10^{-7}$ . S. 71.
5. Einfluß der Veränderung der Pendel =  $\pm 2.0 \times 10^{-7}$ . S. 73.
6. Mittlerer Fehler der benutzten täglichen Gänge der Beobachtungsuhr für die Feldstationen  $\pm 3^8 \times 10^{-7}$  S. 40, für Potsdam  $\pm 1.2 \times 10^{-7}$ .

Es folgt

$$M_s^2 = 40.2 \times 10^{-14} \quad \text{und} \quad M_s = \pm 6.4 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler für die Unterschiede der Schwerkraft mit Potsdam ist daher:

$$M_g = \pm 0.0025 \text{ cm.}$$

#### II. *Nickelstahlpendel.*

1. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten auf einer Feldstation nach S. 70 =  $\pm 3.4 \times 10^{-7}$ .
2. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten in Potsdam =  $\pm 0.7 \times 10^{-7}$ .
3. und 4. wie bei den Messingpendeln.
5. Einfluß der Veränderung der Pendel  $\pm 1.2 \times 10^{-7}$ .
6. Wie bei den Messingpendeln.

$$M_s^2 = 25.3 \times 10^{-14}, \quad M_s = \pm 5.0 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler für die Unterschiede der Schwerkraft mit Potsdam ist mithin:

$$M_g = \pm 0.0019 \text{ cm.}$$

Bei den Stationen *Münster* und *Ladbergen* wird diese Genauigkeit wegen der Abweichung der beiden Pendel Nr. 21 und Nr. 79 wohl nicht ganz erreicht. Für die anderen Stationen gelten die Werte aber als obere Grenze.

### III. Beobachtungen im Jahre 1907.

#### § 1. Vorbemerkungen.

Herr Geheimrat HELMERT hatte für dieses Jahr eine Fortsetzung der Beobachtungen in der Nähe des Meridians von *Tübingen* ( $9^{\circ}$  W) angeordnet. In den Jahren 1903 und 1906 sind schon 8 Stationen in der Nähe dieses Meridians bestimmt worden, auf dem beabsichtigt ist, die Beobachtungen nach Süden bis zum Anschluß an die Bestimmungen im *Königreich Württemberg* fortzusetzen.

Von *Hessisch Oldendorf* beginnend sind bis *Bremen* 10 Stationen erledigt worden. Die Stationen liegen meist innerhalb oder am Rande der großen Wesermoore.

Auf der Station *Stolzenau* hatte ich die Freude den Chef der Niederländischen Gradmessungskommission Herrn Major Professor Dr. MULLER mit dem Ingenieur der gleichen Behörde Herrn MODDERMAN begrüßen zu können. Die Herren blieben 2 Tage auf der Station, um sich mit der Einrichtung und der Reihenfolge der Beobachtungen auf einer Feldstation bekannt zu machen und beteiligten sich an der Bestimmung des Mitschwingens.

Herr Ingenieur MODDERMAN war schon im Monat April in *Potsdam* und hatte sich hier eingehend mit der Methode der Pendelbeobachtungen beschäftigt. Er bestimmte mit meiner Unterstützung drei regelrecht eingerichtete Feldstationen 1. *Komparatorsaal*, 2. *Schuppen*, 3. *Meßbahn* mit der Anschlußstation im *Mittelkeller*. Auf allen Stationen wurden sowohl die Messing- als auch die Nickelstahlpendel beobachtet. Die Ergebnisse, die ich weiter unten im Auszuge gebe, waren für beide Pendelarten sehr befriedigend.

Leider ist der liebenswürdige und schaffensfreudige junge Gelehrte im Herbst 1908 einer tückischen Krankheit erlegen, ehe er seine Erfahrungen im Dienste seiner heimatlichen Gradmessung verwerten konnte.

Die Feldbeobachtungen begannen am 15. Juli in *Hessisch Oldendorf* und dauerten bis zum 27. August, an welchem Tage die Station *Bremen* beendet wurde. Benutzt wurden, wie im Vorjahre, die *Messingpendel* Nr. 21, 5 und 7 und die *Nickelstahlpendel* Nr. 79, 76, 77, die in dem Dreipendelapparat schwebten.

Die Nickelstahlpendel habe ich vor Beginn der Reise eingehend untersucht. Als sich auf der Reise 1906 eine konstante Differenz zwischen den Ergebnissen der Messingpendel und der Nickelstahlpendel ergeben hatte,



bestimmte ich zunächst von neuem die Temperaturkonstanten der Nickelstahlpendel und darauf deren Dichtekonstanten. Diese Bestimmungen sind schon auf S. 44 und 45 dargestellt. Die schon im Jahre 1904 bestimmten Temperaturkonstanten wurden unter Anwendung der neu ermittelten Dichtekonstanten von neuem reduziert, um sie mit den 1906 bestimmten vergleichbar zu machen. Auf die Unterschiede der Ergebnisse dieser Bestimmungen ist schon S. 44 hingewiesen worden.

Im voraus bemerke ich, daß die Übereinstimmung der mit beiden Pendelarten erzielten Ergebnisse befriedigend ist.

Die Ermittlung von Beobachtungsräumen machte dank dem freundlichen Entgegenkommen der Staats- und Gemeindebehörden keine Schwierigkeit. In den Mooregebieten wurden die Beobachtungen häufig durch die sehr heftigen Erschütterungen selbst kleiner vorbeifahrender Fuhrwerke sehr gestört. Die Station *Neu Bruchhausen* wurde deshalb mit drei Zeitbestimmungen und zwei Pendeltagen doppelt bestimmt.

Die Station *Hoya*, deren Bestimmung unter der Ungunst des Wetters zu leiden hatte, sollte auch doppelt beobachtet werden, weil der tägliche Gang der Beobachtungsuhr für den ersten Beobachtungstag nur aus etwa 18 Stunden auseinanderliegenden Zeitbestimmungen abgeleitet werden mußte. Da aber die nach der zweiten Zeitbestimmung beobachteten Pendelreihen eine gute Übereinstimmung mit denen des ersten Tages ergaben und eine dritte Zeitbestimmung nicht rechtzeitig erhalten wurde, so begnügte ich mich mit dem einen Pendeltage. Der Gang der Pendeluhr war genügend konstant gewesen.

## § 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen.

In der folgenden Tabelle sind die Höhen gleich mit aufgeführt, deren genauere Bestimmung aus der zweiten Übersicht hervorgeht.

Nr.	Station	Geographische		Höhe in m	Lage des Beobachtungsraumes	Art des Fußbodens
		Breite	Länge			
1	Hessisch Oldendorf	52° 10.2	9° 14.7	63	Keller im Hause des Herrn A. PAPE.	Steinfiesen.
2	Stadthagen . . . . .	52 19.5	9 12.4	70	Keller im Realschulge- bäude.	Steinfiesen.
3	Diepenau . . . . .	52 25.2	8 43.4	44	Scheune der Försterei.	Steinfiesen.
4	Stolzenau a. d. W. .	52 30.8	9 4.7	33	Stallgebäude des Gast- wirts RIEKEMANN.	Ziegelsteinpflaster.
5	Nienburg a. d. W. .	52 38.5	9 12.6	25	Keller der höheren Töchterschule.	Ziegelsteinpflaster.
6	Kirchdorf, Kreis Sulingen	52 35.9	8 50.4	39	Keller im Gasthaus.	Zement.
7	Hoya . . . . .	52 48.4	9 8.4	21	Gefängniszelle.	Steinfiesen.
8	Neu Bruchhausen .	52 50.5	8 50.9	43	Keller im Hause Bassumer- straße Nr. 7.	Zement.
9	Langwedel . . . . .	52 58.7	9 11.7	13	Keller im Schulgebäude.	Zement.
10	Bremen . . . . .	53 5.0	8 49.2	0	Keller im Realgymnasium.	Terrazzo.

Aus der nun folgenden Tabelle gehen Art und mittlere Fehler der Höhenbestimmung hervor. Die beiden benutzten Aneroidbarometer BOHNE 937 und BOHNE 938 haben ihre Standkorrekturen gut gehalten.

Nr.	Station	Anbindepunkt	Unterschiede 937—938		Unterschiede von 938 Pendel- pfeiler weniger Anbinde- punkt	Mittl. Baro- meter- stand	Luft- tempe- ratur	Höhen- unter- schied Pendel- pfeiler Anbinde- punkt	Höhe des An- binde- punkts	Höhe des Pen- del- pfeilers	Mittel- wert	Mittl. Fehler
			vor der Bestimmung	nach								
1	Hess. Oldendorf	Bolzen am Bahnhof.	+7.0	+7.0	+0.1	762	+15.9	- 1.1	64.6	63.5	63.0	±0.3
			+7.0	+7.0	+0.1	764	+12.2	- 1.1		63.5		
			+7.0	+7.1	+0.1	762	+13.0	- 1.1		63.5		
			+7.0	+7.0	+0.2	762	+19.7	- 2.3		62.3		
			+7.0	+7.0	+0.2	762	+25.5	- 2.3		62.3		
2	Stadthagen ....	Bolzen am Rathaus.	+7.0	+7.0	+0.3	758	+17.3	- 3.5	73.4	69.9	69.9	±0
			+7.1	+7.0	+0.3	755	+16.7	- 3.5		69.9		
3	Diepenau .....	Nivellements- punkt auf der Hauptstr.	+7.0	+7.0	0	756	+18.8	0	43.8	43.8	43.8	±0
			+7.1	+7.1	0	757	+15.2	0				
			+7.3	+7.4	0	755	+19.3	0				
4	Stolzenau a. d. W.	Bolzen am Fähr- haus.	+7.5	+7.5	-0.2	753	+14.7	+ 2.3	31.1	33.4	33.4	±0
			+7.5	+7.5	-0.2	754	+17.0	+ 2.3		33.4		
			+7.5	+7.5	-0.2	753	+12.0	+ 2.2		33.3		
5	Nienburg a. d. W.	Bolzen am Bahnhof Bolzen a. d. Kirche. "	+7.1	+7.2	+0.3	763	+12.0	- 3.3	28.4	25.1	25.2	±0.1
			+7.2	+7.1	+0.35	760	+18.6	- 3.9	29.2	25.3		
			+7.3	+7.4	+0.35	758	+23.7	- 4.0	29.2	25.2		
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen	Nivellements- punkt auf d. Landstraße.	+7.0	+7.0	+0.85	755	+16.5	- 9.6	49.0	39.4	38.6	±0.7
			+7.0	+7.0	+0.85	756	+16.0	- 9.6		39.4		
			+6.9	+7.1	+1.10	759	+16.5	-12.3		36.7		
			+7.2	+7.2	+0.90	759	+16.4	-10.1		38.9		
7	Hoya .....	Bolzen an d. Brücke.	+7.2	+7.2	-0.5	760	+17.2	+ 5.6	15.3	20.9	21.0	±0
			+7.2	+7.2	-0.5	761	+20.4	+ 5.7		21.0		
			+7.2	+7.1	-0.3	764	+19.2	+ 5.7		21.0		
8	Neu Bruch- hausen	Nivellements- punkt auf d. Landstraße.	+7.4	+7.5	+0.7	756	+23.2	- 8.1	49.3	41.2	42.7	±0.8
			+7.5	+7.6	+0.6	749	+20.5	- 6.9		42.4		
			+7.5	+7.6	+0.6	748	+19.2	- 6.9		42.4		
			+7.5	+7.6	+0.4	754	+17.5	- 4.5		44.8		
9	Langwedel .....	Bolzen am Bahnhof.	+7.0	+7.0	+0.2	756	+15.8	- 2.2	14.6	12.4	13.1	±0.7
			+7.0	+6.8	0	762	+13.8	0		14.6		
			+6.8	+6.8	+0.2	763	+12.7	- 2.2		12.4		
10	Bremen .....	Stadtnivellement.						0.3	0.3			

Der Einfluß des mittleren Fehlers der Höhenbestimmung auf die Differenz der Schwerkraft einer Feldstation gegen Potsdam kann vernachlässigt werden.

### § 3. Bestimmung des Mitschwingens.

In diesem Jahre ist allein nach der Zweipendelmethode das Mitschwingen bestimmt. Die Einrichtung der folgenden Tabelle ist wie S. 37.

Nr.	Station	Richtung I				Richtung II					
		Mitschwingen	[ $\nu$ ]	Anzahl der Beobachtung.	Stationsmittel	Mittlerer Fehler	Mitschwingen	[ $\nu$ ]	Anzahl der Beobachtung.	Stationsmittel	Mittlerer Fehler
1	Potsdam	65	34	4	65	$\pm 0.7$	52	41	7	53	$\pm 0.5$
	2	61	11	5			52	15	8		
	3	64	184	9			54	84	7		
	4	68	135	10			50	126	9		
	5						56	16	10		
1	Hess, Oldendorf	103	30	9	100	$\pm 0.5$	81	30	8	81	$\pm 0.5$
	2	99	48	9			81	36	8		
	3	98	30	6			80	34	8		
2	Stadthagen	114	382	13	110	$\pm 0.8$	80	82	12	77	$\pm 0.6$
	2	111	277	13			80	64	9		
	3	104	190	9			72	300	12		
3	Diepenau	80	22	9	79	$\pm 0.5$	53	85	11	52	$\pm 0.6$
	2	78	44	9			51	38	9		
4	Stolzenau a. d. W.*)	65	173	12	66	$\pm 0.7$	52	72	11	52	$\pm 0.8$
	2	66	39	9			51	171	10		
5	Nienburg a. d. W.	102	272	11	102	$\pm 0.9$	86	236	14	87	$\pm 0.6$
	2	103	204	10			90	63	10		
	3	101	264	10			85	119	12		
6	Kirchdorf	64	98	11	67	$\pm 0.6$	46	47	11	48	$\pm 0.3$
	2	66	70	11			46	22	11		
	3	70	128	11			51	50	10		
7	Hoya	81	65	5	80	$\pm 0.8$	62	71	13	62	$\pm 0.5$
	2	81	183	13			62	45	12		
	3	77	285	14							
8	Neu Bruchhausen	62	147	12	63	$\pm 0.8$	46	35	12	46	$\pm 0.4$
	2	62	100	12			46	55	12		
	3	66	11	7			47	64	9		
9	Langwedel	65	71	12	65	$\pm 0.5$	48	14	9	48	$\pm 0.4$
	2	65	22	8			47	45	12		
10	Bremen	55	15	9	58	$\pm 0.6$	43	22	12	43	$\pm 0.3$
	2	60	67	12			45	24	9		
	3	57	114	12			41	8	12		
	4	58	107	10							
Potsdam	1	72	178	12	72	$\pm 1.1$	57	5	9	58	$\pm 0.4$
	2						59	61	10		

\*) Das Mitschwingen ist auf dieser Station zum Teil von Herrn Major Professor Dr. MULLER aus Zeist und Herrn Ingenieur MODDERMAN aus Delft bestimmt worden.

Als durchschnittlichen mittleren Fehler einer Mitschwingungsbestimmung nehmen wir für beide Richtungen, sowohl für eine Feldstation als auch für Potsdam,  $\pm 0.7 \times 10^{-7}$  an.

§ 4. **Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr**  
**STRASSER & ROHDE 101.**

Für die Anschlußmessungen in *Potsdam* wurde statt der Felduhr STRASSER & ROHDE 101 die Normaluhr des Geodätischen Instituts DENCKER 28 verwendet, deren tägliche Gänge von Herrn Professor WANACH aus mittägigen Vergleichen mit den anderen Normaluhren des Instituts ermittelt sind. Die Zeitbestimmungen auf den Feldstationen sind mit dem gleichen Instrument und nach der gleichen Methode wie in den Vorjahren gemacht worden.

*Tägliche Uhrgänge für die Anschlußmessungen in Potsdam.*

Juni 26	— 0.03
„ 27	0.00
„ 28	+ 0.02
„ 29	+ 0.02
Juli 1	— 0.05 .

*Tägliche Uhrgänge für die Feldstationen.*

Nr.	Station	1907	Nummer der Beobachtung	Beobachtungszeit	Uhrkorrektion	Uhrgang		Angewandte Mittel der täglichen Uhrgänge	Mittlere Fehler der täglichen Uhrgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel
						abgeleitet aus Nummer	tätlich			
1	Hess. Oldendorf	Juli 15	1	16 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>	+ 0 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup> 39	1 u. 4	+ 16 <sup>s</sup> 17	+ 16 <sup>s</sup> 08	± 0 <sup>s</sup> 05	0.0122
			2	16 51	+ 0 29.88	2 u. 5	+ 16.03			
			3	17 34	+ 0 30.32	3 u. 6	+ 16.04			
		„ 16	4	16 19	+ 0 45.56					
			5	16 51	+ 0 45.91					
			6	17 34	+ 0 46.36					
2	Stadthagen ....	„ 20	1	17 7	+ 0 0.17	$\frac{1+2}{2}$ u. 4	+ 1.84	+ 1.80	± 0.04	0.0032
			2	17 34	+ 0 0.31					
			3	17 51	+ 0 0.28	3 u. 5	+ 1.76			
		„ 21	4	16 24	+ 0 2.01					
			5	17 14	+ 0 1.99					
3	Diepenau .....	„ 24	1	17 24	— 1 2.91	1 u. 7	+ 0.62	+ 0.75	± 0.06	0.0367
			2	17 44	— 1 2.92	2 u. 8	+ 0.76			
			3	18 4	— 1 2.94	3 u. 5	+ 0.74			
			4	18 22	— 1 3.01	4 u. 6	+ 0.89			
		„ 25	5	16 26	— 1 2.25					
			6	16 53	— 1 2.18					
			7	17 24	— 1 2.29					
			8	17 44	— 1 2.16					
4	Stolzenau a. d.W.	„ 30	1	17 8	+ 1 22.73	1 u. 4	+ 0.41	+ 0.39	± 0.02	0.0017
			2	17 34	+ 1 22.76	2 u. 5	+ 0.41			
			3	17 57	+ 1 22.80	3 u. 6	+ 0.36			
		„ 31	4	17 8	+ 1 23.14					
			5	17 34	+ 1 23.17					
			6	17 57	+ 1 23.16					

Nr.	Station	1907	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektur	Urgang		Ange- wandte Mittel der täglichen Urgänge	Mittlere Fehler der täglichen Urgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel	
						abgeleitet aus Nummer	täglich				
5	Nienburg a. d. W.	Aug. 2	1	16 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	- 0 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> .59	1 u. 4	+ 2 <sup>s</sup> .10	+ 2 <sup>s</sup> .10	± 0 <sup>s</sup> .01	—	
			2	17 22	- 0 45.45	2 u. 5	+ 2.12				
			3	17 47	- 0 45.51	3 u. 6	+ 2.09				
		"	4	4	16 51	- 0 41.40					
				5	17 22	- 0 41.22					
				6	17 47	- 0 41.34					
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen	"	6	1	18 50	- 3 21.74	1 u. $\frac{3+4}{2}$	+ 0.80	+ 0.84	± 0.05	0.0041
				2	19 13	- 3 21.71	2 u. $\frac{5+6}{2}$	+ 0.89			
		"	7	3	18 43	- 3 20.93					
				4	19 3	- 3 20.94					
				5	19 24	- 3 20.81					
				6	19 42	- 3 20.85					
7	Hoya .....	"	10	1	0 57	- 0 40.69	1 u. $\frac{3+4+5}{3}$	+ 2.96	+ 2.93	± 0.03	0.0018
				2	1 11	- 0 40.72	2 u. $\frac{6+7}{2}$	+ 2.90			
		"	11	3	17 22	- 0 38.68					
				4	17 52	- 0 38.58					
				5	18 12	- 0 38.58					
				6	18 31	- 0 38.57					
				7	18 56	- 0 38.62					
8	Neu Bruch- hausen	"	14	1	17 24	+ 0 23.31	1 u. 6	+ 3.36	+ 3.39	± 0.05	0.0548
				2	17 44	+ 0 23.38	2 u. 7	+ 3.36			
				3	18 4	+ 0 23.57	3 u. 8	+ 3.26			
				4	18 28	+ 0 23.37	4 u. 9	+ 3.58			
				5	18 57	+ 0 23.55	5 u. 10	+ 3.39			
		"	15	6	17 28	+ 0 26.68	6 u. 11	+ 3.08	+ 3.04	± 0.03	0.0081
				7	17 53	+ 0 26.76	7 u. 12	+ 3.09			
				8	18 14	+ 0 26.85	8 u. 13	+ 2.98			
				9	18 32	+ 0 26.96					
				10	18 57	+ 0 26.94	$\frac{9+10}{2}$ u. 14	+ 3.02			
		"	16	11	16 53	+ 0 29.71					
				12	17 24	+ 0 29.79					
				13	17 44	+ 0 29.77					
				14	18 4	+ 0 29.91					
9	Langwedel .....	"	19	1	1 9	+ 1 48.46	1 u. 4	- 0.18	- 0.20	± 0.04	0.0117
				2	1 31	+ 1 48.46	2 u. 5	- 0.28			
				3	1 52	+ 1 48.34	3 u. $\frac{6+7}{2}$	- 0.13			
		"	20	4	18 18	+ 1 48.33					
				5	18 42	+ 1 48.26					
				6	19 2	+ 1 48.26	$\frac{4+5}{2}$ u. 8	- 0.40	- 0.39	± 0.01	0.0001
				7	19 42	+ 1 48.23	$\frac{6+7}{2}$ u. 9	- 0.39			
		"	21	8	17 41	+ 1 47.91					
				9	18 5	+ 1 47.88					

Nr.	Station	1907	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektur	Urgang		Ange- wandte Mittel der täglichen Urgänge	Mittlere Fehler der täglichen Urgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel
						abgeleitet aus Nummer	täglich			
10	Bremen.....	Aug. 26	1	17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	— 0 <sup>m</sup> 4.10	1 u. 5	— 0.64	— 0.70	± 0.04	0.0157
			2	18 2	— 0 4.03	2 u. 6	— 0.77			
			3	18 20	— 0 4.14	3 u. 7	— 0.76			
			4	18 43	— 0 4.15	4 u. 8	— 0.64			
		" 27	5	18 55	— 0 4.77					
			6	19 12	— 0 4.84					
			7	19 40	— 0 4.94					
			8	20 3	— 0 4.82					

*Tägliche Urgänge für die Anschlußmessungen in Potsdam.*

Sept. 17	— 0.01
„ 18 u. 19	+ 0.03
„ 23 u. 24	— 0.05 .

Für die Ableitung eines durchschnittlichen mittleren Fehlers für die auf den Feldstationen ermittelten täglichen Gänge der Beobachtungsuhr STRASSER & ROHDE 101 benutzen wir die aus einem Intervall von etwa 24 Stunden berechneten. Wir erhalten dann aus 34 Einzelwerten in 11 Gruppenmitteln als mittleren Fehler eines aus je einem Sternpaar abgeleiteten täglichen Ganges  $\pm 0.08$  und für das Mittel aus drei Sternpaar-Beobachtungen  $\pm 0.047$ . Für die Schwingungszeit des mittleren Pendels einer Station nehmen wir demgemäß als den aus der Bestimmung der täglichen Gänge herrührenden mittleren Fehler an:

$$\pm 2.5 \times 10^{-7} .$$

Für *Potsdam* ist der gleiche Fehler  $\pm 0.02$  des täglichen Ganges oder  $1.2 \times 10^{-7}$  in der Schwingungszeit.

### § 5. Die Pendelbeobachtungen.

Im April 1907 führte Herr Ingenieur MODDERMAN aus *Delft*, um sich mit der Beobachtungsmethode der Pendel vertraut zu machen, mit meiner Unterstützung umfangreiche Beobachtungen der Messing- und der Nickelstahlpendel aus. Er bestimmte, wie schon in der Einleitung erwähnt, drei Feldstationen — Komparatorsaal, Schuppen und Meßbahn — mit der Anschlußstation Mittelkeller. Auf der Meßbahn stand der Pendelapparat in einem kleinen Holzhäuschen, das schon im Jahre 1894 für die Pendelbeobachtungen benutzt wurde.\*) Es wurden an jedem Beobachtungstage zwei Reihen zu sechs Pendeln in ungefähr 12stündigem Intervall beobachtet.

\*) „Kolberg—Schneekoppe“, S. 88.

Zunächst wurden stets die Messingpendel beobachtet, die vorher etwa 6 Stunden lang in dem mit der Schutzhaube bedeckten Pendelapparat hingen. An diese anschließend wurden die Nickelstahlpendel beobachtet, ohne lange auf den Ausgleich der Temperatur im Apparat zu warten. Besonderer Wert war natürlich auf die vorherige gute Bestimmung des Mitschwingens gelegt. Ich lasse die Zusammenstellung der Beobachtungen hier folgen:

*Vergleichung der Messingpendel und der Nickelstahlpendel.*

Beobachtungen ausgeführt von Ingenieur MODDERMAN aus Delft.

Station	Messingpendel								Anzahl der Beobachtungen
	Nr. 21	vv	Nr. 5	vv	Nr. 7	vv	$P_m$	vv	
Mittelkeller I .....	0. <sup>8</sup> 5097454	13	0. <sup>8</sup> 5083394	25	0. <sup>8</sup> 5083133	25	0. <sup>8</sup> 5087994	2	2
Komparatorsaal .....	0.5097445	8	0.5083403	1	0.5083146	5	0.5087998	1	2
Schuppen .....	0.5097445	50	0.5083400	61	0.5083143	8	0.5087996	13	2
Meßbahn .....	1 0.5097458	72	0.5083387	41	0.5083125	8	0.5087990	32	2
	2 0.5097463	32	0.5083381	5	0.5083119	1	0.5087988	8	2
	3 0.5097449	98	0.5083385	61	0.5083116	5	0.5087983	1	2
Meßbahn, Mittelw.	0.5097457	98	0.5083384		0.5083120		0.5087987		
Mittelkeller II .....	1 0.5097458	392	0.5083403	722	0.5083119	72	0.5087993	145	2
	2 0.5097454	162	0.5083382	50	0.5083131	265	0.5087989	145	2
Mittelkeller II, Mittelw.	0.5097456		0.5083393		0.5083125		0.5087991		
Station	Nickelstahlpendel								Anzahl der Beobachtungen
	Nr. 79	vv	Nr. 76	vv	Nr. 77	vv	$P_n$	vv	
Mittelkeller I .....	0. <sup>8</sup> 5076439	18	0. <sup>8</sup> 5076930	41	0. <sup>8</sup> 5076988	113	0. <sup>8</sup> 5076785	18	2
Komparatorsaal .....	0.5076444	41	0.5076935	2	0.5077007	2	0.5076796	5	2
Schuppen .....	0.5076435	13	0.5076910	50	0.5077009	13	0.5076785	25	2
Meßbahn .....	1 0.5076437	18	0.5076914	13	0.5076994	18	0.5076782	13	2
	2 0.5076423	25	0.5076914	32	0.5076993	25	0.5076777	5	2
	3 0.5076437	1	0.5076916	1	0.5076998	0	0.5076784	1	2
Meßbahn, Mittelw.	0.5076432		0.5076915		0.5076995		0.5076781		
Mittelkeller II .....	1 0.5076434	145	0.5076918	61	0.5077007	18	0.5076786	8	2
	2 0.5076431	18	0.5076921	72	0.5077007	2	0.5076786	25	2
Mittelkeller II, Mittelw.	0.5076433		0.5076920		0.5077007		0.5076786		





Zunächst wurden stets die Messingpendel beobachtet, die vorher etwa 6 Stunden lang in dem mit der Schutzhaube bedeckten Pendelapparat hingen. An diese anschließend wurden die Nickelstahlpendel beobachtet, ohne lange auf den Ausgleich der Temperatur im Apparat zu warten. Besonderer Wert war natürlich auf die vorherige gute Bestimmung des Mitschwingens gelegt. Ich lasse die Zusammenstellung der Beobachtungen hier folgen:

*Vergleichung der Messingpendel und der Nickelstahlpendel.*  
Beobachtungen ausgeführt von Ingenieur MODDERMAN aus Delft.

Station	Messingpendel								Anzahl der Beobachtungen
	Nr. 21	vv	Nr. 5	vv	Nr. 7	vv	$P_m$	vv	
Mittelkeller I .....	0. <sup>8</sup> 5097454	13	0. <sup>8</sup> 5083394	25	0. <sup>8</sup> 5083133	25	0. <sup>8</sup> 5087994	2	2
Komparatorsaal .....	0.5097445	8	0.5083403	1	0.5083146	5	0.5087998	1	2
Schuppen .....	0.5097445	50	0.5083400	61	0.5083143	8	0.5087996	13	2
Meßbahn .....	1 0.5097458	72	0.5083387	41	0.5083125	8	0.5087990	32	2
	2 0.5097463	32	0.5083381	5	0.5083119	1	0.5087988	8	2
	3 0.5097449	98	0.5083385	61	0.5083116	5	0.5087983	1	2
Meßbahn, Mittelw.	0.5097457	98	0.5083384		0.5083120		0.5087987		
Mittelkeller II .....	1 0.5097458	392	0.5083403	722	0.5083119	72	0.5087993	145	2
	2 0.5097454	162	0.5083382	50	0.5083131	265	0.5087989	145	2
Mittelkeller II, Mittelw.	0.5097456		0.5083393		0.5083125		0.5087991		
Station	Nickelstahlpendel								Anzahl der Beobachtungen
	Nr. 79	vv	Nr. 76	vv	Nr. 77	vv	$P_n$	vv	
Mittelkeller I .....	0. <sup>8</sup> 5076439	18	0. <sup>8</sup> 5076930	41	0. <sup>8</sup> 5076988	113	0. <sup>8</sup> 5076785	18	2
Komparatorsaal .....	0.5076444	41	0.5076935	2	0.5077007	2	0.5076796	5	2
Schuppen .....	0.5076435	13	0.5076910	50	0.5077009	13	0.5076785	25	2
Meßbahn .....	1 0.5076437	18	0.5076914	13	0.5076994	18	0.5076782	13	2
	2 0.5076423	25	0.5076914	32	0.5076993	25	0.5076777	5	2
	3 0.5076437	1	0.5076916	1	0.5076998	0	0.5076784	1	2
Meßbahn, Mittelw.	0.5076432		0.5076915		0.5076995		0.5076781		
Mittelkeller II .....	1 0.5076434	145	0.5076918	61	0.5077007	18	0.5076786	8	2
	2 0.5076431	18	0.5076921	72	0.5077007	2	0.5076786	25	2
Mittelkeller II, Mittelw.	0.5076433		0.5076920		0.5077007		0.5076786		



















Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftfeuchtigkeit in Prozenten	Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Korrektion des Luftdrucks wegen der Feuchtigkeit	Relative Luftdichte	Schwingungszeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduzierte Schwingungszeit in Sternzeitsek.
			Anfang	Ende	Anfang	Ende						Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhrgang	Mit-schwingen	
September 23 und 24.																	
79	6.16	32.874	15.9	11.2	14.60	14.58	78	61.0	3.6	46	0.850	5	46	656	3	72	76440
76	7.3	32.681	17.3	12.2	14.58	14.61	78	61.0	3.6	46	77686	5	41	652	3	57	76928
77	8.1	32.652	15.3	11.0	14.61	14.62	78	61.1	3.6	46	77755	5	48	646	3	57	76996
																	<b>76788</b>
79	10.0	32.871	16.6	11.7	14.58	14.60	78	57.9	3.6	42	77230	5	46	653	3	72	76451
76	10.7	32.677	18.7	13.8	14.60	14.58	78	57.7	3.6	42	77696	7	41	649	3	57	76939
77	11.5	32.649	14.5	10.3	14.58	14.58	78	57.7	3.6	42	77762	4	48	643	3	57	77007
																	<b>76799</b>

1. Mittlerer Fehler aus der inneren Übereinstimmung von zwei zusammengehörigen an einem Tage beobachteten Pendelreihen.

a. *Messingpendel.*

Aus der Summe der Fehlerquadrate der Tabelle I erhalten wir aus 34 Einzelwerten in 17 Gruppenmitteln als mittlere Fehler einer Beobachtung:

$$m_{21} = \pm 8.7 \times 10^{-7}; \quad m_5 = \pm 8.4 \times 10^{-7}; \quad m_7 = \pm 8.4 \times 10^{-7}.$$

Als mittleren Fehler des aus drei Pendeln abgeleiteten mittleren Pendels findet man:

$$m'_1 = \pm 7.1 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler eines aus zwei Reihen zu drei Pendeln bestehenden Tagesmittels:

$$m_I = \pm 5.1 \times 10^{-7}.$$

Dieser Betrag stellt die obere Grenze des mittleren Fehlers dar, da in ihm sowohl die systematischen als auch die zufälligen Fehler der Beobachtung voll zum Spruch kommen.

Eine Trennung der zufälligen Fehler „ $\mu$ “ von den systematischen „ $\kappa$ “ erhält man wieder wie S. 65 (für Einheiten der 7. Dezimalstelle):

$$\mu_m^2 + \kappa_m^2 = \frac{3692}{3 \times 17}; \quad \frac{\mu_m^2}{3} + \kappa_m^2 = \frac{866}{17};$$

$$\mu_m = \pm 5.7 \times 10^{-7}; \quad \kappa_m = \pm 6.3 \times 10^{-7}.$$

Auch in diesem Jahre sind die systematischen Fehler größer als die zufälligen. (Vergl. S. 65). Neben den Schwankungen des täglichen Ganges der Beobachtungsuhr und dem Einfluß nicht ausgeglichener Temperatur kommt bei der Beurteilung des systematischen Fehlers auch noch der Einfluß des mangelhaften Untergrundes auf einem Teil der Stationen hinzu.

Tabelle I.

*Zusammenstellung der Messingpendelbeobachtungen.*

(Die Schwingungszeiten der Pendel in Potsdam sind durch Addition von  $+ 3^s \times 10^{-7}$  auf den Pfeiler Nr. 31 des Pendelsaales bezogen.)

Nr.	Station	Pendel Nr. 21		Pendel Nr. 5		Pendel Nr. 7		Mittl. Pendel		Anzahl der Beobachtungen		
		Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]			
	Potsdam, Pfeiler Nr. 31	1	—	0. <sup>s</sup> 5097451	—	0. <sup>s</sup> 5083394	—	0. <sup>s</sup> 5083117	—	0. <sup>s</sup> 5087987	—	1
		2	—	0.5097446	—	0.5083390	—	0.5083122	—	0.5087986	—	1
		3	18	0.5097443	—	0.5083390	13	0.5083124	1	0.5087986	5	2
		4	—	0.5097447	—	0.5083396	—	0.5083127	—	0.5087990	—	1
		5	1	0.5097440	—	0.5083389	1	0.5083115	1	0.5087981	0	2
				0.5097444		0.5083391		0.5083121		0.5087985		
1	Hess. Oldendorf .		512	0.5097456		0.5083398	85	0.5083140	18	0.5087998	145	2
2	Stadthagen . . . . .		18	0.5097417		0.5083373	25	0.5083105	128	0.5087965	50	2
3	Diepenau . . . . .		13	0.5097375		0.5083328	25	0.5083057	50	0.5087920	25	2
4	Stolzenau a. d. W.		13	0.5097373		0.5083312	5	0.5083043	1	0.5087909	0	2
5	Nienburg a. d. Weser	1	72	0.5097349		0.5083305	32	0.5083047	1	0.5087900	1	2
		2	145	0.5097371		0.5083303	481	0.5083045	481	0.5087906	338	2
				0.5097360		0.5083304		0.5083046		0.5087903		
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen	1	1	0.5097398		0.5083322	72	0.5083057	181	0.5087926	61	2
		2	—	0.5097402		0.5083345	—	0.5083068	—	0.5087938	—	1
				0.5097399		0.5083330		0.5083061		0.5087930		
7	Hoya . . . . .		5	0.5097365		0.5083286	145	0.5083025	2	0.5087892	13	2
8	Neu Bruch- hausen	1	242	0.5097360		0.5083282	98	0.5083014	32	0.5087885	113	2
		2	85	0.5097377		0.5083300	61	0.5083036	5	0.5087904	41	2
				0.5097369		0.5083291		0.5083025		0.5087895		
9	Langwedel . . . .	1	98	0.5097337		0.5083244	18	0.5082994	98	0.5087858	61	2
		2	0	0.5097337		0.5083245	18	0.5082989	0	0.5087857	2	2
				0.5097337		0.5083245		0.5082992		0.5087858		
10	Bremen . . . . .		1	0.5097287		0.5083199	41	0.5082946	72	0.5087811	1	2
	Potsdam, Pfeiler Nr. 31	1	—	0.5097460	—	0.5083384	—	0.5083109	—	0.5087984	—	1
		2	2	0.5097453	—	0.5083368	18	0.5083111	50	0.5087977	2	2
		3	61	0.5097454	—	0.5083387	61	0.5083109	85	0.5087983	8	2
				0.5097455	—	0.5083379	—	0.5083110	—	0.5087981	—	
Summe der Fehlerquadrate:			1287			1199			1206		866	

Tabelle II.

*Zusammenstellung der Nickelstahlpendelbeobachtungen.*

(Die Schwingungszeiten der Pendel in Potsdam sind durch Addition von  $+ 3^8 \times 10^{-7}$  auf den Pfeiler Nr. 31 des Pendelsaales bezogen.)

Nr.	Station	Pendel Nr. 79		Pendel Nr. 76		Pendel Nr. 77		Mittl. Pendel		Anzahl der Beobachtungen	
		Schwingungszeit	[v v]	Schwingungszeit	[v v]	Schwingungszeit	[v v]	Schwingungszeit	[v v]		
1	Potsdam, Pfeiler Nr. 31	1	0. <sup>8</sup> 5076461	—	0. <sup>8</sup> 5076919	—	0. <sup>8</sup> 5077013	—	0. <sup>8</sup> 5076798	—	1
		2	0.5076455	—	0.5076916	—	0.5077009	—	0.5076793	—	1
		3	0.5076457	1	0.5076921	8	0.5077016	0	0.5076798	1	2
		4	0.5076467	—	0.5076922	—	0.5077013	—	0.5076801	—	1
		5	0.5076448	0	0.5076915	221	0.5077011	13	0.5076791	32	2
			0.5076456		0.5076918		0.5077013		0.5076796		
1	Hess. Oldendorf .		0.5076460	32	0.5076943	8	0.5077022	50	0.5076808	1	2
2	Stadthagen . . . . .		0.5076430	8	0.5076911	32	0.5076991	41	0.5076777	2	2
3	Diepenau . . . . .		0.5076381	8	0.5076883	41	0.5076964	25	0.5076743	25	2
4	Stolzenau a. d. W.		0.5076379	25	0.5076862	162	0.5076940	2	0.5076727	8	2
5	Nienburg a. d. W.	1	0.5076372	2	0.5076863	41	0.5076935	5	0.5076723	8	2
		2	0.5076373	481	0.5076858	200	0.5076928	313	0.5076720	313	2
			0.5076373		0.5076861		0.5076932		0.5076722		
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen		0.5076387	8	0.5076860	32	0.5076952	50	0.5076733	32	2
7	Hoya . . . . .		0.5076359	18	0.5076834	2	0.5076917	50	0.5076703	18	2
8	Neu Bruch- hausen	1	0.5076363	145	0.5076833	288	0.5076922	41	0.5076706	145	2
		2	0.5076378	13	0.5076845	32	0.5076933	2	0.5076719	1	2
			0.5076371		0.5076839		0.5076928		0.5076713		
9	Langwedel . . . .	1	0.5076331	98	0.5076807	72	0.5076890	18	0.5076676	50	2
		2	0.5076326	2	0.5076803	41	0.5076882	18	0.5076670	0	2
			0.5076329		0.5076805		0.5076886		0.5076673		
10	Bremen . . . . .		0.5076278	1	0.5076756	32	0.5076838	13	0.5076624	1	2
	Potsdam, Pfeiler Nr. 31	1	0.5076451	2	0.5076931	2	0.5077009	5	0.5076797	2	2
		2	0.5076458	0	0.5076929	25	0.5077007	5	0.5076798	5	2
		3	0.5076449	61	0.5076937	61	0.5077005	61	0.5076797	61	2
			0.5076453		0.5076932		0.5077007		0.5076797		
Summe der Fehlerquadrate:				905		1300		712		705	

b. *Nickelstahlpendel.*

Aus 36 Einzelwerten in 18 Gruppenmitteln erhält man:

$$m_{79} = \pm 7^{\text{a}}.1 \times 10^{-7}; \quad m_{76} = \pm 8^{\text{a}}.5 \times 10^{-7}; \quad m_{77} = \pm 6^{\text{a}}.3 \times 10^{-7};$$

der mittlere Fehler des aus drei Pendeln abgeleiteten mittleren Pendels wird:

$$m'_I = \pm 6^{\text{a}}.3 \times 10^{-7},$$

und demnach ist der mittlere Fehler eines Tagesmittels:

$$m_I = \pm 4^{\text{a}}.5 \times 10^{-7}.$$

Eine Trennung der systematischen und zufälligen Fehler gibt:

$$\mu_n^2 + \kappa_n^2 = \frac{2917}{3 \cdot 18} \times 10^{-14} \quad \text{und} \quad \frac{\mu_n^2}{3} + \kappa_n^2 = \frac{705}{18} \times 10^{-14};$$

$$\mu_n = \pm 4^{\text{a}}.7 \times 10^{-7}; \quad \kappa_n = \pm 5^{\text{a}}.6 \times 10^{-7}.$$

Die rein zufälligen Fehler sowohl als auch die systematischen Fehler sind kleiner als bei den Messingpendeln. Der etwas kleinere Betrag der systematischen Fehler rührt von der bei den Messingpendeln nicht ganz ausgeglichenen Temperatur her, welcher Einfluß bei den Nickelstahlpendeln verschwindend sein dürfte.

2. Ableitung der mittleren Fehler aus den Abweichungen der Schwingungszeiten der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel.

Tabelle III.

*Übersicht der Unterschiede der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel.*

Nr.	Station	Messingpendel						
		Unterschiede mittleres Pendel weniger			Abweichungen der Einzel- unterschiede vom Reihenmittel			
		Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	
	Potsdam .....	1	— 9457	+ 4596	+ 4862	— 10	+ 6	+ 3
		2	— 9459	+ 4592	+ 4866	— 8	+ 10	— 1
1	Hess. Oldendorf .....		— 9457	+ 4600	+ 4858	— 10	+ 2	+ 7
2	Stadthagen .....		— 9452	+ 4592	+ 4860	— 15	+ 10	+ 5
3	Diepenau .....		— 9455	+ 4592	+ 4863	— 12	+ 10	+ 2
4	Stolzenau a. d. W. ....		— 9464	+ 4597	+ 4866	— 3	+ 5	— 1
5	Nienburg a. d. W. ....	1	— 9449	+ 4595	+ 4853	— 18	+ 7	+ 12
		2	— 9465	+ 4603	+ 4861	— 2	— 1	+ 4
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen		— 9472	+ 4604	+ 4869	+ 5	— 2	— 4
7	Hoya .....		— 9473	+ 4606	+ 4867	+ 6	— 4	— 2
8	Neu Bruchhausen ....	1	— 9475	+ 4603	+ 4871	+ 8	— 1	— 6
		2	— 9473	+ 4604	+ 4868	+ 6	— 2	— 3
9	Langwedel .....	1	— 9479	+ 4614	+ 4864	+ 12	— 12	+ 1
		2	— 9480	+ 4612	+ 4868	+ 13	— 10	— 3
10	Bremen .....		— 9476	+ 4612	+ 4865	+ 9	— 10	0
	Potsdam .....	1	— 9476	+ 4609	+ 4866	+ 9	— 7	— 1
		2	— 9471	+ 4596	+ 4874	+ 4	+ 6	— 9
	Mittelwerte:		— 9467	+ 4602	+ 4865			
	Summe der Fehlerquadrate:					1622	869	406

Nr.	Station	Nickelstahlpendel						
		Unterschiede mittleres Pendel weniger			Abweichungen der Einzel- unterschiede vom Reihenmittel			
		Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	
	Potsdam .....	1	+ 341	- 123	- 218	+ 5	- 9	+ 4
		2	+ 343	- 124	- 220	+ 3	- 8	+ 6
1	Hess. Oldendorf .....		+ 348	- 135	- 214	- 2	+ 3	0
2	Stadthagen .....		+ 347	- 134	- 214	- 1	+ 2	0
3	Diepenau .....		+ 362	- 140	- 221	- 16	+ 8	+ 7
4	Stolzenau a. d. W. ....		+ 348	- 135	- 213	- 2	+ 3	- 1
5	Nienburg a. d. W. ....	1	+ 351	- 140	- 212	- 5	+ 8	- 2
		2	+ 347	- 138	- 208	- 1	+ 6	- 6
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen		+ 346	- 127	- 219	0	- 5	+ 5
7	Hoya .....		+ 344	- 131	- 214	+ 2	- 1	0
8	Neu Bruchhausen ....	1	+ 343	- 127	- 216	+ 3	- 5	+ 2
		2	+ 341	- 126	- 214	+ 5	- 6	0
9	Langwedel .....	1	+ 345	- 131	- 214	+ 1	- 1	0
		2	+ 344	- 133	- 212	+ 2	+ 1	- 2
10	Bremen .....		+ 346	- 132	- 214	0	0	0
	Potsdam .....	1	+ 346	- 134	- 212	0	+ 2	- 2
		2	+ 340	- 131	- 209	+ 6	- 1	- 5
		3	+ 348	- 140	- 208	- 2	+ 8	- 6
	Mittelwerte:		+ 346	- 132	- 214			
	Summe der Fehlerquadrate:					408	489	240

Von den drei Messingpendeln zeigen Nr. 21 und Nr. 5 von der Station Kirchdorf ab einen Wechsel der Vorzeichen bei den Unterschieden gegen die Reihenmittel. Die Abweichungen von Nr. 7 zeigen mehr den Charakter zufälliger Fehler. Die Abweichungen der Nickelstahlpendel von ihren Reihenmitteln haben im großen und ganzen alle den Charakter zufälliger Fehler.

In den obigen Tabellen sind nur die vollen Tagesbeobachtungen zu je zwei Reihen von drei Pendeln verwendet. Man erhält als mittleren Fehler einer Doppelbeobachtung eines Pendels

für die *Messingpendel*:  $m''_{II} = 10^{-7} \sqrt{\frac{1622 + 869 + 406}{2 \times 16}} = \pm 9.5 \times 10^{-7},$

für die *Nickelstahlpendel*:  $m''_{II} = 10^{-7} \sqrt{\frac{408 + 489 + 240}{2 \times 17}} = \pm 5.8 \times 10^{-7}.$

Als mittlere Fehler eines aus zwei Reihen zu je drei Pendeln bestehenden Tagesmittels ergeben sich:

für die *Messingpendel*:  $m_{II} = \pm 5.5 \times 10^{-7},$

für die *Nickelstahlpendel*:  $m_{II} = \pm 3.3 \times 10^{-7}.$

Auf S. 94 und 97 erhielten wir aus der inneren Übereinstimmung der an einem Tage beobachteten Schwingungszeiten eines mittleren Pendels:

für die *Messingpendel*:  $m_I = \pm 5.1 \times 10^{-7},$

für die *Nickelstahlpendel*:  $m_I = \pm 4.5 \times 10^{-7}.$

In diesen mittleren Fehlern kommen außer den zufälligen Fehlern nur noch die systematischen Änderungen der Pendel auf der Station zum Ausdruck, während in  $m_{II}$  die Änderungen der Pendel von Station zu Station zum Spruch kommen. Das zeigte sich gerade bei den Messingpendeln, weil diese sämtlich ihre Schwingungszeiten während der Reise geändert haben, während die der Nickelstahlpendel nahezu konstant geblieben sind.

3. Ableitung der mittleren Fehler aus den Unterschieden der Schwingungszeiten „Feldstation weniger Potsdam“.

Für Potsdam ist das Mittel aus den Anschlußmessungen vor Beginn und nach Schluß der Reise genommen worden. Vergleiche die Tabellen I und II S. 95 und 96.

*Messingpendel.*

Nr.	Station	Unterschiede Feldstation weniger Potsdam				Abweichungen vom Mittel			Rezi- proke Ge- wichts- zahlen
		Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	
1	Hess. Oldendorf .....	+ 6	+ 13	+ 24	+ 14	+ 8	+ 1	- 10	0.50
2	Stadthagen .....	- 33	- 12	- 11	- 19	+ 14	- 7	- 8	0.50
3	Diepenau .....	- 75	- 57	- 59	- 64	+ 11	- 7	- 5	0.50
4	Stolzenau a. d. W. ....	- 77	- 73	- 73	- 74	+ 3	- 1	- 1	0.50
5	Nienburg a. d. W. ....	- 90	- 81	- 70	- 80	+ 10	+ 1	- 10	0.25
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen	- 51	- 55	- 50	- 52	- 1	+ 3	- 2	0.33
7	Hoya .....	- 85	- 99	- 91	- 92	- 7	+ 7	- 1	0.50
8	Neu Bruchhausen .....	- 81	- 94	- 91	- 89	- 8	+ 5	+ 2	0.25
9	Langwedel .....	- 113	- 140	- 124	- 126	- 13	+ 14	- 2	0.25
10	Bremen .....	- 163	- 186	- 170	- 173	- 10	+ 13	- 3	0.50
Summe der Fehlerquadrate:						873	549	312	

*Nickelstahlpendel.*

Nr.	Station	Unterschiede Feldstation weniger Potsdam				Abweichungen vom Mittel			Rezi- proke Ge- wichts- zahlen
		Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	$P_m$	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	
1	Hess. Oldendorf .....	+ 5	+ 18	+ 12	+ 12	+ 7	- 6	0	0.50
2	Stadthagen .....	- 25	- 14	- 19	- 19	+ 6	- 5	0	0.50
3	Diepenau .....	- 74	- 42	- 46	- 54	+ 20	- 12	- 8	0.50
4	Stolzenau a. d. W. ....	- 76	- 63	- 70	- 70	+ 6	- 7	0	0.50
5	Nienburg a. d. W. ....	- 82	- 64	- 78	- 75	+ 7	- 11	+ 3	0.25
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen	- 68	- 65	- 58	- 64	+ 4	+ 1	- 6	0.50
7	Hoya .....	- 96	- 91	- 93	- 93	+ 3	- 2	0	0.50
8	Neu Bruchhausen .....	- 84	- 86	- 82	- 84	0	+ 2	- 2	0.25
9	Langwedel .....	- 126	- 120	- 124	- 123	+ 3	- 3	+ 1	0.25
10	Bremen .....	- 177	- 169	- 172	- 173	+ 4	- 4	- 1	0.50
Summe der Fehlerquadrate:						620	409	115	

Als Summe der reziproken Gewichtszahlen für *Potsdam* erhält man

$$\text{nach S. 95 für die Messingpendel: } \frac{1}{n} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{7} + \frac{1}{5} \right),$$

$$\text{nach S. 96 für die Nickelstahlpendel: } \frac{1}{n} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{7} + \frac{1}{6} \right).$$

Nun ist (S. 69):

$$m'_{III} = \frac{[vv]}{2 \sum \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n'} \right)}.$$

Bei zehn der Berechnung zugrunde gelegten Stationen ist dann zu setzen:

$$\text{für die Messingpendel: } \sum \frac{1}{n} = 10 \cdot \frac{1}{3} \left( \frac{1}{7} + \frac{1}{5} \right) = 1.14,$$

$$\text{für die Nickelstahlpendel: } \sum \frac{1}{n} = 10 \cdot \frac{1}{3} \left( \frac{1}{7} + \frac{1}{6} \right) = 1.00.$$

$\sum \frac{1}{n'}$  ist für die Messingpendel = 4.08 und für die Nickelstahlpendel = 4.25.

Dann erhält man:

$$m'_{III} = \frac{1724}{10.44} \times 10^{-14}; \quad m'_{III} = \pm 12.9 \times 10^{-7} \text{ für die Messingpendel,}$$

$$m'_{III} = \frac{1144}{10.50} \times 10^{-14}; \quad m'_{III} = \pm 10.84 \times 10^{-7} \text{ für die Nickelstahlpendel.}$$

Bei einer durchschnittlichen Beobachtung von zwei Reihen zu je drei Pendeln auf jeder Feldstation wird der mittlere Fehler eines Unterschiedes der Schwingungszeit eines mittleren Pendels einer Feldstation gegen den gleichen Wert in *Potsdam*:

$$m_{III} = \pm 5.3 \times 10^{-7} \text{ für die Messingpendel.}$$

$$m_{III} = \pm 4.3 \times 10^{-7} \text{ für die Nickelstahlpendel.}$$

Bei beiden Pendelarten sind die hier abgeleiteten Fehler größer als die gleichen Werte des Vorjahres; das ist in erster Linie auf den wenig günstigen Untergrund auf den Stationen zurückzuführen.

Als durchschnittlichen mittleren Fehler des mittleren Pendels einer Feldstation nehmen wir das Mittel aus den drei abgeleiteten mittleren Fehlern

$$m = \frac{m_I + m_{II} + m_{III}}{3}$$

und erhalten

$$\text{für die Messingpendel: } m = \pm 5.3 \times 10^{-7},$$

$$\text{für die Nickelstahlpendel: } m = \pm 4.0 \times 10^{-7}.$$

Diese mittleren Fehler werden der Genauigkeitsberechnung der Endwerte zugrunde gelegt.



§ 6. Der Temperatenausgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten.

Bei der Darstellung der Temperaturen in einer übersichtlichen Tabelle beschränken wir uns wie früher auf die Messingpendelbeobachtungen, da die Nickelstahlpendel in ungefähr gleicher Größe wie diese von der Unsicherheit der Bestimmung der Temperaturkonstanten beeinflusst werden. Auf eine Ableitung des Einflusses der dynamischen Temperaturkonstanten können wir bei der Kleinheit seines Wertes auch hier wieder als unerheblich verzichten.

Mitteltemperaturen der Messingpendel.

Nr.	Station	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$	Nr.	Station	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$				
	Potsdam.....	15°02	15°04	15°03	15°03	6	Kirchdorf, Kr. Sulingen	16°19	16°15	16°09	16°14				
		15.18	15.19	15.22	15.20			15.60	15.59	15.58	15.59				
		15.21	15.24	15.28	15.24			15.45	15.42	15.42	15.43				
		15.40	15.41	15.42	15.41		7	Hoya.....	16.37	16.37	16.38	16.37			
		15.39	15.41	15.43	15.41				16.57	16.58	16.64	16.60			
		15.50	15.50	15.50	15.50				8	Neu Bruch- hausen	18.58	18.61	18.62	18.60	
15.64	15.64	15.65	15.64	18.39	18.44	18.52	18.45								
14.13	14.20	14.27	14.20	18.79	18.69	18.60	18.69								
1	Hess. Oldendorf	14.45	14.48	14.53	14.49	17.36	17.33	17.30	17.33	9	Langwedel.....	14.59	14.60	14.60	14.60
2	Stadthagen.....	13.15	13.16	13.18	13.16	14.81	14.80	14.80	14.80						
12.99	13.00	12.99	12.99	14.30	14.28	14.28	14.29								
3	Diepenau.....	11.61	11.40	11.78	11.60	14.23	14.20	14.21	14.21	10	Bremen.....	16.59	16.61	16.65	16.62
14.29	14.48	14.71	14.49	16.73	16.73	16.73	16.73								
16.98	17.02	17.04	17.01	Potsdam.....	15.24	15.24	15.26	15.25							
16.26	16.22	16.19	16.22		15.07	15.09	15.13	15.10							
13.64	13.65	13.64	13.64		15.09	15.10	15.10	15.10							
5	Nienburg a. d. W.	13.02	13.07	13.13	13.07	14.50	14.50	14.55	14.52			14.47	14.45	14.47	14.46
13.57	13.57	13.57	13.57												
13.57	13.57	13.60	13.58												

Die Anschlußstation Potsdam ist bei einer mittleren Temperatur von + 15°1 beobachtet worden.

Als durchschnittlichen mittleren Fehler eines Unterschiedes der Schwingungsdauer eines mittleren Pendels einer *Feldstation* gegen *Potsdam*, soweit er von der Ungenauigkeit der Bestimmung der Temperaturkonstanten herrührt, findet man:

$$m_T = \pm 0.2 \times 10^{-7}.$$

Aus den allgemeinen Übersichten bilden wir die Unterschiede der mittleren Luftdichten auf einer *Feldstation* gegen den gleichen Wert in *Potsdam*. Diese Unterschiede geben mit dem mittleren Fehler der angewandten Dichtekonstanten  $\pm 7^8 \times 10^{-7}$  (S. 42) als den Anteil der Ungenauigkeit dieser Bestimmung an dem mittleren Fehler der Unterschiede der Schwingungsdauer eines mittleren Pendels einer *Feldstation* gegen den gleichen Wert in *Potsdam*:

$$m_a = \pm 0.1 \times 10^{-7}.$$

§ 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel.

Nach den Tabellen I und II S. 95 und 96 sind die Werte der Anschlußmessungen in *Potsdam*:

a. *Messingpendel.*

	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$
I:	0 <sup>s</sup> :5097444	0 <sup>s</sup> :5083391	0 <sup>s</sup> :5083121	0 <sup>s</sup> :5087985
II:	0.5097455	0.5083379	0.5083110	0.5087981
II—I:	+ 11	— 12	— 11	— 4.

b. *Nickelstahlpendel.*

	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	$P_n$
I:	0 <sup>s</sup> :5076456	0 <sup>s</sup> :5076918	0 <sup>s</sup> :5077013	0 <sup>s</sup> :5076796
II:	0.5076453	0.5076932	0.5077007	0.5076797
II—I:	— 3	+ 14	— 6	+ 1.

Ableitung des Einflusses der Veränderlichkeit der Pendel auf die Genauigkeit des Unterschiedes der Pendelbeobachtungen auf einer *Feldstation* gegen die gleichen Werte in *Potsdam*. Vergl. S. 72.

*Unterschiede der Schwingungsdauer der Pendel.*

Nr.	Station	Messingpendel			Rezi- proke Gewichts- zahlen	Nickelstahlpendel			Rezi- proke Gewichts- zahlen
		21—7	21—5	5—7		76—79	77—79	77—76	
1	Potsdam.....	14323	14053	270	0.14	462	557	95	0.14
2	Hess. Oldendorf.....	14316	14058	258	0.50	483	562	79	0.50
3	Stadthagen .....	14312	14044	268	0.50	481	561	80	0.50
4	Diepenau .....	14318	14047	271	0.50	502	583	81	0.50
5	Stolzenau a. d. W. ....	14330	14061	269	0.50	483	561	78	0.50
6	Nienburg a. d. W. ....	14314	14056	258	0.25	488	559	71	0.25
7	Kirchdorf.....	14336	14069	269	0.33	473	567	92	0.50
8	Hoya .....	14340	14079	261	0.50	475	558	83	0.50
9	Neu Bruchhausen ....	14344	14078	266	0.25	468	557	89	0.25
10	Langwedel.....	14345	14092	253	0.25	476	557	81	0.25
11	Bremen.....	14341	14088	253	0.50	478	560	82	0.50
12	Potsdam.....	14346	14077	269	0.20	479	554	75	0.17

Für die  $\Delta^2$  folgen daraus die folgenden Werte:

Intervall der Stationen	Messingpendel					Nickelstahlpendel				
	Mittleres $\Delta^2$ für die Differenzen			Mittel aus allen $\Delta^2$	Faktor von $\mu^2$	Mittleres $\Delta^2$ für die Differenzen			Mittel aus allen $\Delta^2$	Faktor von $\mu^2$
	21—7	21—5	5—7			76—79	77—79	77—76		
1	95	82	92	90	1.55	161	129	90	127	1.60
2	92	145	85	107	1.50	121	119	77	106	1.56
3	187	219	76	161	1.50	338	118	118	191	1.57
4	248	540	57	282	1.50	199	167	111	159	1.59
5	367	545	91	334	1.43	295	127	177	200	1.52
6	525	743	119	462	1.44	183	136	23	114	1.52
Mittelwert:	252	379	87	239	1.49	216	133	99	149	1.56

Die systematischen Unterschiede der  $\Delta^2$  von 21—7 und 21—5 sind wohl in erster Linie auf die Änderungen des Pendels Nr. 21 zurückzuführen. Die  $\Delta^2$  von 5—7 sind in genügender Übereinstimmung. Da wir nur mit dem Mittelwerte der Änderung der drei Pendel rechnen werden, haben wir uns auch hier begnügt, den Mittelwert der  $\Delta^2$  zugrunde zu legen.

Es wird (vgl. S. 32):

a. Für die *Messingpendel*.

$$239 \times 10^{-14} = 1.49 \mu^2 + 2 \lambda^2.$$

Für  $\mu$  wird der Mittelwert der drei, S. 94 abgeleiteten, mittleren Fehler der Einzelpendel genommen. Dann wird mit  $\mu = \pm 8^{\cdot}5 \times 10^{-7}$ :

$$\lambda = \pm 7^{\cdot}9 \times 10^{-7}.$$

Als Einfluß der mittleren Veränderung bei einem Zwischenraum von 3 Stationen und einer durchschnittlichen Anzahl von 6 Pendelbeobachtungen für eine Station findet man:

$$\lambda_m = \pm 3^{\cdot}2 \times 10^{-7}.$$

b. Für die *Nickelstahlpendel*.

$$149 \times 10^{-14} = 1.56 \times 7.3^2 + 2 \lambda^2$$

$$\lambda = \pm 5^{\cdot}7 \times 10^{-7}$$

und wie oben:

$$\lambda_m = \pm 2^{\cdot}3 \times 10^{-7}.$$

Diese Werte werden bei der Fehlerberechnung berücksichtigt werden.

§ 8. Vergleich der Ergebnisse der Messing- und der Nickelstahlpendelbeobachtungen.

Beobachtete „g“.

Nr.	Station	Messingpendel			$P_m$	Nickelstahlpendel			$P_n$
		Nr. 21 981. <sup>cm</sup>	Nr. 5 981. <sup>cm</sup>	Nr. 7 981. <sup>cm</sup>		Nr. 79 981. <sup>cm</sup>	Nr. 76 981. <sup>cm</sup>	Nr. 77 981. <sup>cm</sup>	
1	Hess. Oldendorf	272	269	265	269	272	267	269	269
2	Stadthagen . . . . .	287	279	278	281	284	279	281	281
3	Diepenau . . . . .	303	297	297	299	303	290	292	295
4	Stolzenau a. d. W.	304	302	302	303	302	298	301	300
5	Nienburg a. d. W.	309	305	301	305	306	299	304	303
6	Kirchdorf, Kr. Sulingen.	294	295	293	294	300	299	296	298
7	Hoya . . . . .	307	312	309	309	311	309	310	310
8	Neu Bruchhausen	305	310	309	308	306	307	306	306
9	Langwedel . . . . .	318	328	322	323	323	320	322	322
10	Bremen . . . . .	337	346	340	341	342	339	340	340

Unterschiede zwischen den auf gleichen Lagern beobachteten Pendeln.

Nr.	Messingpendel weniger Nickelstahlpendel			$P_m - P_n$
	Nr. 21 — Nr. 79	Nr. 5 — Nr. 76	Nr. 7 — Nr. 77	
1	0	+ 2	- 4	0
2	+ 3	0	- 3	0
3	0	+ 7	+ 5	+ 4
4	+ 2	+ 4	+ 1	+ 3
5	+ 3	+ 6	- 3	+ 2
6	- 6	- 4	- 3	- 4
7	- 4	+ 3	- 1	- 1
8	- 1	+ 3	+ 3	+ 2
9	- 5	+ 8	0	+ 1
10	- 5	+ 7	- 1	+ 1

Die Endergebnisse für die aus den mittleren Pendeln der beiden Arten abgeleiteten Schwerkkräfte zeigen den Charakter zufälliger Fehler. Die Unterschiede 21—7 und 5—76 zeigen durch die Häufung gleicher Vorzeichen den Einfluß systematischer Fehler. Da aber die Unterschiede der letzten vier Stationen bei den beiden entgegengesetzte Vorzeichen haben, so kann

auf einen durch die Beschaffenheit der Nickelstahlpendel hervorgerufenen systematischen Einfluß nicht geschlossen werden. Vielmehr zeigt die letzte Kolumne der vorstehenden Tabelle die völlige Gleichwertigkeit der beiden Pendelarten.

## § 9. Genauigkeit der Beobachtungen.

### I. Messingpendel.

1. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten auf einer Feldstation nach S. 100 =  $\pm 5^{\cdot 3} \times 10^{-7}$ .
2. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten in Potsdam =  $\pm 1^{\cdot 5} \times 10^{-7}$ .
3. Mittlerer Fehler der Bestimmung des Mitschwingens auf einer Feldstation und in Potsdam =  $\pm 0^{\cdot 7} \times 10^{-7}$ .
4. Einfluß des Fehlers der Temperaturkonstanten =  $\pm 0^{\cdot 2} \times 10^{-7}$  und der Dichtekonstanten =  $\pm 0^{\cdot 1} \times 10^{-7}$ .
5. Einfluß der Veränderung der Pendel nach S. 103 =  $\pm 3^{\cdot 2} \times 10^{-7}$ .
6. Mittlere Fehler der benutzten Uhrgänge auf den Feldstationen =  $\pm 2^{\cdot 5} \times 10^{-7}$ , in Potsdam =  $\pm 1^{\cdot 2} \times 10^{-7}$ .

$$M_s^2 = 49 \cdot 3 \times 10^{-14}; \quad M_s = \pm 7^{\cdot 1} \times 10^{-7}.$$

Mittlerer Fehler für die Unterschiede der Schwerkraft mit Potsdam:

$$M_g = \pm 0.0027 \text{ cm.}$$

### II. Nickelstahlpendel.

1. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten auf einer Feldstation nach S. 100 =  $\pm 4^{\cdot 0} \times 10^{-7}$ .
2. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten in Potsdam =  $\pm 1^{\cdot 0} \times 10^{-7}$ .
3. und 4. wie bei den Messingpendeln.
5. Einfluß der Veränderung der Pendel nach S. 103 =  $\pm 2^{\cdot 3} \times 10^{-7}$ .
6. wie bei den Messingpendeln.

$$M_s^2 = 31 \cdot 0 \times 10^{-14}; \quad M_s = \pm 5^{\cdot 6} \times 10^{-7}.$$

Mittlerer Fehler für die Unterschiede der Schwerkraft mit Potsdam:

$$M_g = \pm 0.0022 \text{ cm.}$$

## IV. Beobachtungen im Jahre 1908.

### § 1. Vorbemerkungen.

Außer den Inselstationen *Wangeroog*, *Helgoland* und *Neuwerk* sind in diesem Jahre noch 7 Inlandstationen, am *Jadebusen* und zwischen *Weser*- und *Elbemündung* gelegen, bestimmt worden. Herr Geheimrat HELMERT hatte die Beobachtungen auf diesen Stationen angeordnet, um Aufklärung zu schaffen über das eigenartige Verhalten, das die früher in jenen Gegenden ermittelten Lotablenkungen zeigen.

Die Stationen zwischen *Weser*- und *Elbemündung* bilden zudem eine Fortsetzung der Bestimmungen der Intensität der Schwerkraft in der Nähe des *Meridians von Tübingen* ( $9^{\circ}$  W.) bis zur *Nordsee*.

Auf den Stationen *Wangeroog*, *Hohenkirchen* und *Neuwerk* litten die Beobachtungen unter dem stürmischen Wetter; jedoch sind die Ergebnisse durch Ausdehnung der Beobachtungen auf zwei und mehr Tage wohl gesichert.

Die Auswahl der Beobachtungsräume machte bei den Landstationen keine Schwierigkeiten. In *Wangeroog* mußte ich mich mit einer Scheune begnügen, weil mir ein besserer Raum trotz der persönlichen Fürsprache des Herrn Amtshauptmanns DROSTE in *Jever* und des Herrn Bürgermeisters der Insel *Wangeroog* versagt wurde. Den beiden genannten Herren statte ich auch an dieser Stelle für ihre Bemühungen meinen Dank ab.

In *Wilhelmshaven* fand ich die beste Aufnahme bei dem jetzt leider verstorbenen Direktor des Marineobservatoriums Herrn Professor Dr. BÜRGEN, der mir für den Aufbau meiner Pendelapparate einen Keller im Beamtenwohnhaus des Observatoriums zur Verfügung stellte. Herr Dr. MEYERMANN übernahm freundlichst die Vergleichung meiner Beobachtungsuhr mit der Pendeluhr des Observatoriums und führte auch die notwendigen Zeitbestimmungen und die Ableitung der täglichen Gänge meiner Uhr aus. Ihm möchte ich auch an dieser Stelle herzlich für die wertvolle Unterstützung danken.

Die Beobachtungen in *Helgoland* erfreuten sich der in zuvorkommendster Weise dargebrachten Unterstützung des Herrn Kommandanten Kontreadmiral EMSMANN. Auf Befehl des Herrn Admirals beförderten Matrosen die Instrumente vom Schiff zu der Station auf dem Oberlande und später ebenso zurück vom Beobachtungsraum zum Schiff. Ein Beobachtungsraum wurde

in den Räumen der Festung freundlichst zur Verfügung gestellt. Dem Herrn Admiral fühle ich mich für das gütige Entgegenkommen zu großem Danke verpflichtet.

Auf der Hamburgischen Insel *Neuwerk* hatte ich mit mehr Schwierigkeiten zu kämpfen, die aber durch die uneigennützig und tatkräftige Unterstützung des Herrn Vogt HERMANN gehoben wurden. Der zuerst von mir als Beobachtungsraum gewählte Keller im Leuchtturm erwies sich als ungeeignet. Winddruck und durch die Bewohner hervorgerufene Unruhe im Turm erzeugten eine ständige zitternde Bewegung des Fußbodens. Es war das sehr gut zu erkennen bei der für die Bestimmung des Mitschwingens notwendigen Beruhigung eines Pendels. Eine völlige Beruhigung konnte nicht erzielt werden. Deshalb brach ich die schon eingerichtete Station ab und baute die Instrumente von neuem auf in einem Schuppenanbau des staatlichen Arbeiterhauses.

Aus ähnlichen Gründen mußte ich die zuerst in Aussicht genommene Station Bremerhaven aufgeben. Bremerhaven ist auf Schlickboden erbaut, der infolge des regen Wagenverkehrs in der Stadt in ständiger Bewegung ist, sodaß in dem sonst sehr geeigneten Keller der Gewerbeschule eine Beruhigung der Halbsekundenpendel bei der Bestimmung des Mitschwingens nicht erreicht werden konnte. Ich verließ deshalb diese Station und verlegte sie nach der Nachbarstadt *Lehe*, wo mir von dem Herrn Bürgermeister ein Raum in den Kellereien des Rathauses zur Verfügung gestellt wurde.

Sämtliche Binnenlandstationen liegen inmitten oder am Rande großer Moore. Von allgemeinerem Interesse dürften die Verhältnisse auf der Station *Ovelgönne* sein. Unter einer etwa 4 m dicken Moorschicht zieht sich in dieser Gegend eine undurchlässige Tonschicht hin, auf die wieder Moor folgt. Hier ist die Entwicklung und Anstauung von Sumpfgas derartig stark, daß das nach Durchstoßung der undurchlässigen Tonschicht ausströmende Gas eingefangen und sowohl zu Beleuchtungs- als auch zu Fabrikzwecken benutzt werden kann, ohne vorher irgendwelcher Reinigung unterzogen zu sein. Für die Pendelbeobachtung war mit der eigenartigen Lage im Moor der Übelstand verbunden, daß selbst die kleinsten Wagen schon in weiterer Entfernung von der Station Erschütterungen hervorriefen, die eine Bestimmung des Mitschwingens nur in der Nacht bei gänzlich ruhendem Verkehr gestatteten. Durch Vergrößerung der Amplituden bei den Pendelbeobachtungen wurde der fälschende Einfluß der kleinen Erschütterungen bei Tage auf die beobachteten Schwingungszeiten aufgehoben. Günstig war, daß in dem einsamen Städtchen ein reger Wagenverkehr nicht vorhanden war.

Für die Beobachtungen verwandte ich wieder den Dreipendelapparat mit den *Messingpendeln* Nr. 21, Nr. 5 und Nr. 7, sowie die *Nickelstahlpendel* Nr. 79, Nr. 76 und Nr. 77, die auch in den beiden Vorjahren benutzt wurden.

Außerdem führte ich den Viertelsekundenpendelapparat mit, den ich auch auf der Reise 1905 auf einigen Stationen benutzte. Damals befriedigten die Beobachtungen nicht. Die Pendel Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3, Nr. 4 hatten eine Koinzidenzzeit von 10 Minuten, was für die Beobachtungen nicht bequem

war. Durch Einsetzen von neuen Pendelstangen haben sie jetzt eine Koinzidenzzeit von etwa einer Minute erhalten. Mit Ausnahme der Station *Neuwerk*, auf der für zwei Pendelapparate nicht genügend Raum vorhanden war, habe ich die Viertelsekundenpendel auf allen Stationen mit zum Teil sehr günstigem Erfolge beobachtet.

## § 2. Die Stationen und ihre Höhenlagen.

Die Ableitung der Höhen der Pendelpfeiler folgt in der zweiten Tabelle. In die erste Tabelle sind Ergebnisse der Höhenbestimmungen schon mit aufgenommen.

Nr.	Station	Geographische		Höhe in m	Lage des Beobachtungsraumes	Art des Fußbodens
		Breite	Länge			
1	Wangerooog ....	53° 47' 7	7° 54' 0	6	Scheune des Herrn LAMMERS.	Ziegelsteinpflaster.
2	Hohenkirchen .	53 40.0	7 55.6	0	Keller im Hause des Herrn HELMBRECHT.	Zement.
3	Wilhelmshaven	53 31.9	8 8.8	4	Keller im Wohnhause des Observatoriums.	Zement.
4	Ovelgönne.....	53 20.7	8 25.4	2	Nebenraum im Gasthof „Zum König von Grie- chenland“.	Terrazzo.
5	Worpswede ...	53 13.3	8 55.9	22	Keller im Armenhause.	Zement.
6	Beverstedt ....	53 26.2	8 49.3	12	Keller im Schulgebäude.	Ziegelsteinpflaster.
7	Lehe .....	53 34.2	8 35.3	2	Keller im Rathause.	Zement.
8	Otterndorf ....	53 48.5	8 53.9	3	Keller im Realschul- gebäude.	Ziegelsteinpflaster.
9	Helgoland .....	54 10.8	7 53.1	51	Magazinschuppen.	Ziegelsteinpflaster.
10	Neuwerk .....	53 55.0	8 29.8	4	Schuppen am staatlichen Arbeiterhause.	Ziegelsteinpflaster.

Das zur Höhenbestimmung benutzte Barometer BOHNE 938 wurde vor und nach der Beobachtung mit dem Stationsbarometer BOHNE 937 verglichen. Die Beständigkeit der angeführten Unterschiede zeugt von der Güte beider Barometer. Ein Einfluß auf die Bestimmung der Schwerkraft der *Feldstationen* ist durch den kleinen mittleren Fehler der Höhenermittlung nicht zu befürchten.



Nr.	Station	Anbindepunkt	Unterschiede 937—938		Unterschiede von 938 Pendel- pfeiler weniger Anbinde- punkt	Mittl. Baro- meter- stand	Luft- tempe- ratur	Höhen- unter- schied Pendel- pfeiler weniger Anbinde- punkt	Höhe des An- binde- punkts	Höhe des Pen- del- pfeilers	Mittel- wert	Mittl. Fehler
			vor	nach								
1	Wangeroog ....	Bolzen am Hause des Lotsenkom- mandos.	mm	mm	mm	mm						
			+7.4	+7.4	0	751	+20.5	0 <sup>m</sup>		5 <sup>m</sup> .1		
			+7.3	+7.3	-0.1	752	+23.6	+ 1.1	5 <sup>m</sup> .1	6.2	5 <sup>m</sup> .8	±0 <sup>m</sup> .3
			+7.2	+7.2	-0.1	755	+16.1	+ 1.1		6.2		
			+7.0	+7.0	0	759	+17.4	0		5.1		
2	Hohenkirchen .	Niv.-Bolzen an der Landstraße nach Wiarden.	+7.2	+7.3	+0.1	758	+19.2	- 1.1		+0.6		
			+7.2	+7.2	+0.2	758	+15.8	- 2.2	1.7	-0.5	0.0	±0.3
			+7.4	+7.4	+0.2	762	+16.1	- 2.2		-0.5		
			+7.5	+7.4	+0.1	767	+16.0	- 1.1		+0.6		
3	Wilhelmshaven	Mitteilung des Kgl. Observatoriums.								4		
4	Ovelgönne .....	Schienenoberkante auf d. Bahnhofe.	+7.0	+7.0	-0.1	770	+19.7	+ 1.1		2.2		
			+7.3	+7.3	-0.1	768	+21.2	+ 1.1	1.1	2.2	2.2	0
5	Worpswede ...	Niv.-Bolzen an der Dorfstraße.	+7.2	+7.3	-1.2	764	+17.0	+13.4		22.1		
			+7.4	+7.3	-1.1	763	+17.2	+12.3		21.0		
			+7.4	+7.4	-1.3	762	+16.8	+14.6	8.7	23.3	22.4	±0.4
			+7.3	+7.4	-1.3	762	+19.8	+14.7		23.4		
			+7.3	+7.3	-1.2	761	+18.8	+13.5		22.2		
6	Beverstedt .....	Niv.-P. bei Meyer- hof.	+7.0	+7.0	-0.1	760	+22.0	+ 1.1		11.5		
			+7.1	+7.2	-0.1	760	+20.5	+ 1.1	10.4	11.5	11.5	0
			+7.2	+7.2	-0.1	763	+16.0	+ 1.1		11.5		
			+7.2	+7.2	-0.1	760	+22.5	+ 1.1		11.5		
7	Lehe .....	Angabe des Stadt- bauamtes.								2.0		
8	Otterndorf .....	Bolzen am Bahn- hof.	+7.2	+7.2	+0.2	762	+17.0	- 2.2		2.2		
			+7.2	+7.2	+0.1	762	+17.0	- 1.1	4.4	3.3	2.7	±0.3
			+7.2	+7.2	+0.15	765	+17.5	- 1.7		2.7		
9	Helgoland .....	Bolzen a. d. Signal- station.	+7.4	+7.4	+0.30	753	+20.1	- 3.4		53.1		
			+7.4	+7.4	+0.60	750	+15.5	- 6.7	56.5	49.8	50.6	±1.0
			+7.4	+7.4	+0.50	750	+16.4	- 5.7		50.8		
			+7.5	+7.5	+0.70	752	+15.0	- 7.9		48.6		
10	Neuwerk .....	Messung d. Höhen- unterschiedes ge- gen T. P. durch Nivellement.								4.0		

### § 3. Bestimmung des Mitschwingens.

Das Mitschwingen ist nach der Zweipendelmethode (S. 34) bestimmt worden. Auf der Station *Neuwerk* herrschte fast während der ganzen Beobachtungszeit ein derartiger Sturm, daß es zunächst schwierig war, das Mitschwingen nach der Pendelmethode zu bestimmen. Ich habe daher auch zur Sicherung das Mitschwingen nach der Wippmethode bestimmt und erhielt die gleichen Ergebnisse wie bei dem zuletzt eingetretenen windstillen Wetter nach der Pendelmethode.

Auf allen anderen Stationen ist nur die Pendelmethode benutzt. Ein eigentümliches Verhalten zeigte die Station Helgoland. Etwa 20 m von dem Beobachtungsraum entfernt, führte eine von Pferden gezogene Kippwagenbahn vorbei, die das Baumaterial vom Unterlande auf das Oberland schaffte. Während nun auf allen anderen von mir beobachteten Stationen das Vorbeifahren eines solchen Zuges durch Erschütterungen gestört haben würde, konnte ich selbst an den gegen Erschütterungen so sehr empfindlichen Viertelsekundenpendeln keinen Einfluß bemerken. Es hat den Anschein, als ob die eigenartige Zusammensetzung des Oberlandes von Helgoland — roter Sandstein in Lehm — als schwächendes Polster gegen die Erschütterungen wirkt. Eine ähnliche Erscheinung ist von Professor WIECHERT beobachtet. Dieser fand bei dem Abfeuern der großen Belagerungsgeschütze selbst an sehr empfindlichen Horizontalpendeln nur sehr geringe Bewegungen.

Die für die Reduktion angewandten Formeln finden sich auf Seite 4.

Nr.	Station	Richtung I					Richtung II				
		Mit- schwin- gen	[ <i>v</i> ]	Anzahl der Beob- achtung.	Stations- mittel	Mittlerer Fehler	Mit- schwin- gen	[ <i>v</i> ]	Anzahl der Beob- achtung.	Stations- mittel	Mittlerer Fehler
	Potsdam . . . . .	1 67	7	5	67	± 0.4	49	6	6	48	± 0.3
		2 66	13	6			48	4	7		
		3 69	24	7							
		4 68	19	6							
1	Wangeroog . . . .	1 86	43	6	87	± 0.9	70	33	7	71	± 0.7
		2 88	236	7			68	34	6		
		3 93	4	5			75	91	6		
		4 79	61	4							
2	Hohenkirchen .	1 45	6	5	49	± 0.4	41	18	6	40	± 0.5
		2 53	8	6			40	7	5		
3	Wilhelmshaven	1 60	47	8	60	± 0.4	42	7	6	46	± 0.5
		2 62	13	7			45	32	5		
		3 59	12	6			51	11	6		
4	Ovelgönne . . . .	1 60	16	9	59	± 0.4	43	16	9	45	± 0.5
		2 58	10	5			46	36	7		
5	Worpswede . . . .	1 73	18	10	75	± 0.4	55	15	7	56	± 0.4
		2 76	39	8			59	2	2		
		3					55	1	5		
6	Beverstedt . . . .	1 83	8	7	82	± 0.5	60	33	9	60	± 0.7
		2 81	30	6							
7	Lehe . . . . .	1 71	14	9	70	± 0.3	57	75	8	55	± 0.5
		2 68	9	8			54	15	9		
		3					55	25	9		
8	Otterndorf . . . .	1 75	4	5	72	± 0.3	56	6	6	57	± 0.4
		2 73	4	6			60	36	6		
		3 68	15	8			55	7	7		

Nr.	Station	Richtung I					Richtung II					
		Mit- schwin- gen	[ $\nu$ ]	Anzahl der Beob- achtung.	Stations- mittel	Mittlerer Fehler	Mit- schwin- gen	[ $\nu$ ]	Anzahl der Beob- achtung.	Stations- mittel	Mittlerer Fehler	
9	Helgoland . . . . .	1	60	10	8	60	$\pm 0.3$	45	10	9	48	$\pm 0.2$
		2	60	20	9			50	5	7		
10	Neuwerk . . . . .	1	91	173	8	87	$\pm 0.6$	63	14	7	63	$\pm 0.4$
		2	89	81	7			68	63	6		
		3	88	58	5			66	31	7		
		4	84	41	7			58	18	7		
		5	85	41	8			65	31	10		
		6						58	37	5		
		7						61	29	8		
	Potsdam . . . . .	81	29	9	81	$\pm 0.6$	64	33	10	64	$\pm 0.6$	

Als mittleren Fehler der Bestimmung des Mitschwingens für beide Richtungen nehmen wir für Potsdam und Feldstation gleichmäßig an:  $\pm 0.6 \times 10^{-7}$ .

#### § 4. Die Ableitung der täglichen Gänge der Beobachtungsuhr STRASSER & ROHDE 101.

Die Methode der Zeitbestimmungen bestand auch in diesem Jahre wieder in der Beobachtung von Südsternen im Vertikal des Polarsterns. Die Reduktionsformeln finden sich auf S. 6.

Auf den Stationen *Wangeroo*, *Beverstedt*, *Otterndorf*, *Helgoland* und *Neuwerk* habe ich mehr als zwei Zeitbestimmungen beobachtet. Auf *Wangeroo* und *Neuwerk* war das zur Sicherung der Ergebnisse notwendig. Auf den anderen Stationen konnte ohne Zeitverlust eine dritte Zeitbestimmung beobachtet werden.

In Wilhelmshaven hatte Herr Dr. MEYERMANN gütigst die Ableitung der täglichen Gänge meiner Beobachtungsuhr übernommen. STRASSER & ROHDE Nr. 101 wurde in der Regel mittags mit der Pendeluhr des Observatoriums automatisch verglichen. Während der Zeit der Pendelbeobachtungen erhielt Herr Dr. MEYERMANN drei Zeitbestimmungen.

Auf Neuwerk erhielt ich an vier verschiedenen Tagen Zeitbestimmungen, sodaß die Ergebnisse dieser Station auf drei verschiedenen täglichen Uhrgängen beruhen.

In Potsdam hat Herr Professor WANACH wie in den Vorjahren die täglichen Gänge der Beobachtungsuhr aus mittägigen Vergleichen mit den Hauptuhren des Instituts abgeleitet.

*Tägliche Uhgänge für die Anschlußmessungen  
in Potsdam.*

1908	Genäherte mittlere Zeit der Beobachtungen	Täglicher Gang	1908	Genäherte mittlere Zeit der Beobachtungen	Täglicher Gang
Juni 15	4 <sup>h</sup> p — 9 <sup>h</sup> p	+ 0 <sup>s</sup> .36	Juni 29	6 <sup>h</sup> 2 a — 11 <sup>h</sup> 2 a	- 0 <sup>s</sup> .41
" 16	6.0 a — 11.0 a	- 0.39	" 29	3.0 p — 8.0 p	- 0.42
" 17	5.5 a — 11.0 a	- 0.45	Sept. 19	6.0 a — 8.0 p	- 0.06
" 17	2.0 p — 7.0 p	- 0.50	" 21	6.0 a — 8.0 p	- 0.10
" 19	2.0 p — 7.0 p	- 0.57	" 22	9.0 a — 2.0 p	- 0.15
" 20	5.5 a — 11.0 a	- 0.55	" 23	6.0 a — 8.0 p	- 0.19
" 24	6.0 a — 11.0 a	- 0.32	" 24	6.0 a — 8.0 p	- 0.20
" 24	3.0 p — 8.0 p	- 0.32	" 25	6.0 a — 7.0 p	- 0.18
" 27	6.0 a — 11.0 a	- 0.34	" 26	6.0 a — 7.0 p	- 0.20
" 27	3.0 p — 8.0 p	- 0.36			

*Tägliche Uhgänge für die Feldstationen.*

Nr.	Station	1908	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektio n	Uhgang		Ange- wandte Mittel der täglichen Uhgänge	Mittlere Fehler der täglichen Uhgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel
						abgeleitet aus Nummer	täglich			
1	Wangeroog ....	Juli 12	1	16 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	+ 2 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup> .29	1 u. $\frac{3+4}{2}$	+ 3 <sup>s</sup> .36	+ 3 <sup>s</sup> .36	± 0 <sup>s</sup> .00	0.0000
			2	17 29	+ 2 52.37	2 u. $\frac{5+6}{2}$	+ 3.36			
			" 13	3	16 14	+ 2 55.58				
		" 14	4	16 39	+ 2 55.59	3 u. 7	+ 3.70	+ 3.70	± 0.01	0.0001
			5	17 8	+ 2 55.69	4 u. 8	+ 3.69			
			6	17 35	+ 2 55.72	$\frac{5+6}{2}$ u. 9	+ 3.70			
			7	16 52	+ 2 59.38					
			8	17 59	+ 2 59.48					
			9	18 27	+ 2 59.57					
2	Hohenkirchen .	" 20	1	16 27	- 0 35.27	1 u. 4	+ 2.34	+ 2.35	± 0.01	—
			2	16 52	- 0 35.30	2 u. 5	+ 2.35			
			3	17 23	- 0 35.20	3 u. 6	+ 2.37			
		" 22	4	17 8	- 0 30.52					
			5	17 44	- 0 30.52					
			6	18 3	- 0 30.40					
3	Wilhelmshaven (Beobachtungs- zeit in mittl. Zeit angege- ben.)	" 24	1	11.6	+ 0 2.13	1 u. 2	+ 3.95	+ 3.95	—	—
			2	8.1	+ 0 3.53	2 u. 3	+ 3.73	+ 3.73	—	—
		" 25	3	11.8	+ 0 5.97	3 u. 4	+ 3.44	+ 3.44	—	—
		" 26	4	11.4	+ 0 9.36					

Nr.	Station	1908	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektur	Uhrgang		Ange- wandte Mittel der täglichen Uhrgänge	Mittlere Fehler der täglichen Uhrgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel	
						abgeleitet aus Nummer	täglich				
4	Ovelgönne . . . .	Juli 29	1	17 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	+ 1 <sup>m</sup> 29.99	1 u. 4	+ 4.63	+ 4.71	± 0.04	0.0101	
			2	17 42	+ 1 30.14	2 u. 5	+ 4.72				
			3	18 1	+ 1 30.23	3 u. 6	+ 4.77				
		" 30	4	17 14	+ 1 34.60						
			5	17 42	+ 1 34.86						
			6	18 1	+ 1 35.00						
5	Worpswede . . . .	Aug. 2	1	17 31	+ 3 8.06	1 u. 4	+ 3.68	+ 3.66	± 0.01	—	
			2	17 48	+ 3 8.17	2 u. 5	+ 3.64				
			3	18 9	+ 3 8.19	3 u. 6	+ 3.67				
		" 4	4	17 31	+ 3 15.41						
			5	17 48	+ 3 15.45						
			6	18 9	+ 3 15.52						
6	Beverstedt . . . .	" 6	1	17 19	+ 3 54.81	$\frac{1+2}{2}$ u. 5	+ 3.50	+ 3.44	± 0.03	0.0049	
			2	17 40	+ 3 54.83	3 u. 7	+ 3.41				
			3	17 59	+ 3 54.85	4 u. 6	+ 3.42				
			4	18 17	+ 3 54.92						
		" 7	5	16 56	+ 3 58.25	5 u. 8	+ 3.10	+ 3.07	± 0.03		
			6	17 35	+ 3 58.24	$\frac{6+7}{2}$ u. 9	+ 3.05				
			7	17 59	+ 3 58.26						
		" 8	8	17 31	+ 4 1.43						
			9	18 18	+ 4 1.36						
7	Lehe . . . . .	" 12	1	18 29	+ 1 37.92	1 u. 3	+ 1.90	+ 1.93	± 0.03	0.0018	
			2	20 42	+ 1 37.95	2 u. 4	+ 1.96				
		" 13	3	18 39	+ 1 39.83						
			4	18 54	+ 1 39.76						
8	Otterndorf . . . .	" 16	1	22 12	+ 2 33.71	$\frac{1+4+5}{2}$	+ 0.80	+ 0.72	± 0.04	0.0098	
			2	22 31	+ 2 33.88	2 u. 6	+ 0.67				
			3	22 50	+ 2 33.79	3 u. 7	+ 0.75				
		" 17	4	19 46	+ 2 34.40						
			5	20 4	+ 2 34.45						
			6	20 26	+ 2 34.49	$\frac{4+5}{2}$ u. 8	+ 0.45	+ 0.45	± 0.01		
			7	20 40	+ 2 34.47	$\frac{6+7}{2}$ u. 9	+ 0.44				
		" 18	8	19 11	+ 2 34.87						
			9	19 41	+ 2 34.90						

Nr.	Station	1908	Nummer der Beobachtung	Beob- achtungs- zeit	Uhr- korrektur	Urgang		Angewandte Mittel der täglichen Urgänge	Mittlere Fehler der täglichen Urgänge	Summe der Quadrate der Abweichungen vom Mittel	
						abgeleitet aus Nummer	täglich				
9	Helgoland . . . . .	Aug. 21	1	18 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	— 0 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup> 04	$\frac{1+2}{2}$ u. 5	+ 1 <sup>s</sup> 90	+ 1 <sup>s</sup> 88	± 0 <sup>s</sup> 02	0.0014	
			2	19 3	— 0 59.11	3 u. 6	+ 1.85				
			3	19 33	— 0 58.97	4 u. 7	+ 1.89				
			4	19 51	— 0 58.91						
		"	22	5	18 48	— 0 57.19	5 u. 8	+ 1.72	+ 1.70	± 0.02	0.0017
				6	19 51	— 0 57.10	6 u. 9	+ 1.72			
				7	20 8	— 0 57.00	7 u. 10	+ 1.67			
		"	23	8	20 10	— 0 55.37					
				9	20 39	— 0 55.32					
				10	20 53	— 0 55.38					
10	Neuwerk . . . . .	"	27	1	19 34	+ 1 40.34	1 u. 4	+ 6.10	+ 6.07	± 0.02	—
				2	20 5	+ 1 40.58	2 u. 5	+ 6.03			
				3	20 30	+ 1 40.62	3 u. 6	+ 6.07			
		"	29	4	17 50	+ 1 52.09	4 u. 7	+ 6.04	+ 6.07	± 0.02	0.0026
				5	18 10	+ 1 52.16	5 u. 8	+ 6.06			
				6	18 35	+ 1 52.27	6 u. 9	+ 6.11			
		"	30	7	17 50	+ 1 58.13	7 u. 10	+ 5.79	+ 5.77	± 0.03	0.0065
				8	18 10	+ 1 58.22	8 u. 11	+ 5.71			
				9	18 35	+ 1 58.38	9 u. 12	+ 5.82			
		"	31	10	17 50	+ 2 3.92					
				11	18 10	+ 2 3.93					
				12	18 35	+ 2 4.20					

Zur Ableitung der Genauigkeit der täglichen Urgänge benutzen wir die Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte von ihrem Mittel. Die Werte, die aus zweitägigen Zwischenräumen der Zeitbestimmungen herkommen, sind dabei nicht berücksichtigt. Wir erhalten so aus 32 Einzelwerten in 12 Gruppen als mittleren Fehler eines aus nur einem Sternpaar abgeleiteten täglichen Ganges:

$$m_u = \pm \sqrt{\frac{0.0403}{20}} = \pm 0.045.$$

Da die benutzten täglichen Gänge der Beobachtungsuhr durchschnittlich aus drei Sternpaaren abgeleitet sind, so erhalten wir als mittleren durchschnittlichen Fehler eines täglichen Ganges auf einer *Feldstation*:

$$m_u' = \pm \frac{0.045}{\sqrt{3}} = \pm 0.026 \text{ oder } \pm 1.5 \times 10^{-7} \text{ in der Schwingungszeit.}$$

Für die Anschlußmessungen in *Potsdam* ist wieder wie in früheren Jahren als mittlerer Fehler der angewandten Uhrgänge  $\pm 1.2 \times 10^{-7}$  angenommen worden.

### § 5. Die Pendelbeobachtungen.

In der Einleitung ist schon erwähnt, daß die Beobachtungen auf den beiden Inselstationen *Wangeroog* und *Neuwerk* sehr unter der Ungunst des Wetters zu leiden hatten. In *Wangeroog* hatten die momentanen Windböen auf die gerade beobachteten Schwingungszeiten der Pendel eine derartige Wirkung, daß in den einzelnen Pendelreihen die Unterschiede der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel und der Einzelpendel unter einander bis zu ganz ungewöhnlichen Beträgen von den in *Potsdam* ermittelten Werten abwichen. Man konnte zunächst vermuten, daß die Pendel ihre Schwingungszeiten wirklich geändert hätten. Im Mittel der beiden Tagesreihen waren aber die Unterschiede genügend übereinstimmend. Die auf beide Reihen einwirkenden fälschenden Einflüsse des Windes mußten sich also aufgehoben haben. Die in *Wangeroog* von mir beobachteten zwei Tagesreihen mit drei Zeitbestimmungen stimmen gut.

In *Neuwerk* war die Wirkung des Windes noch merkbarer. Hier habe ich an vier aufeinanderfolgenden Tagen beobachtet und diese in vier Zeitbestimmungen einschließen können. Das Mittel der Beobachtungen wird wohl an Genauigkeit denen der anderen Stationen nicht nachstehen. Schwierigkeit bereitete die Bestimmung des Mitschwingens, doch konnte ich einige ruhige Stunden zur sicheren Ermittlung dieser Korrektur benutzen.

Die Beobachtungen auf den Binnenlandstationen waren weniger vom Winde beeinflusst. Freilich erforderte der moorige Untergrund der meisten Stationen die stärkste Aufmerksamkeit, da selbst kleinere Wagen schon in weiterer Entfernung Erschütterungen hervorriefen, die eine Bestimmung des Mitschwingens öfter unterbrachen, wenn auch nie ganz verhinderten. Immerhin gab es ruhige Zeiten, in denen das Mitschwingen einwandfrei bestimmt werden konnte.

Um die erwähnten Erschütterungen des Erdbodens bei der Bestimmung der Schwingungszeiten möglichst unschädlich zu machen, habe ich stets bei verhältnismäßig großen Amplituden beobachtet, die derartige Störungen leichter überwinden als die üblichen kleinen Amplituden.

Die Anordnung der Beobachtungen war die gleiche wie im Vorjahre. Hinzu kam noch die Beobachtung von vier Viertelsekundenpendeln, die in dem gleichen Raum wie die Halbsekundenpendel mit diesen nahezu gleichzeitig beobachtet wurden. Leider haben drei der Pendel ihre Länge von der vorletzten Station *Helgoland* bis *Potsdam* so stark geändert, daß sichere Ergebnisse aus ihnen nicht abzuleiten sind. Eine Diskussion der Werte, soweit das angeht, folgt am Schlusse dieser Arbeit.

Pendel Nr.	Gemittertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftfeuchtigkeit in Prozenten	Luftdruck 700mm +	Korrektion des Luftdrucks wegen der Feuchtigkeit	Relative Luftdichte	Schwingungszeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduzierte Schwingungszeit in Sternzeitsek.
			Anfang	Ende	Anfang	Ende						Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Ubergang	Miltschwingen	
<b>Potsdam, Mittelkeller.</b>																	
<i>Messingpendel, Juni 15 und 16.</i>																	
21	4.7	25.793	17.0	12.5	14.06	14.08	78	56.9	3.5	42	0.50 98841	6	686	607	21	67	0.50 97454
5	5.4	30.008	22.0	16.6	14.08	14.10	78	56.8	3.5	42	84723	10	638	607	21	48	83399
7	6.1	30.086	17.3	12.5	14.10	14.16	78	56.6	3.5	42	84500	6	694	607	21	48	83124 <b>87992</b>
21	6.3	25.795	20.0	15.9	14.16	14.16	79	54.2	3.6	39	98833	9	690	605	23	67	97439
5	6.7	30.009	22.3	16.8	14.16	14.18	78	54.1	3.5	39	84720	11	642	605	23	48	83391
7	7.6	30.086	18.0	14.1	14.18	14.16	78	54.1	3.5	39	84500	7	695	605	23	48	83122 <b>87984</b>
<b>Juni 17.</b>																	
21	6.1	25.792	20.5	16.5	14.12	14.18	80	49.5	3.6	33	0.50 98845	9	690	601	26	67	97452
5	6.7	30.013	21.5	16.2	14.18	14.21	80	49.4	3.6	33	84708	9	643	601	26	48	83381
7	7.4	30.088	18.5	13.5	14.21	14.22	80	49.3	3.6	33	84494	7	698	601	26	48	83114 <b>87982</b>
21	2.8	25.789	23.0	18.5	14.41	14.41	80	47.3	3.6	29	98857	12	702	598	29	67	97449
5	3.5	30.006	21.8	17.0	14.41	14.40	80	47.1	3.6	29	84729	10	653	598	29	48	83391
7	4.2	30.085	19.0	14.3	14.40	14.44	80	47.1	3.6	29	84502	8	707	598	29	48	83112 <b>87984</b>
<b>Juni 19 und 20.</b>																	
21	2.7	25.788	20.5	16.5	14.46	14.46	80	48.4	3.6	31	0.50 98861	10	705	600	37	67	97442
5	3.3	30.002	17.4	13.0	14.46	14.50	80	48.2	3.6	30	84740	6	656	599	37	48	83394
7	4.0	30.080	17.8	13.5	14.50	14.54	80	48.0	3.7	30	84517	7	712	599	37	48	83114 <b>87983</b>
21	6.3	25.786	17.8	14.4	14.58	14.58	80	45.7	3.7	27	98869	7	711	597	32	67	97455
5	6.9	30.002	17.9	13.5	14.58	14.60	80	45.9	3.7	27	84740	7	661	597	32	48	83395
7	7.6	30.075	16.3	12.5	14.60	14.60	80	46.0	3.7	27	84531	5	716	597	32	48	83133 <b>87994</b>
<b>Juni 24.</b>																	
21	7.0	25.786	19.5	15.1	14.82	14.82	78	57.8	3.6	41	0.50 98869	8	722	606	19	67	97447
5	7.7	29.999	18.0	13.0	14.82	14.84	78	57.9	3.6	41	84743	7	672	606	19	48	83391
7	8.5	30.077	18.5	14.0	14.84	14.88	78	57.9	3.6	41	84525	7	729	606	19	48	83116 <b>87985</b>
21	3.9	25.782	19.3	15.0	15.08	15.08	78	57.0	3.8	39	98884	8	735	605	19	67	97450
5	4.6	29.997	17.5	12.8	15.08	15.08	78	57.0	3.8	39	84754	6	683	605	19	48	83393
7	5.3	30.072	18.0	13.8	15.08	15.10	78	56.9	3.8	39	84539	7	740	605	19	48	83120 <b>87988</b>









Pendel Nr.	Gemitteltes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Aus Schlag in Bogenminuten an		Pendeltemperatur an		Luftfeuchtigkeit in Prozenten	Luftdruck 700 mm +	Korrektion des Luftdrucks wegen der Feuchtigkeit	Relative Luftdichte	Schwingungszeit in Uhrzeitsekunden	Korrek tionen wegen					Reduzierte Schwingungszeit in Sternzeitsek.
			Anfang	Ende	Anfang	Ende						Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhr gang	Mit schwingen	
Juni 27.																	
					+	+				0.9	0 <sup>s</sup> 25					0 <sup>s</sup> 25	
1	6.4	68 <sup>s</sup> .993	44.1	28.5	14.93	14.95	80	58.4	3.8	41	09092	17	364	294	10	15	08392
2	7.1	61.424	36.6	23.7	14.95	15.03	80	58.6	3.8	41	10217	12	368	294	10	15	09518
3	7.8	60.459	40.5	23.4	15.03	15.11	80	58.9	3.8	41	10380	14	355	294	10	15	09692
4	8.5	59.289	39.6	23.4	15.11	15.15	80	59.1	3.8	41	10586	13	369	294	10	15	09885
																	<b>09372</b>
1	4 <sup>p</sup> 2	68.940	43.5	26.9	15.17	15.19	80	58.1	3.8	39	09099	16	369	293	11	15	08395
2	4.9	61.444	36.0	21.2	15.19	15.25	80	57.8	3.8	39	10214	10	373	293	11	15	09512
3	5.6	60.406	38.7	24.6	15.25	15.33	80	57.6	3.8	39	10390	13	360	293	11	15	09698
4	6.2	59.288	39.4	23.9	15.33	15.39	80	57.6	3.8	39	10586	13	375	293	11	15	09879
																	<b>09371</b>

**Wangeroog.**

*Messingpendel, Juli 12 und 13.*

					+	+				0.9	0 <sup>s</sup> 50						0 <sup>s</sup> 50
21	11.5	25 <sup>s</sup> .837	22.0	17.5	21.80	21.52	67	51.8	4.6	11	98670	11	1056	587	197	87	97126
5	12.1	30.082	18.8	15.0	21.52	21.32	68	51.9	4.5	12	84511	8	970	587	197	71	83072
7	12.8	30.153	21.8	15.8	21.32	21.14	70	51.7	4.5	12	84309	10	1042	587	197	71	82796
																	<b>87665</b>
21	9.3	25.853	20.0	15.0	19.30	19.36	78	51.5	4.9	17	98607	9	942	591	197	87	97175
5	9.9	30.130	17.5	14.8	19.36	19.40	78	51.6	4.9	17	84374	7	878	591	197	71	83024 <sup>*)</sup>
7	10.5	30.184	18.0	12.8	19.40	19.48	77	51.7	4.9	17	84221	6	954	591	197	71	82796
5	11.1	30.124	18.3	12.8	19.48	19.54	77	51.8	4.9	17	84391	6	884	591	197	71	83036 <sup>*)</sup>
																	<b>87667</b>

\*) Die beiden Beobachtungen des Pendels Nr. 5 sind gemittelt.

Juli 13 und 14.

					+	+				0.9	0 <sup>s</sup> 50							0 <sup>s</sup> 50
21	10.7	25 <sup>s</sup> .866	18.3	15.8	20.32	19.92	67	53.9	4.4	18	98557	8	981	591	218	87	97108	
5	11.3	30.104	20.0	14.3	19.92	19.56	67	54.1	4.3	20	84448	8	894	593	218	71	83100	
7	12.9	30.197	15.8	12.5	19.56	19.16	67	54.3	4.2	22	84183	5	950	594	218	71	82781	
																	<b>87663</b>	
21	10.1	25.915	19.3	16.3	15.44	15.96	67	55.4	3.3	36	98367	9	765	603	218	87	97121	
5	10.7	30.169	18.3	12.5	15.96	16.14	67	55.4	3.4	34	84263	6	727	602	218	71	83075	
7	11.3	30.242	18.3	14.1	16.14	16.34	67	55.6	3.5	34	84056	7	797	602	218	71	82797	
																	<b>87664</b>	

*Nickelstahlpendel, Juli 12 und 13.*

					+	+				0.9	0 <sup>s</sup> 50							0 <sup>s</sup> 50
79	1.7	33 <sup>s</sup> .083	16.6	10.5	21.00	20.72	71	51.2	5.0	12	76727	5	67	632	197	87	76133	
76	2.4	32.891	17.5	12.0	20.72	20.64	72	51.0	5.0	12	77182	6	58	628	197	71	76616	
77	3.2	32.864	22.0	16.5	20.64	20.52	73	51.0	5.0	12	77246	10	68	623	197	71	76671	
																	<b>76473</b>	
79	12.0	33.091	15.3	10.1	19.64	19.76	76	52.4	4.9	17	76709	4	62	635	197	87	76118	
76	12.7	32.881	19.1	14.3	19.76	19.92	75	52.5	4.9	17	77206	8	55	632	197	71	76637	
77	1.4	32.862	17.5	12.3	19.92	20.20	74	52.4	4.9	16	77251	6	66	626	197	71	76679	
																	<b>76478</b>	



















Pendel Nr.	Genähertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzen-intervall	Ausschlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftfeuchtigkeit in Prozenten	Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Korrektion des Luftdrucks wegen der Feuchtigkeit	Relative Luftdichte	Schwingungszeit in Uhrzeitsekunden	Korrekturen wegen					Reduzierte Schwingungszeit in Sternzeitsek.
			Anfang	Ende	Anfang	Ende						Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhrgang	Mi-schwingen	
<b>Otterndorf.</b>																	
<i>Messingpendel. August 17.</i>																	
21	2.4	25.880	19.8	15.0	15.14	15.16	82	61.3	3.7	45	0.850	8	738	609	42	72	0.50 97118
5	3.0	30.129	20.0	15.4	15.16	15.12	82	61.2	3.8	44	84377	9	686	608	42	57	83059
7	3.7	30.203	20.0	14.9	15.12	15.20	83	62.1	3.8	44	84167	8	744	608	42	57	82792 <b>87656</b>
21	1.6	25.878	19.8	15.5	15.30	15.30	85	61.7	3.9	44	98511	8	746	608	42	72	97119
5	2.2	30.126	18.2	13.3	15.30	15.32	85	61.8	3.9	44	84385	7	694	608	42	57	83061
7	2.9	30.201	18.3	13.6	15.32	15.38	85	62.0	3.9	44	84172	7	753	608	42	57	82789 <b>87656</b>
<i>August 17 und 18.</i>																	
21	8.9	25.872	18.8	15.0	15.52	15.48	85	62.6	3.9	45	0.850	7	755	609	26	72	0.50 97117
5	10.0	30.118	21.0	9.8	15.48	15.46	85	62.8	3.9	45	84408	6	701	609	26	57	83061
7	12.0	30.194	18.4	12.5	15.46	15.48	85	63.2	3.9	45	84192	6	759	609	26	57	82787 <b>87655</b>
21	9.1	25.870	18.0	14.8	15.40	15.40	85	64.7	3.9	47	98542	7	751	610	26	72	97128
5	9.7	30.115	19.8	15.0	15.40	15.40	85	65.0	3.9	47	84416	8	698	610	26	57	83069
7	10.4	30.191	17.4	12.8	15.40	15.48	85	65.0	3.9	47	84200	6	758	610	26	57	82795 <b>87664</b>
<i>Nickelstahlpendel. August 17.</i>																	
79	4.6	33.032	17.6	12.5	15.18	15.24	84	61.1	3.8	44	0.850	6	48	654	42	72	0.50 76109
76	5.3	32.830	20.0	14.1	15.24	15.32	84	61.1	3.8	44	77328	8	43	651	42	57	76611
77	6.0	32.801	18.0	12.8	15.32	15.34	84	61.1	3.8	44	77397	6	51	645	42	57	76680 <b>76467</b>
79	3.8	33.026	18.5	13.0	15.44	15.52	85	61.8	3.9	44	76862	6	49	654	42	72	76123
76	4.5	32.822	22.0	16.0	15.52	15.60	85	61.6	3.9	43	77345	10	44	650	42	57	76626
77	5.2	32.800	16.5	12.3	15.60	15.62	85	61.6	3.8	43	77399	6	52	644	42	57	76682 <b>76477</b>
<i>August 17 und 18.</i>																	
79	12.8	33.023	16.4	11.8	15.52	15.56	85	63.1	3.9	45	0.850	5	49	655	26	72	0.50 76114
76	1.5	32.821	20.0	14.4	15.56	15.54	85	63.1	3.9	45	77349	8	44	651	26	57	76615
77	2.2	32.794	15.5	11.5	15.54	15.60	85	63.2	3.9	45	77413	5	51	645	26	57	76681 <b>76470</b>
79	11.2	33.018	15.0	10.4	15.60	15.66	85	65.1	3.9	47	76881	4	50	656	26	72	76125
76	11.9	32.821	19.3	12.8	15.66	15.76	85	65.1	3.9	47	77349	7	44	652	26	57	76615
77	12.6	32.792	21.4	15.0	15.76	15.72	85	65.1	3.9	47	77418	9	52	647	26	57	76679 <b>76473</b>



Pendel Nr.	Gemittertes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Aus Schlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftfeuchtigkeit in Prozenten	Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Korrektion des Luftdrucks wegen der Feuchtigkeit	Relative Luftdichte	Schwingungszeit in Uhrzeitsekunden	Korrek tionen wegen					Reduzierte Schwingungszeit in Sternzeitsek.	
			Anfang	Ende	Anfang	Ende						Ausschlag	Temperatur	Luftdichte	Ubergang	Mit-schwingen		
<i>Nickelstahlpendel. August 22.</i>																		
79	10.6	33.067	19.3	12.5	18.18	18.24	70	53.8	4.4	0.9	0.50	—	—	—	+	—	0.50	
76	11.3	32.870	19.1	13.4	18.24	18.36	70	53.8	4.4	25	76764	7	58	641	111	60	76109	
77	12.1	32.841	20.5	15.0	18.36	18.46	70	53.7	4.4	24	77302	9	61	631	111	48	76600	
																		<b>76458</b>
79	5.2	33.072	18.5	14.0	20.04	20.14	67	52.8	4.4	17	76753	8	64	635	111	60	76097	
76	6.0	32.870	20.8	15.0	20.14	20.21	67	53.3	4.4	18	77232	9	57	632	111	48	76597	
77	6.7	32.839	19.5	12.5	20.21	20.32	67	53.0	4.4	18	77306	7	67	627	111	48	76668	
																		<b>76454</b>
<i>August 22 und 23.</i>																		
79	1.3	33.062	18.1	12.6	20.00	19.98	67	50.7	4.4	0.9	0.50	—	—	—	+	—	0.50	
76	2.0	32.869	18.0	12.6	19.98	19.88	67	50.3	4.4	15	76776	6	63	633	100	60	76114	
77	2.7	32.833	19.3	13.3	19.88	19.81	67	50.1	4.4	14	77234	6	57	630	100	48	76593	
																		76675
																		<b>76461</b>
79	11.6	33.063	20.8	14.8	18.72	18.71	67	50.7	4.0	19	76774	9	59	636	100	60	76110	
76	12.3	32.865	21.5	15.0	18.71	18.70	67	50.8	4.0	19	77244	9	51	632	100	48	76604	
77	1.0	32.832	20.0	14.5	18.70	18.68	67	50.7	4.0	19	77323	8	62	627	100	48	76678	
																		<b>76464</b>
<i>Viertelsekundenpendel. August 22.</i>																		
1	8.6	70.624	45.6	26.1	18.00	18.20	70	53.8	4.1	0.9	0.25	—	—	—	+	—	0.25	
2	9.2	62.570	36.0	21.2	18.20	18.39	70	53.8	4.1	25	08881	16	441	289	56	26	08165	
3	9.8	61.717	34.8	18.6	18.39	18.79	70	53.9	4.2	24	10029	11	449	288	56	26	09311	
4	10.7	63.547	32.4	10.2	18.79	19.15	70	53.8	4.2	24	10169	9	438	288	56	26	09464	
																		09147
																		<b>09022</b>
1	3.2	70.155	42.0	21.6	21.09	21.25	68	53.2	4.7	14	08941	14	515	285	56	26	08157	
2	3.8	62.134	37.2	19.5	21.25	21.35	67	53.0	4.7	13	10100	10	522	285	56	26	09313	
3	4.4	61.209	37.8	22.8	21.35	21.35	67	52.8	4.7	13	10253	12	503	285	56	26	09483	
4	5.3	62.602	47.7	23.4	21.35	21.35	67	52.8	4.7	13	10024	16	520	285	56	26	09233	
																		<b>09047</b>
<i>August 22 und 23.</i>																		
1	11.3	70.175	43.5	25.0	20.35	20.19	67	51.6	4.4	0.9	0.25	—	—	—	+	—	0.25	
2	11.9	62.204	36.0	21.0	20.19	20.13	67	51.5	4.4	15	08938	15	493	285	50	26	08169	
3	12.5	61.333	36.0	19.8	20.13	20.00	67	51.0	4.4	15	10088	12	493	285	50	26	09322	
4	1.4	62.835	46.2	22.8	20.00	19.91	67	50.7	4.4	15	10232	10	473	285	50	26	09488	
																		09224
																		<b>09051</b>
1	9.7	70.464	44.1	25.2	18.75	18.75	67	50.3	4.0	21	08901	16	456	287	50	26	08166	
2	10.3	62.432	35.7	19.8	18.75	18.79	67	50.5	4.0	21	10051	10	460	287	50	26	09318	
3	10.9	61.558	36.3	20.8	18.79	18.85	67	50.7	4.0	21	10195	10	444	287	50	26	09478	
4	11.7	63.074	46.2	22.8	18.85	18.93	67	50.7	4.0	21	09948	15	461	287	50	26	09209	
																		<b>09043</b>

Pendel Nr.	Genäheretes Mittel der beobachteten mittleren Zeit	Koinzidenzenintervall	Aus Schlag in Bogenminuten am		Pendeltemperatur am		Luftfeuchtigkeit in Prozenten	Luftdruck 700 <sup>mm</sup> +	Korrektion des Luftdrucks wegen der Feuchtigkeit	Relative Luftdichte	Schwingszeit in Uhrzeitsekunden	Korrek tionen wegen					Reduzierte Schwingszeit in Sternzeitsek.
			Anfang	Ende	Anfang	Ende						Anschlag	Temperatur	Luftdichte	Uhr gang	Mit schwingen	
<b>Neuwerk.</b>																	
<i>Messingpendel. August 27 und 28.</i>																	
21	11 <sup>h</sup> 16	25 <sup>s</sup> 953	24.3	18.8	16.41	16.28	75	53.9	3.9	32	0 <sup>s</sup> 50 98220	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50 97080
5	12.2	30.222	15.0	10.0	16.28	16.14	75	53.6	3.9	31	84112	5	734	600	357	63	83067
7	12.8	30.313	17.5	12.8	16.14	16.10	75	53.5	3.8	31	83856	6	791	600	357	63	82753 <b>87633</b>
21	9.6	25.971	21.0	16.9	15.10	15.08	78	52.3	3.7	34	98151	10	736	602	357	87	97073
5	10.2	30.236	18.0	13.0	15.08	15.10	78	52.1	3.8	33	84073	7	684	601	357	63	83075
7	10.8	30.325	17.5	11.8	15.10	15.10	78	51.8	3.8	32	83822	6	741	600	357	63	82769 <b>87639</b>
<b>August 28 und 29.</b>																	
21	8 <sup>h</sup> 2	25 <sup>s</sup> 947	20.8	17.0	16.80	16.80	74	48.7	3.9	23	0 <sup>s</sup> 50 98243	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50 97090
5	8.8	30.232	20.5	16.5	16.80	16.58	74	48.7	3.9	23	84085	10	756	594	357	63	83019
7	9.4	30.302	19.5	14.5	16.58	16.56	74	48.5	3.9	23	83887	8	813	594	357	63	82766 <b>87625</b>
21	7 <sup>h</sup> 4	25.973	22.0	16.1	14.80	14.68	78	50.6	3.6	32	98143	10	718	600	357	87	97085
5	8.0	30.240	18.8	15.0	14.68	14.76	77	50.8	3.6	33	84062	8	667	601	357	63	83080
7	8.6	30.316	17.5	12.5	14.76	14.82	76	50.9	3.6	33	83847	6	726	601	357	63	82808 <b>87658</b>
<b>August 29 und 30.</b>																	
21	9 <sup>h</sup> 5	25 <sup>s</sup> 936	20.5	15.0	17.80	17.62	71	48.7	3.9	26	0 <sup>s</sup> 50 98286	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50 97088
5	10.1	30.217	16.6	12.3	17.62	17.48	71	48.7	3.9	26	84127	6	795	596	357	63	83024
7	10.7	30.276	17.5	14.0	17.48	17.30	72	48.5	3.9	27	83960	7	853	597	357	63	82797 <b>87636</b>
21	7 <sup>h</sup> 8	25.954	22.5	19.4	15.20	15.20	80	50.6	3.8	38	98216	12	741	604	357	87	97129
5	8.4	30.225	18.5	14.5	15.20	15.21	80	50.8	3.8	38	84104	8	689	604	357	63	83097
7	9.0	30.310	19.0	13.8	15.21	15.20	80	50.9	3.8	38	83864	7	746	604	357	63	82801 <b>87676</b>
<b>August 30 und 31.</b>																	
21	9 <sup>h</sup> 3	25 <sup>s</sup> 929	25.8	20.6	17.86	17.56	80	58.7	4.5	32	0 <sup>s</sup> 50 98313	—	—	—	+	—	0 <sup>s</sup> 50 97088
5	9.9	30.205	21.5	15.3	17.56	17.46	80	58.7	4.5	32	84161	9	793	600	339	63	83035
7	10.6	30.268	22.4	16.1	17.46	17.21	80	58.6	4.5	32	83983	10	851	600	339	63	82798 <b>87640</b>
21	8 <sup>h</sup> 4	25.957	22.5	17.5	14.80	14.80	77	58.4	3.8	42	98205	11	721	607	339	87	97118
5	9.0	30.245	20.8	17.2	14.80	14.80	77	58.4	3.8	42	84048	10	670	607	339	63	83037
7	9.7	30.323	20.0	14.3	14.80	14.71	77	58.4	3.8	42	83828	8	724	607	339	63	82765 <b>87640</b>











Tabelle I.

*Zusammenstellung der Messingpendelbeobachtungen.*

(Die Schwingungszeiten der Pendel in Potsdam sind durch Addition von  $+3^s \times 10^{-7}$  auf den Pfeiler Nr. 31 des Pendelsaales bezogen.)

Nr.	Station	Pendel Nr. 21		Pendel Nr. 5		Pendel Nr. 7		Mittl. Pendel		Anzahl der Beobachtung.	
		Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]		
1	Potsdam . . . . .	1	0. <sup>s</sup> 5097450	113	0. <sup>s</sup> 5083398	32	0. <sup>s</sup> 5083126	2	0. <sup>s</sup> 5087991	32	2
		2	0.5097454	5	0.5083389	50	0.5083116	2	0.5087986	2	2
		3	0.5097452	85	0.5083398	1	0.5083127	181	0.5087992	61	2
		4	0.5097452	5	0.5083395	2	0.5083121	8	0.5087989	5	2
		5	0.5097452	98	0.5083397	13	0.5083117	50	0.5087989	25	2
		6	0.5097451	32	0.5083402	41	0.5083119	0	0.5087991	13	2
			0.5097452		0.5083397		0.5083121		0.5087990		
1	Wangeroo . . . . .	1	0.5097151	1201	0.5083051	882	0.5082796	0	0.5087666	2	2
		2	0.5097115	85	0.5083088	313	0.5082789	128	0.5087664	1	2
			0.5097133		0.5083070		0.5082793		0.5087665		
2	Hohenkirchen . . . . .	1	0.5097156	162	0.5083072	50	0.5082786	18	0.5087671	61	2
		2	0.5097174	13	0.5083082	41	0.5082822	200	0.5087693	61	2
			0.5097165		0.5083077		0.5082804		0.5087682		
3	Wilhelmshaven . . . . .	1	0.5097184	32	0.5083109	242	0.5082824	288	0.5087706	85	2
		2	0.5097180	8	0.5083111	113	0.5082828	50	0.5087706	5	2
		3	0.5097181	—	0.5083122	—	0.5082855	—	0.5087719	—	1
			0.5097182		0.5083112		0.5082832		0.5087709		
4	Ovelgönne . . . . .		0.5097238	338	0.5083176	450	0.5082889	181	0.5087768	313	2
5	Worpswede . . . . .	1	0.5097246	338	0.5083198	145	0.5082922	25	0.5087789	145	2
		2	0.5097270	41	0.5083214	145	0.5082939	0	0.5087808	41	2
			0.5097258		0.5083206		0.5082931		0.5087798		
6	Beverstedt . . . . .	1	0.5097228	85	0.5083176	13	0.5082895	41	0.5087766	41	2
		2	0.5097224	5	0.5083163	32	0.5082888	41	0.5087758	18	2
			0.5097226		0.5083170		0.5082891		0.5087762		
7	Lehe . . . . .		0.5097165	85	0.5083134	221	0.5082865	13	0.5087721	50	2
8	Otterndorf . . . . .	1	0.5097119	1	0.5083060	2	0.5082790	5	0.5087656	0	2
		2	0.5097123	61	0.5083065	32	0.5082791	32	0.5087660	41	2
			0.5097121		0.5083063		0.5082791		0.5087658		
9	Helgoland . . . . .	1	0.5097099	145	0.5083026	8	0.5082747	2	0.5087624	18	2
		2	0.5097101	1	0.5083049	41	0.5082780	545	0.5087643	98	2
			0.5097100		0.5083038		0.5082764		0.5087634		
10	Neuwerk . . . . .	1	0.5097077	25	0.5083071	32	0.5082761	128	0.5087636	18	2
		2	0.5097088	13	0.5083050	1861	0.5082787	882	0.5087642	545	2
		3	0.5097109	841	0.5083061	2665	0.5082799	8	0.5087656	800	2
		4	0.5097103	450	0.5083036	2	0.5082782	545	0.5087640	0	2
			0.5097094		0.5083055		0.5082782		0.5087644		
11	Potsdam . . . . .	1	0.5097450	—	0.5083397	—	0.5083112	—	0.5087986	—	1
		2	0.5097459	5	0.5083391	61	0.5083124	32	0.5087991	32	2
		3	0.5097466	13	0.5083391	2	0.5083122	145	0.5087993	32	2
		4	0.5097473	25	0.5083394	8	0.5083117	18	0.5087995	1	2
		5	0.5097460	98	0.5083391	18	0.5083118	5	0.5087990	5	2
			0.5097463		0.5083392		0.5083119		0.5087991		
Summe der Fehlerquadrate*):		1794		1763		1884		1185			
" " " **):		4409		7518		3575		2551			

\*) Bei der Summierung sind die als systematisch gefälscht erkannten Stationen Wangeroo und Neuwerk ausgeschlossen. \*\*) Mit den Stationen Wangeroo und Neuwerk.

Tabelle II.

*Zusammenstellung der Nickelstahlpendelbeobachtungen.*

(Die Schwingungszeiten der Pendel in Potsdam sind durch Addition von  $+3^s \times 10^{-7}$  auf den Pfeiler Nr. 31 des Pendelsaales bezogen.)

Nr.	Station	Pendel Nr. 79		Pendel Nr. 76		Pendel Nr. 77		Mittl. Pendel		Anzahl der Beobachtung.	
		Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]	Schwingungszeit	[ <i>v v</i> ]		
	Potsdam . . . . .	1	0 <sup>s</sup> .5076447	2	0 <sup>s</sup> .5076952	18	0 <sup>s</sup> .5077022	41	0 <sup>s</sup> .5076807	0	2
		2	0.5076461	1	0.5076938	2	0.5077014	181	0.5076804	32	2
		3	0.5076461	25	0.5076941	50	0.5077015	145	0.5076806	61	2
		4	0.5076458	50	0.5076940	61	0.5077017	128	0.5076805	72	2
		5	0.5076461	61	0.5076943	85	0.5077023	8	0.5076809	41	2
		6	0.5076462	18	0.5076938	162	0.5077018	50	0.5076806	32	2
			0.5076458		0.5076942		0.5077018		0.5076806		
1	Wangeroo . . .	1	0.5076126	113	0.5076627	221	0.5076675	32	0.5076476	13	2
		2	0.5076120	4050	0.5076599	1682	0.5076664	2048	0.5076461	2450	2
			0.5076123		0.5076613		0.5076670		0.5076469		
2	Hohenkirchen .	1	0.5076171	113	0.5076639	200	0.5076704	512	0.5076505	265	2
		2	0.5076171	25	0.5076638	242	0.5076725	313	0.5076511	162	2
			0.5076171		0.5076639		0.5076715		0.5076508		
3	Wilhelmshaven	1	0.5076181	1	0.5076670	13	0.5076746	200	0.5076532	32	2
		2	0.5076176	18	0.5076679	41	0.5076740	162	0.5076532	61	2
			0.5076179		0.5076675		0.5076743		0.5076532		
4	Ovelgönne . . . . .		0.5076236	41	0.5076739	1	0.5076794	61	0.5076590	25	2
5	Worpswede . . .	1	0.5076250	13	0.5076745	2	0.5076809	2	0.5076601	2	2
		2	0.5076259	0	0.5076763	25	0.5076832	85	0.5076618	18	2
			0.5076255		0.5076754		0.5076821		0.5076610		
6	Beverstedt . . .	1	0.5076229	41	0.5076722	5	0.5076780	8	0.5076577	1	2
		2	0.5076217	1	0.5076712	85	0.5076781	41	0.5076570	25	2
			0.5076223		0.5076717		0.5076781		0.5076574		
7	Lehe . . . . .		0.5076172	5	0.5076662	685	0.5076740	2	0.5076525	61	2
8	Otterndorf . . .	1	0.5076116	98	0.5076619	113	0.5076681	2	0.5076472	50	2
		2	0.5076120	61	0.5076615	0	0.5076680	2	0.5076472	5	2
			0.5076118		0.5076617		0.5076681		0.5076472		
9	Helgoland . . .	1	0.5076103	72	0.5076599	5	0.5076666	8	0.5076456	8	2
		2	0.5076112	8	0.5076599	61	0.5076677	5	0.5076463	5	2
			0.5076108		0.5076599		0.5076672		0.5076460		
10	Neuwerk . . . . .	1	0.5076099	113	0.5076578	313	0.5076646	925	0.5076441	1	2
		2	0.5076097	72	0.5076588	4608	0.5076672	145	0.5076452	882	2
		3	0.5076120	3613	0.5076600	1	0.5076691	545	0.5076470	162	2
		4	0.5076074	450	0.5076590	1	0.5076653	13	0.5076439	61	2
			0.5076098		0.5076589		0.5076666		0.5076451		
	Potsdam . . . . .	1	0.5076450	—	0.5076945	—	0.5077017	—	0.5076804	—	1
		2	0.5076447	2	0.5076937	8	0.5077026	5	0.5076803	0	2
		3	0.5076453	1	0.5076945	113	0.5077018	13	0.5076805	8	2
		4	0.5076456	61	0.5076939	2	0.5077020	2	0.5076805	13	2
		5	0.5076442	—	0.5076944	—	0.5077020	—	0.5076802	—	1
			0.5076451		0.5076941		0.5077021		0.5076804		
Summe der Fehlerquadrate*):			718		1979		1976		979		
" " " **):			9129		8805		5684		4548		

\*) Bei der Summierung sind die als systematisch gefälscht erkannten Stationen Wangeroo und Neuwerk ausgeschlossen. \*\*) Mit den Stationen Wangeroo und Neuwerk.

Aus der guten Übereinstimmung der unabhängigen Tageswerte in Wangeroo und Neuwerk sieht man, daß auch bei diesen Stationen trotz der großen Unterschiede der einzelnen Pendel an einem Tage die systematisch wirkenden Fehler des Uhranges gut eliminiert sind. Sie verdienen dasselbe Vertrauen, wie die anderen Stationen. Aus den Fehlerquadraten der übrigen Stationen berechnen wir:

1. die mittleren Fehler aus der inneren Übereinstimmung.

a. *Messingpendel.*

Aus Tabelle I folgt aus 48 Einzelwerten in 24 Gruppenmitteln:

$$m_{21} = \pm 8.6 \times 10^{-7}; \quad m_5 = \pm 8.6 \times 10^{-7}; \quad m_7 = \pm 8.9 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler eines aus drei Pendeln bestehenden mittleren Pendels ist:

$$m'_1 = \pm 7.0 \times 10^{-7}$$

und der mittlere Fehler eines aus zwei Reihen zu drei Pendeln bestehenden Stationsmittels:

$$m_I = \pm 4.9 \times 10^{-7}.$$

b. *Nickelstahlpendel.*

Aus Tabelle II folgt aus 46 Einzelwerten in 23 Gruppenmitteln:

$$m_{79} = \pm 5.6 \times 10^{-7}; \quad m_{76} = \pm 9.3 \times 10^{-7}; \quad m_{77} = \pm 9.3 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler eines mittleren Pendels ist:

$$m'_I = \pm 6.5 \times 10^{-7};$$

der mittlere Fehler eines Stationsmittels aus zwei Reihen zu drei Pendeln:

$$m_I = \pm 4.6 \times 10^{-7}.$$

Eine *Trennung der zufälligen von den systematischen Fehlern* gibt für die *Messingpendel*, in derselben Weise abgeleitet wie auf S. 65:

$$\mu_m = \pm 6.4 \times 10^{-7}; \quad \kappa_m = \pm 5.9 \times 10^{-7};$$

für die *Nickelstahlpendel*:

$$\mu_n = \pm 6.1 \times 10^{-7}; \quad \kappa_n = \pm 5.5 \times 10^{-7}.$$

Für beide Pendelarten sind die zufälligen Fehler sowohl als auch die systematischen nahezu gleich. Auf den zur Berechnung herangezogenen 8 Stationen haben die Schwankungen des Uhranges, hervorgerufen durch den wenig günstigen Untergrund, bei beiden Pendelarten gleichmäßig fälschend eingewirkt, während die anderen Fehlerquellen bei beiden in gleichem Maße eliminiert sind.

2. Bei der nun folgenden Fehlerberechnung aus den Unterschieden der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel nehmen wir alle auf den Stationen beobachteten vollen Tageswerte mit, schließen jetzt also die beiden Stationen Wangeroog und Neuwerk nicht mehr aus.

Tabelle III.

Übersicht der Unterschiede der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel.

Nr.	Station	Messingpendel						
		Unterschiede mittleres Pendel weniger			Abweichungen der Einzel- unterschiede vom Reihenmittel			
		Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	
	Potsdam .....	1	— 6459	+ 4593	+ 4865	— 5	+ 1	+ 5
		2	— 6468	+ 4597	+ 4870	+ 4	— 3	0
		3	— 6460	+ 4594	+ 4865	— 4	0	+ 5
		4	— 6463	+ 4594	+ 4868	— 1	0	+ 2
		5	— 6463	+ 4592	+ 4872	— 1	+ 2	— 2
		6	— 6460	+ 4589	+ 4872	— 4	+ 5	— 2
1	Wangeroog .....	1	— 6485	+ 4615	+ 4870	+ 21	— 21	0
		2	— 6451	+ 4576	+ 4875	— 13	+ 18	— 5
2	Hohenkirchen .....	1	— 6485	+ 4599	+ 4885	+ 21	— 5	— 15
		2	— 6481	+ 4611	+ 4871	+ 17	— 17	— 1
3	Wilhelmshaven .....	1	— 6478	+ 4597	+ 4882	+ 14	— 3	— 12
		2	— 6474	+ 4595	+ 4878	+ 10	— 1	— 8
4	Ovelgönne .....		— 6470	+ 4592	+ 4879	+ 6	+ 2	— 9
5	Worpswede .....	1	— 6457	+ 4591	+ 4867	— 7	+ 3	+ 3
		2	— 6462	+ 4594	+ 4869	— 2	0	+ 1
6	Beverstedt .....	1	— 6462	+ 4590	+ 4871	— 2	+ 4	— 1
		2	— 6466	+ 4595	+ 4870	+ 2	— 1	0
7	Lehe .....		— 6444	+ 4587	+ 4856	— 20	+ 7	+ 14
8	Otterndorf .....	1	— 6463	+ 4596	+ 4866	— 1	— 2	+ 4
		2	— 6463	+ 4595	+ 4869	— 1	— 1	+ 1
9	Helgoland .....	1	— 6475	+ 4596	+ 4877	+ 11	— 4	— 7
		2	— 6458	+ 4594	+ 4863	— 6	0	+ 7
10	Neuwerk .....	1	— 6441	+ 4565	+ 4875	— 23	+ 29	— 5
		2	— 6446	+ 4592	+ 4855	— 18	+ 2	+ 15
		3	— 6453	+ 4595	+ 4857	— 11	— 1	+ 13
		4	— 6463	+ 4604	+ 4858	— 1	— 10	+ 12
	Potsdam .....	1	— 6468	+ 6400	+ 4867	+ 4	— 6	+ 3
		2	— 6473	+ 4602	+ 4871	+ 9	— 8	— 1
		3	— 6478	+ 4601	+ 4878	+ 14	— 7	— 8
		4	— 6470	+ 4598	+ 4872	+ 6	— 4	— 2
	Mittelwerte:		— 6464	+ 4594	+ 4870			
	Summe der Fehlerquadrate:					3671	2339	1565



Nr.	Station	Nickelstahlpendel						
		Unterschiede			Abweichungen der Einzel-			
		mittleres Nr. 79	Pendel Nr. 76	weniger Nr. 77	unterschiede vom Reihenmittel Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	
	Potsdam .....	1	+ 360	- 145	- 215	- 10	+ 6	+ 4
		2	+ 343	- 134	- 210	+ 7	- 5	- 1
		3	+ 345	- 135	- 209	+ 5	- 4	- 2
		4	+ 347	- 135	- 212	+ 3	- 4	+ 1
		5	+ 348	- 134	- 214	+ 2	- 5	+ 3
		6	+ 344	- 132	- 212	+ 6	- 7	+ 1
1	Wangeroog .....	1	+ 350	- 151	- 199	0	+ 12	- 12
		2	+ 341	- 138	- 203	+ 9	- 1	- 8
2	Hohenkirchen .....	1	+ 334	- 134	- 199	+ 16	- 5	- 12
		2	+ 340	- 127	- 214	+ 10	- 12	+ 3
3	Wilhelmshaven .....	1	+ 351	- 138	- 214	- 1	- 1	+ 3
		2	+ 356	- 147	- 208	- 6	+ 8	- 3
4	Ovelgönne .....		+ 354	- 149	- 204	- 4	+ 10	- 7
5	Worpswede .....	1	+ 351	- 144	- 208	- 1	+ 5	- 3
		2	+ 359	- 145	- 214	- 9	+ 6	+ 3
6	Beverstedt .....	1	+ 348	- 145	- 203	+ 2	+ 6	- 8
		2	+ 353	- 142	- 211	- 3	+ 3	0
7	Lehe .....		+ 353	- 137	- 215	- 3	- 2	+ 4
8	Otterndorf .....	1	+ 356	- 147	- 209	- 6	+ 8	- 2
		2	+ 352	- 143	- 208	- 2	+ 4	- 3
9	Helgoland .....	1	+ 353	- 143	- 210	- 3	+ 4	- 1
		2	+ 351	- 136	- 214	- 1	- 3	+ 3
10	Neuwerk .....	1	+ 342	- 137	- 205	+ 8	- 2	- 6
		2	+ 355	- 136	- 220	- 5	- 3	+ 9
		3	+ 350	- 130	- 221	0	- 9	+ 10
		4	+ 365	- 151	- 214	- 15	+ 12	+ 3
	Potsdam .....	1	+ 356	- 134	- 223	- 6	- 5	+ 12
		2	+ 352	- 140	- 213	- 2	+ 1	+ 2
		3	+ 349	- 134	- 215	+ 1	- 5	+ 4
	Mittelwerte:		+ 350	- 139	- 211			
	Summe der Fehlerquadrate:					1222	1150	971

Als mittlerer Fehler einer Doppelbeobachtung eines Pendels ergibt sich (vergl. S. 66):

für die Messingpendel:  $m'' = 10^{-7} \sqrt{\frac{3671 + 2339 + 1565}{2 \times 29}} = \pm 11.7 \times 10^{-7}$ ,

für die Nickelstahlpendel:  $m'' = 10^{-7} \sqrt{\frac{1222 + 1150 + 971}{2 \times 28}} = \pm 7.7 \times 10^{-7}$ .

Als mittlerer Fehler eines aus zwei Reihen zu je drei Pendeln bestehenden Tagesmittels folgt

für die *Messingpendel*:  $m_{II} = \pm 6^{\cdot}7 \times 10^{-7}$ ,  
 für die *Nickelstahlpendel*:  $m_{II} = \pm 4^{\cdot}4 \times 10^{-7}$ .

Der größere mittlere Fehler der *Messingpendel* zeigt den starken Einfluß der durch stürmisches Wetter gestörten Stationen Wangeroo, Hohenkirchen und Neuwerk. Bei den *Nickelstahlpendeln*, die immer nach den *Messingpendeln* beobachtet wurden, tritt dieser Einfluß in den Tagesmitteln der einzelnen Pendel mehr zurück.

3. Ableitung des mittleren Fehlers aus den Unterschieden der Schwingungszeiten „Feldstation weniger Potsdam“.

Für Potsdam ist das Mittel aus den Anschlußmessungen vor Beginn und nach Schluß der Reihe genommen. Vergl. die Tabellen I und II S. 137 u. 138.

*Messingpendel.*

Nr.	Station	Unterschiede Feldstation weniger Potsdam				Abweichungen vom Mittel			Rezi- proke Ge- wichts- zahlen
		Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	
1	Wangeroo .....	-325	-325	-327	-326	- 1	- 1	+ 1	0.25
2	Hohenkirchen .....	-293	-318	-316	-309	+ 16	- 9	- 7	0.25
3	Wilhelmshaven .....	-276	-283	-288	-282	- 6	+ 1	+ 6	0.20
4	Ovelgönne .....	-220	-219	-231	-223	- 3	- 4	+ 8	0.50
5	Worpswede .....	-200	-189	-189	-193	+ 7	- 4	- 4	0.25
6	Beverstedt .....	-232	-225	-229	-229	+ 3	- 4	- 0	0.25
7	Lehe .....	-293	-261	-255	-270	+ 23	- 9	- 15	0.50
8	Otterndorf .....	-337	-332	-329	-333	+ 4	- 1	- 4	0.25
9	Helgoland .....	-358	-357	-356	-357	+ 1	0	- 1	0.25
10	Neuwerk .....	-364	-340	-338	-347	+ 17	- 7	- 9	0.13
Summe der Fehlerquadrate:						1195	262	489	

*Nickelstahlpendel.*

Nr.	Station	Unterschiede Feldstation weniger Potsdam				Abweichungen vom Mittel			Rezi- proke Ge- wichts- zahlen
		Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	$P_m$	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	
1	Wangeroo .....	-332	-328	-350	-336	- 4	- 8	+ 14	0.25
2	Hohenkirchen .....	-284	-302	-305	-297	- 13	+ 5	+ 8	0.25
3	Wilhelmshaven .....	-276	-266	-277	-273	+ 3	- 7	+ 4	0.25
4	Ovelgönne .....	-219	-202	-226	-215	+ 4	- 13	+ 9	0.50
5	Worpswede .....	-200	-187	-199	-195	+ 5	- 8	+ 4	0.25
6	Beverstedt .....	-232	-224	-239	-231	+ 1	- 7	+ 8	0.25
7	Lehe .....	-283	-279	-280	-280	+ 3	- 1	0	0.50
8	Otterndorf .....	-337	-324	-339	-333	+ 4	- 9	+ 6	0.25
9	Helgoland .....	-347	-342	-348	-345	+ 2	- 3	+ 3	0.25
10	Neuwerk .....	-357	-352	-354	-354	+ 3	- 2	0	0.13
Summe der Fehlerquadrate:						274	515	482	

Nun ist nach S. 69:

$$m'_{III} = \frac{[vv]}{2 \sum \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n'} \right)}.$$

Man erhält als Summe der reziproken Gewichtszahlen für Potsdam für die *Messingpendel* nach S. 137:

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{12} + \frac{1}{9} \right) \quad \text{und} \quad \sum \frac{1}{n} = 10 \times 0.06 = 0.60,$$

für die *Nickelstahlpendel* nach S. 138:

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{12} + \frac{1}{8} \right) \quad \text{und} \quad \sum \frac{1}{n} = 10 \times 0.07 = 0.70.$$

Für die *Messingpendel* ergibt sich:

$$m'_{III} = 10^{-7} \sqrt{\frac{1946}{6.86}} = \pm 16.9 \times 10^{-7} \quad \text{für die Beobachtung einer Differenz}$$

und bei einer durchschnittlichen Beobachtung von 12 Pendeln, die mit Ausnahme von Lehe und Ovelgönne überall beobachtet wurden, auf einer Station:

$$m_{III} = \pm 4.9 \times 10^{-7}.$$

Für die Beobachtung von 6 Pendeln auf jeder Station ergibt sich der mittlere Fehler zu:

$$m_{III} = \pm 6.9 \times 10^{-7}.$$

Für die *Nickelstahlpendel* ergibt sich:

$$m'_{III} = 10^{-7} \sqrt{\frac{1264}{7.16}} = \pm 13.3 \times 10^{-7} \quad \text{für die Beobachtung einer Differenz.}$$

Für 12 Pendelbeobachtungen wird:

$$m_{III} = \pm 3.9 \times 10^{-7};$$

für 6 Pendel ist:

$$m_{III} = \pm 5.4 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler der Messingpendel ist sehr viel größer als der der Nickelstahlpendel. Es scheint das hauptsächlich an dem Pendel Nr. 21 zu liegen, das öfter die größeren Abweichungen zeigt. Bedenkt man dabei, daß Nr. 21 immer als erstes Pendel in den Beobachtungsreihen beobachtet wurde, so ist ein Einfluß der Schwankungen des Uhrgangs auf dessen Schwingungszeiten nicht abzuweisen. Es hat den Anschein, als ob sich die Uhr erst an die Arbeit gewöhnen müßte. Auch bei den Beobachtungen im Jahre 1905 zeigt das in diesem Jahre zuerst beobachtete Pendel Nr. 57 stets die größten Abweichungen. Vielleicht ist es zweckmäßig, vor Beginn der Beobachtungen die Uhr eine Zeitlang mit Strom gehen zu lassen, was leicht durch Einschalten des Koinzidenzapparates geschehen könnte.

Als mittlere Fehler einer Stationsbeobachtung nehmen wir die auf S. 139 aus der inneren Übereinstimmung abgeleiteten an.

Für die Messingpendel:  $m = \pm 4.9 \times 10^{-7}$ ,

Für die Nickelstahlpendel:  $m = \pm 4.6 \times 10^{-7}$ .

§ 6. Der Temperatenausgleich bei den Beobachtungen und der Einfluß der Beobachtungsfehler der Temperatur- und Dichtekonstanten.

In der folgenden Tabelle sind wieder wie früher nur die beobachteten Temperaturen der Messingpendel zusammengestellt. Beide Pendelarten werden in ihren Schwingungsdauern von dem gleichen mittleren Fehler beeinflusst, soweit dieser von der Ungenauigkeit der Bestimmung der Temperaturkonstanten abhängt.

*Mitteltemperaturen der Messingpendel.*

Nr.	Station	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$	Nr.	Station	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$						
1	Potsdam .....	14.07	14.09	14.13	14.10	6	Beverstedt .....	17.24	17.21	17.22	17.22						
		14.16	14.17	14.17	14.17			16.96	16.97	16.99	16.97						
		14.15	14.20	14.22	14.19			17.40	17.37	17.39	17.39						
		14.41	14.41	14.42	14.41			17.20	17.22	17.23	17.22						
		14.46	14.48	14.52	14.49			7	Lehe .....	15.46	15.40	15.33	15.40				
		14.58	14.59	14.60	14.59					15.14	15.15	15.16	15.15				
		14.82	14.83	14.66	14.84					8	Otterndorf .....	15.15	15.14	15.16	15.15		
		15.08	15.08	15.09	15.08							15.30	15.31	15.35	15.32		
		14.99	15.00	15.02	15.00							15.50	15.47	15.47	15.48		
		15.24	15.24	15.26	15.25							15.40	15.40	15.44	15.41		
		15.08	15.09	15.10	15.09							9	Helgoland .....	18.16	18.14	18.14	18.15
		15.36	15.33	15.37	15.36									19.78	19.85	19.86	19.83
2	Wangerooß ....	21.66	21.42	21.23	21.44	20.20	20.17							20.09	20.15		
		19.33	19.38	19.44	19.38	18.86	18.78							18.74	18.79		
		20.12	19.74	19.36	19.74	10	Neuwerk .....							16.35	16.21	16.12	16.23
		15.70	16.05	16.24	16.00									15.09	15.09	15.10	15.09
		3	Hohenkirchen ..	17.16	17.08			17.04	17.09					16.80	16.69	16.57	16.69
				16.46	16.45			16.52	16.48					14.74	14.72	14.79	14.75
				16.41	16.43			16.50	16.45	17.71	17.55			17.39	17.55		
				16.18	16.16			16.14	16.16	15.20	15.21			15.21	15.21		
				4	Wilhelmshaven ..			17.05	17.00	17.05	17.03			17.71	17.51	17.34	17.52
								17.15	17.12	17.10	17.12			14.80	14.80	14.76	14.79
								17.36	17.38	17.45	17.40	Potsdam .....	14.31	14.33	14.36	14.33	
								17.73	17.77	17.79	17.76		14.30	14.30	14.30	14.30	
17.18	17.18							17.17	17.18	14.45	14.46		14.46	14.46			
5	Ovelgönne .....							20.64	20.59	20.54	20.59		14.26	14.26	14.26	14.26	
						19.17	19.21	19.46	19.28	14.48	14.49		14.52	14.50			
						6	Worpswede ....	15.63	15.64	15.66	16.64		14.29	14.30	14.31	14.30	
		15.35	15.32					15.36	15.34	14.48	14.49		14.51	14.49			
		15.52	15.59					15.64	15.58	14.40	14.40		14.41	14.40			
		15.53	15.51					15.53	15.52	14.65	14.64		14.65	14.65			

Die Beständigkeit der Temperatur ist wieder auf allen Stationen eine genügende gewesen. Und selbst bei der Station *Wangeroog*, auf der die Gesamtabnahme der Temperatur während der Beobachtung von drei Pendeln in einem Falle  $0^{\circ}.7$  beträgt, wird ein etwaiger kleiner Einfluß der dynamischen Temperaturkonstante ausgeglichen durch die Zunahme der Temperatur der zugehörigen Reihe um  $0^{\circ}.5$ . Man wird also auch bei dieser Station den Einfluß des dynamischen Koeffizienten ebenso wie auf allen anderen Stationen vernachlässigen können. Auch bei der Fehlerberechnung ist dieser Einfluß wegen seiner Kleinheit nicht berücksichtigt.

Um nun den Einfluß der ungenauen Bestimmung des statischen Temperaturkoeffizienten auf die Differenzen der Schwingungszeiten der Pendel Potsdam weniger Feldstation zu ermitteln, bilden wir wieder die Differenzen der Mitteltemperaturen der Feldstationen gegen das Mittel der in Potsdam beobachteten Temperaturen und erhalten in derselben Weise wie auf Seite 71 als durchschnittlichen mittleren Anteil der Ungenauigkeit der Bestimmung der Temperaturkonstanten auf den Unterschied der Schwingungsdauern der mittleren Pendel der Feldstationen gegen Potsdam:

$$m_T = \pm 0^{\circ}.3 \times 10^{-7}.$$

Der Einfluß der Beobachtungsfehler der Dichtekonstanten wird in der gleichen Weise ermittelt. Die mittlere Luftdichte in Potsdam betrug  $0.938$ . Der mittlere Einfluß der Ungenauigkeit der Dichtekonstanten auf die Unterschiede der Schwingungsdauern der mittleren Pendel einer Feldstation gegen Potsdam wird:

$$m_a = \pm 0^{\circ}.06 \times 10^{-7}.$$

### § 7. Die Unveränderlichkeit der Pendel.

Nach den Tabellen I u. II S. 137 u. 138 sind die Werte der Anschlußmessungen in *Potsdam*:

#### a. Messingpendel.

	Nr. 21	Nr. 5	Nr. 7	$P_m$
I:	$0^{\circ}.5097452$	$0^{\circ}.5083397$	$0^{\circ}.5083121$	$0^{\circ}.5087990$
II:	$0.5097463$	$0.5083392$	$0.5083119$	$0.5087991$
II—I:	+ 11	— 5	— 2	+ 1

#### b. Nickelstahlpendel.

	Nr. 79	Nr. 76	Nr. 77	$P_n$
I:	$0^{\circ}.5076458$	$0^{\circ}.5076942$	$0^{\circ}.5077018$	$0^{\circ}.5076806$
II:	$0.5076451$	$0.5076941$	$0.5077021$	$0.5076804$
II—I:	— 7	— 1	+ 3	— 2

Die Änderungen sind bei beiden Pendelarten gering und halten sich innerhalb der Grenzen der Beobachtungsungenauigkeit. Man erkennt das aus der nachfolgenden Ableitung der mittleren Fehler, die nach S. 31 und 32 erfolgt.

*Unterschiede der Schwingungsdauer der Pendel gegeneinander.*

Nr.	Station	Messingpendel			Rezi- proke Gewichts- zahlen	Nickelstahlpendel			Rezi- proke Gewichts- zahlen
		21—5	21—7	5—7		76—79	77—79	77—76	
	Potsdam.....	14055	14331	276	0.08	484	560	76	0.08
1	Wangerooog .....	14063	14340	277	0.25	490	547	57	0.25
2	Hohenkirchen .....	14088	14361	273	0.25	468	544	76	0.25
3	Wilhelmshaven .....	14070	14350	280	0.20	496	564	68	0.25
4	Ovelgönne .....	14062	14349	287	0.50	503	558	55	0.50
5	Worpswede .....	14052	14327	275	0.25	499	566	67	0.25
6	Beverstedt.....	14056	14335	279	0.25	494	558	64	0.25
7	Lehe .....	14031	14300	269	0.50	490	568	78	0.50
8	Otterndorf .....	14058	14330	272	0.25	499	563	64	0.25
9	Helgoland .....	14062	14336	274	0.25	491	564	73	0.25
10	Neuwerk.....	14039	14312	273	0.13	491	568	77	0.13
	Potsdam.....	14071	14344	273	0.11	490	570	80	0.13

Daraus folgen die  $\Delta^2$ :

Intervall der Stationen	Messingpendel					Nickelstahlpendel				
	Mittleres $\Delta^2$ für die Differenzen			Mittel aus allen $\Delta^2$	Faktor von $\mu^2$	Mittleres $\Delta^2$ für die Differenzen			Mittel aus allen $\Delta^2$	Faktor von $\mu^2$
	21—5	21—7	5—7			76—79	77—79	77—76		
1	370	454	37	287	1.06	139	80	139	119	1.09
2	399	445	50	295	1.09	176	82	99	119	1.12
3	317	527	59	301	1.10	169	95	116	127	1.13
4	585	847	75	502	1.13	157	83	132	124	1.14
5	549	684	39	424	1.01	122	114	112	116	1.03
6	476	751	51	426	1.01	208	141	228	192	1.03
Mittelwert:	449	618	52	373	1.07	162	98	138	133	1.09

Die Werte der Differenzen in den einzelnen Vertikalkolumnen sind in genügender Übereinstimmung. Die Änderungen, die sich zeigen, rühren zu- meist von zufälligen Fehlern des Uhranges her. Der Einfluß der Ver- änderung der Pendel auf die Differenz der Schwingungszeiten des mittleren Pendels einer Feldstation gegen den gleichen Wert in Potsdam kann als verschwindend betrachtet werden. Unter dieser Annahme findet man als mittleren Fehler einer Feldstation

a. für die *Messingpendel*:

bei 12 Pendelbeobachtungen auf einer Station:  $m = \pm 5.4 \times 10^{-7}$ ,  
 „ 6 „ „ „ „ :  $m = \pm 7.8 \times 10^{-7}$ ;

b. für die *Nickelstahlpendel*:

bei 12 Pendelbeobachtungen auf einer Station:  $m = \pm 3.5 \times 10^{-7}$ ,  
 „ 6 „ „ „ „ :  $m = \pm 5.0 \times 10^{-7}$ .

Durch die etwas größeren mittleren Fehler  $m$  sind kleine Änderungen der Pendel während der Reise wohl angedeutet, die aber bei den End- beobachtungen in Potsdam wieder verschwunden sind. Sie werden deshalb zufälligen Charakter gehabt haben, hervorgerufen durch den mannigfach durch Erschütterungen gestörten Uhrgang. Sie sind durch die angenommenen mitt- leren Fehler eines Stationsmittels (S. 144) genügend berücksichtigt.

§ 8. Vergleich der Ergebnisse der Messing- und der Nickelstahlpendel- beobachtungen.

Beobachtete „ $g$ “.

Nr.	Station	Messingpendel			$P_m$	Nickelstahlpendel			$P_n$
		Nr. 21 981. <sup>cm</sup>	Nr. 5 981. <sup>cm</sup>	Nr. 7 981. <sup>cm</sup>		Nr. 79 981. <sup>cm</sup>	Nr. 76 981. <sup>cm</sup>	Nr. 77 981. <sup>cm</sup>	
1	Wangerooog . . . . .	399	400	400	400	402	401	409	404
2	Hohenkirchen ..	387	397	396	393	384	391	392	389
3	Wilhelmshaven .	380	383	385	383	381	377	381	380
4	Ovelgönne . . . . .	359	359	363	360	359	352	361	357
5	Worpswede . . . . .	351	347	347	348	351	346	351	349
6	Beverstedt . . . . .	363	361	362	362	364	361	366	363
7	Lehe . . . . .	387	375	372	378	383	382	382	382
8	Otterndorf . . . . .	404	402	401	402	404	399	405	403
9	Helgoland . . . . .	412	412	411	412	408	406	409	408
10	Neuwerk . . . . .	414	405	405	408	412	410	411	411

Unterschiede zwischen den auf gleichen Lagern beobachteten Pendeln.

Nr.	Messingpendel weniger Nickelstahlpendel			$P_m - P_n$
	Nr. 21 — Nr. 79	Nr. 5 — Nr. 76	Nr. 7 — Nr. 77	
1	— 3	— 1	— 9	— 4
2	+ 3	+ 6	+ 4	+ 4
3	— 1	+ 6	+ 4	+ 3
4	0	+ 7	+ 2	+ 3
5	0	+ 1	— 4	— 1
6	— 1	0	— 4	— 1
7	+ 4	— 7	— 10	— 4
8	0	+ 3	— 4	— 1
9	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
10	+ 2	— 5	— 6	— 3

Systematische Abweichungen zeigt keins der Pendelpaare. Die Abweichungen der Einzelpendel unter einander sowohl als auch der mittleren Pendel zeigen den Charakter zufälliger Fehler. Die Beobachtungen ergeben auch für dieses Jahr die völlig gleichwertige Beschaffenheit der Messing- und der Nickelstahlpendel.

### § 9. Genauigkeit der Beobachtungen.

#### I. Messingpendel.

1. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten auf einer Feldstation nach S. 144 =  $\pm 4.9 \times 10^{-7}$ .

2. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten in Potsdam nach S. 137 =  $\pm 0.7 \times 10^{-7}$ .

3. Mittlerer Fehler der Bestimmung des Mitschwingens auf einer Feldstation und in Potsdam nach S. 111 =  $\pm 0.6 \times 10^{-7}$ .

4. Einfluß des Fehlers der Temperatur- und Dichtekonstanten nach S. 145 =  $\pm 0.3 \times 10^{-7}$ .

5. Einfluß der Veränderung der Pendel = 0 angenommen.

6. Mittlere Fehler der benutzten Uhrgänge auf den Feldstationen nach S. 114 =  $\pm 1.5 \times 10^{-7}$ , in Potsdam =  $\pm 1.2 \times 10^{-7}$ .

$$M_s^2 = 29.0 \times 10^{-14}; \quad M_s = \pm 5.4 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler für die Unterschiede der Schwerkraft mit Potsdam ist mithin:

$$M_g = \pm 0.0021 \text{ cm.}$$



II. *Nickelstahlpendel.*

1. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten auf einer Feldstation nach S. 144 =  $\pm 4^{s.2} \times 10^{-7}$ .

2. Mittlerer Fehler der Schwingungszeiten in Potsdam nach S. 138 =  $\pm 0^{s.5} \times 10^{-7}$ .

3, 4, 5, und 6 wie bei den Messingpendeln.

$$M_s^2 = 25.9 \times 10^{-14}; \quad M_s = \pm 5^{s.1} \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler für die Unterschiede der Schwerkraft mit Potsdam ist daher:

$$M_g = \pm 0.0020 \text{ cm.}$$

## V. Ableitung der Schwerkraft.

Der Berechnung der Schwerkraft auf den Feldstationen liegt die Formel zugrunde:

$$g = \left(\frac{S_p}{S}\right)^2 g_p = g_p - 2g_p \frac{S - S_p}{S_p} + 3g_p \left(\frac{S - S_p}{S_p}\right)^2 - \dots$$

$S_p$  = Schwingungszeit der Pendel in Potsdam,

$S$  = „ „ „ „ auf einer Feldstation.

Die Schwerkraft in Potsdam auf dem Pfeiler 31 des Pendelsaales des Geodätischen Instituts ist nach der Veröffentlichung des Königlichen Geodätischen Instituts, Neue Folge Nr. 27: „Bestimmung der absoluten Größe der Schwerkraft zu Potsdam mit Reversionspendeln von Professor Dr. F. KÜHNEN und Prof. Dr. PH. FURTWÄGLER. Berlin 1906“. S. 380:

$$g_p = 981^{\text{cm}}.274.$$

Alle Messungen sind durch Addition von  $+3^s \times 10^{-7}$  zu den im Mittelkeller beobachteten Schwingungszeiten auf den Pfeiler 31 des Pendelsaales bezogen. Für die Beobachtungen in den Jahren 1906, 1907, 1908 ist diese Addition schon in den der Reduktion zugrunde liegenden Übersichtstabellen S. 63 u. 64, 95 u. 96, 137 u. 138 ausgeführt, für die Beobachtungen im Jahre 1905 ist diese Addition in den Übersichtstabellen S. 24 u. 25 noch vorzunehmen.

Die normale Schwerkraft im Meeresniveau auf das Potsdamer System bezogen ist nach der Ableitung des Herrn Geheimrat HELMERT und der Ausgleichung des Herrn Prof. BORRASS:

$$\gamma_0 = 978^{\text{cm}}.030 (1 + 0.005302 \sin^2 \varphi - 0.000007 \sin^2 2 \varphi).$$

Vergleiche F. R. HELMERT: „Der normale Teil der Schwerkraft im Meeresniveau. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1901“, S. 336, sowie die Veröffentlichung des Königlich

Preußischen Geodätischen Instituts, Neue Folge Nr. 38: „*Jahresbericht des Direktors des Königlichen Geodätischen Instituts für die Zeit von April 1907 bis April 1908. Potsdam 1908*“ S. 7.

Die Werte der  $\gamma_0$  auf den Feldstationen sind den „*Formeln und Hilfstafeln für geographische Ortsbestimmungen von Prof. Dr. Th. ALBRECHT. IV. Auflage, Leipzig 1908*“ S. 296 u. f. entnommen.

Die Reduktion der beobachteten Schwerkraft auf das Meeresniveau ist nach der Formel ausgeführt:

$$g_0 = g + 0.0003086 H \text{ cm.}$$

Vergleiche F. R. HELMERT: „*Über die Reduktion der auf der physischen Erdoberfläche beobachteten Schwerebeschleunigungen auf ein gemeinsames Niveau. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften. 1903.*“ S. 651.

Die Korrektionsgrößen  $0.0003086 H$  konnten auch den oben erwähnten Hilfstafeln von ALBRECHT (S. 298) entnommen werden.

Die Anziehung der Platte unter der Station bis zum Meeresniveau ist berücksichtigt nach der Formel:

$$g'' = g_0 + \frac{3}{4} \frac{\Theta}{\Theta_m} (g - g_0) + \text{top. Korr.}$$

Hier bedeutet  $\Theta$  die Dichte des unter der Station anstehenden Gesteins,  $\Theta_m$  die mittlere Erddichte = 5.52.

Als Endergebnisse der Beobachtungen des Jahres 1906 sind die Mittelwerte der aus den Messingpendel- und Nickelstahlpendelbeobachtungen folgenden Werte der Schwerkraft angenommen. Bei den kleinen Werten der systematischen Abweichungen zwischen Messing- und Nickelstahlpendelbeobachtungen (S. 74) schien die einfache Mittelbildung am zweckmäßigsten zu sein. Bei den Beobachtungen der Jahre 1907 und 1908, die keine systematischen Abweichungen zwischen den beiden Pendelarten mehr zeigen, ist auch das Mittel aus Messing- und Nickelstahlpendelbeobachtungen als Endergebnis angenommen.

Die topographische Korrektur war nur auf der Station Helgoland zu berücksichtigen. Die Werte der Dichten des auf den Stationen anstehenden Gesteins sind uns von der Königlichen Geologischen Landesanstalt mitgeteilt und wir sprechen für das Entgegenkommen auch an dieser Stelle unsern besten Dank aus.

Die geographischen Koordinaten sind sämtlich den Meßtischblättern 1 : 25 000 entnommen.

Lfde. Nr.	Station	Geographische		Höhe in m	Beob- achtete g 981. <sup>cm</sup>	Gesteins- dichte	Top. Korrek- tion 10 <sup>-3</sup> cm
		Breite	Länge				
Beobachtungen							
1	Gräfenhainichen .....	51° 44.0	12° 27.7	91	228	2.2	0
2	Schmiedeberg .....	51 41.3	12 44.4	97	212	2.2	0
3	Düben .....	51 35.6	12 35.7	93	198	2.2	0
4	Eilenburg .....	51 27.6	12 38.2	102	172	2.2	0
5	Delitzsch .....	51 31.3	12 20.3	96	183	2.2	0
6	Zörbig .....	51 37.7	12 7.4	88	216	2.4	0
7	Wettin .....	51 35.1	11 48.6	96	222	2.7	0
8	Halle a. S. ....	51 29.0	11 58.1	79	221	2.4	0
9	Merseburg .....	51 21.7	11 59.8	95	204	2.6	0
10	Leipzig .....	51 20.1	12 23.5	115	180	2.2	0
11	Naumburg a. S. ....	51 9.2	11 48.8	130	163	2.6	0
12	Jena .....	50 55.6	11 35.2	154	123	2.6	0

Beobachtungen

13	Münster i. W. ....	51° 57.9	7° 37.9	62	233	2.6	0
14	Ladbergen .....	52 8.0	7 45.3	52	251	2.6	0
15	Iburg .....	52 9.6	8 2.9	124	248	2.6	0
16	Ibbenbüren .....	52 16.6	7 42.9	73	281	2.6	0
17	Osnabrück .....	52 16.8	8 2.7	66	284	2.6	0
18	Bramsche .....	52 24.9	7 58.9	48	317	2.65	0
19	Bohmte .....	52 22.1	8 18.9	59	293	2.6	0
20	Melle i. H. ....	52 12.0	8 20.5	78	268	2.6	0
21	Lübbecke .....	52 18.1	8 36.9	94	276	2.65	0
22	Minden i. W. ....	52 17.6	8 54.3	54	277	2.5	0

Beobachtungen

23	Hessisch Oldendorf .....	52° 10.2	9° 14.7	63	269	2.5	0
24	Stadthagen .....	52 19.5	9 12.4	70	281	2.5	0
25	Diepenau .....	52 25.2	8 43.4	44	297	2.3	0
26	Stolzenau a. d. W. ....	52 30.8	9 4.7	33	302	2.3	0
27	Nienburg a. d. W. ....	52 38.5	9 12.6	25	304	2.3	0
28	Kirchdorf, Kr. Sulingen .....	52 35.9	8 50.4	39	296	2.3	0
29	Hoya .....	52 48.4	9 8.4	21	310	2.3	0
30	Neu Bruchhausen .....	52 50.5	8 50.9	43	307	2.3	0
31	Langwedel .....	52 58.7	9 11.7	13	322	2.3	0
32	Bremen .....	53 5.0	8 49.2	0	341	2.3	0

Beobachtungen

33	Wangeroo .....	53° 47.7	7° 54.0	6	402	1.9	0
34	Hohenkirchen .....	53 40.0	7 55.6	0	391	2.0	0
35	Wilhelmshaven .....	53 31.9	8 8.8	4	382	2.1	0
36	Ovelgönne .....	53 20.7	8 25.4	2	359	2.1	0
37	Worpswede .....	53 13.3	8 55.9	22	349	2.3	0
38	Beverstedt .....	53 26.2	8 49.3	12	363	2.3	0
39	Lehe .....	53 34.2	8 35.3	2	380	2.1	0
40	Otterndorf .....	53 48.5	8 53.9	3	402	2.1	0
41	Helgoland .....	54 10.8	7 53.1	51	410	2.6	+ 1
42	Neuwerk .....	53 55.0	8 29.8	4	410	1.9	0

$g_0 = g +$ $0.0003086H$	$g_0''$	$\gamma_0$	$g_0'' - \gamma_0$	$g_0 - \gamma_0$	Anstehendes Gestein
981. <sup>cm</sup>	981. <sup>cm</sup>	981. <sup>cm</sup>	cm	cm	

im Jahre 1905.

256	248	220	+ 0.028	+ 0.036	Tertiär. Sande, Tone, Braunkohlen.
242	233	216	+ 0.017	+ 0.026	Tertiär. Sande, Tone, Braunkohlen.
227	218	208	+ 0.010	+ 0.019	Tertiär. Sande, Tone, Braunkohlen.
203	194	196	- 0.002	+ 0.007	Tertiär. Sande, Tone, Braunkohlen.
213	204	202	+ 0.002	+ 0.011	Tertiär. Sande, Tone, Braunkohlen.
243	234	211	+ 0.023	+ 0.032	Tertiär. Rotliegendes.
252	241	207	+ 0.034	+ 0.045	Rotliegendes. Porphy.
245	237	199	+ 0.038	+ 0.046	Tertiär. Rotliegendes.
233	223	188	+ 0.035	+ 0.045	Mittlerer Buntsandstein.
216	205	185	+ 0.020	+ 0.031	Diluvium. Sande, Tone, Braunkohlen.
203	189	169	+ 0.020	+ 0.034	Mittlerer Buntsandstein.
171	154	148	+ 0.006	+ 0.023	Röt. Mittlerer Buntsandstein.

im Jahre 1906.

252	245	241	+ 0.004	+ 0.011	Senon. Mergel, Mergelkalke.
267	261	255	+ 0.006	+ 0.012	Senon. Mergel, Mergelkalke.
286	273	257	+ 0.016	+ 0.029	Turon, Cenoman, Gault. Kalke, Mergel.
304	296	268	+ 0.028	+ 0.036	Diluvium, Jura. Tone, Kalke, Sandsteine.
304	297	268	+ 0.029	+ 0.036	Keuper. Mergel, Steinmergel, Sandsteine.
332	327	280	+ 0.047	+ 0.052	Oberer Jura. Kalke, Mergel, Sandsteine.
311	305	276	+ 0.029	+ 0.035	Wealden. Schiefertone, Sandsteine.
292	284	261	+ 0.023	+ 0.031	Keuper. Mergel, Steinmergel, Sandsteine.
305	295	270	+ 0.025	+ 0.035	Oberer Jura. Kalke, Mergel, Sandsteine.
294	288	269	+ 0.019	+ 0.025	Diluvium, Neocom. Sande, Tone.

im Jahre 1907.

288	282	258	+ 0.024	+ 0.030	Diluvium, Lias. Sande, Geschiebemergel, Tone.
303	296	272	+ 0.024	+ 0.031	Diluvium, Neocom. Sande, Tone.
311	307	280	+ 0.027	+ 0.031	Diluvium. Vorwiegend sandig.
312	309	288	+ 0.021	+ 0.024	" " "
312	310	300	+ 0.010	+ 0.012	" " "
308	304	296	+ 0.008	+ 0.012	" " "
316	314	315	- 0.001	+ 0.001	" " "
320	316	318	- 0.002	+ 0.002	" " "
326	325	329	- 0.004	- 0.003	" " "
341	341	339	+ 0.002	+ 0.002	" " "

im Jahre 1908.

404	403	400	+ 0.003	+ 0.004	Alluvium. Dünenand.
391	391	389	+ 0.002	+ 0.002	Alluvium. Marschschlick.
383	383	378	+ 0.005	+ 0.005	Alluvium. Marschschlick.
360	360	361	- 0.001	- 0.001	Alluvium. Marschschlick.
356	354	351	+ 0.003	+ 0.005	Diluvium. Vorwiegend sandig.
367	366	369	- 0.003	- 0.002	" " "
381	381	381	0.000	0.000	Alluvium. Marschschlick.
403	403	401	+ 0.002	+ 0.002	Alluvium. Marschschlick.
426	421	433	- 0.012	- 0.007	Buntsandstein, Zechstein, Tonige Sandsteine, Schiefertone.
411	411	411	0.000	0.000	Alluvium. Dünenand.

## VI. Bestimmung des Mitschwingens mit Hilfe der Spiegelmethode.

Die Pendelbewegung veranlaßt ein Hin- und Herschieben des Pendellagers. Die Größe dieser Bewegung hat zuerst PEIRCE\*) zu der Schwingungszeit des schwingenden Pendels in Beziehung gesetzt durch Beobachtung der durch einen horizontalen Zug von bekannter Größe bewirkten Verschiebung des Pendellagers. Die Verschiebung wurde direkt mit dem Mikroskop an einer Skala abgelesen, die am Stativkopfe befestigt war. Eine ähnliche Beobachtungsart zur Ermittlung der Verschiebung wandte HIRSCH\*\*) an. Um die Beobachtung durch ein Mikroskop zu vermeiden, übertrug HIRSCH die Bewegungen des Stativkopfes auf die Drehung eines Spiegels um seine horizontale Achse. Die Größe der Drehung wurde an einer Skala durch ein Fernrohr abgelesen, das in geeigneter Entfernung aufgestellt war. Auf eine an dem Stativkopfe horizontal befestigte Nadel stützt sich ein Fühlhebel, der mit der horizontalen Achse des Spiegels fest verbunden ist. Durch eine Veränderung der Lage des Stützpunktes der Nadel an dem Fühlhebel und Beobachtung der Abweichung der Lagerebene im Fernrohr in zwei verschiedenen Stellungen des Fühlhebels konnte er dann diese Abweichung direkt in etwa 3000facher Vergrößerung beobachten. Da aber die Wirkung des Gewichts nicht sofort zustande kam und auch die Änderung der Temperatur von Einfluß auf die Länge des Hebelarmes war, so hat PLANTAMOUR†) auf die Anwendung dieser Methode verzichtet und die Verschiebungen der Aufhängeebene, die durch das schwingende Pendel hervorgerufen wurden, direkt mit Hilfe einer Felderskala beobachtet. Das Zuggewicht wurde nur angewandt, um die Vergrößerung der Stativbewegung bei einer bestimmten Stellung der Nadel zu ermitteln.

Professor NAGAOKA††) ist wieder zu der Beobachtung der Lagerverschiebung durch Verwendung von Zuggewichten zurückgekehrt. Bei seiner Kon-

---

\*) Vergl. in den „*Verhandlungen der Fünften Allgemeinen Konferenz der Europäischen Gradmessung. Berlin 1878*“: *De l'influence de la flexibilité du trépied sur l'oscillation du pendule à réversion par Mr. PEIRCE du Coast Survey U. S. A.* S. 171 ff.

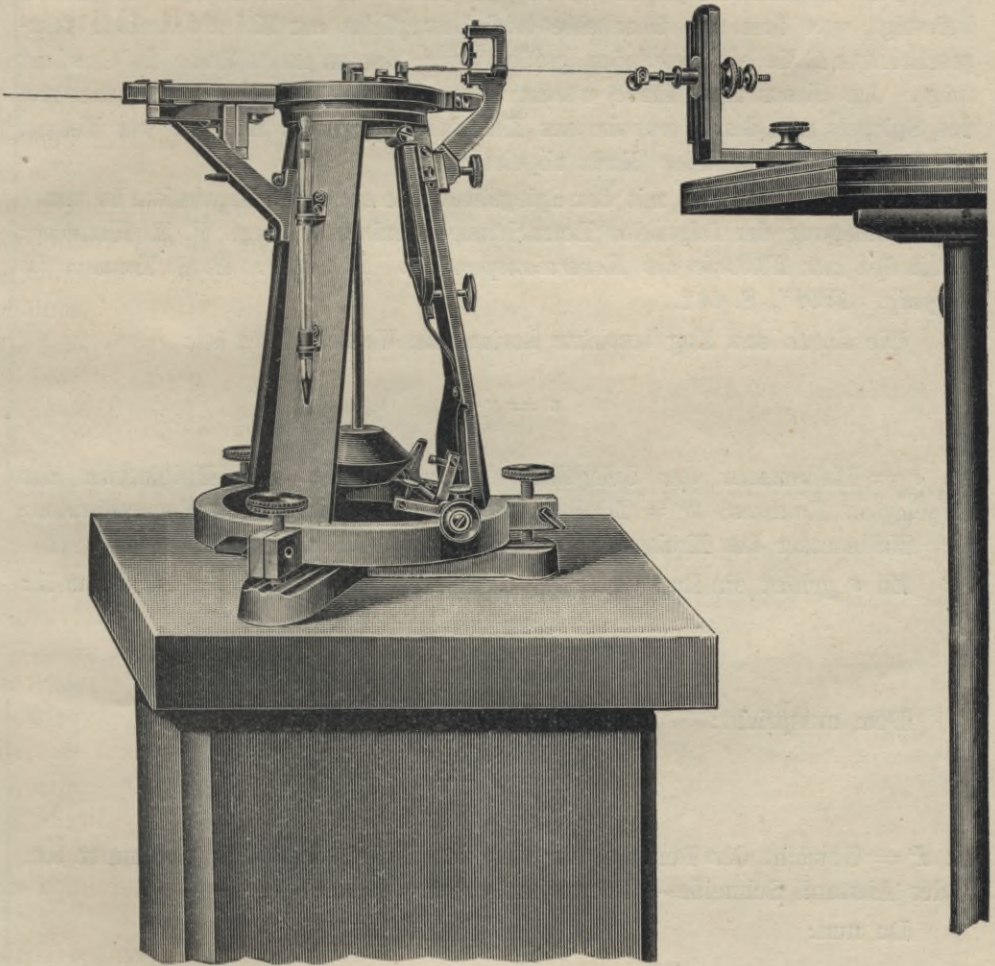
\*\*) In den gleichen Verhandlungen.

†) „*Récherches expérimentales sur le mouvement simultané d'un pendule et de ses supports par E. PLANTAMOUR, professeur*“, S. 5.

††) Im „*Journal of the college of science, Imperial university. Tokyo, Japan. Vol. XVI, article 17*“, S. 20.

struktion wird die Lagerverschiebung auf die Bewegung eines um seine vertikale Achse drehbaren Spiegels übertragen. Nach dieser Idee ist dann vom Mechaniker FECHNER für das geodätische Institut ein neuer Apparat konstruiert, den ich im nachstehenden schildern will (vergl. Figur).

Ein um seine Achse drehbarer Spiegel wird direkt am Stativ befestigt. Als Träger der Achsenlager dienen horizontale Messingarme, die von einem am Stativ festgeschraubten Messingstabe ausgehen. Konische Steinchen in



die Enden der Messingarme eingelassen, bilden die Achsenlager. Die Achse des Spiegels läuft an beiden Enden in konische Spitzen aus. Der Durchmesser des unteren Teils der Spiegelachse ist zwischen Spiegel und konischer Spitze etwa 1.5 mm lang bis auf einen Durchmesser von 1.87 mm zylindrisch abgeschliffen. Um diesen Teil wird in einer Windung ein dünner Magnalium- oder Kupferfaden geschlungen, der an einer kleinen Metallfeder befestigt ist, welche an einem auf dem Stativkopfe festgeschraubten Messinghaken hängt. Das freie Ende des Fadens geht durch eine Öffnung des Achsenlagerträgers

zu einem Klemmstück, das in horizontaler und vertikaler Richtung durch Schrauben verstellt werden kann. Das Klemmstück wird an einem festen Stativ hinter dem Pfeiler befestigt. Durch die eine der erwähnten Schrauben kann dem Metallfaden jede beliebige Spannung erteilt werden.

Der Spiegel ist sehr leicht beweglich.

Bei den ersten Versuchen, die zu keinen günstigen Resultaten führten, war der Durchmesser der Spiegelachse 0.9 mm.

Für die Beobachtungen ist in der Mitte des Stativkopfes ein Haken befestigt, von dem aus über eine leichtbewegliche am Koinzidenztisch festgeschraubte Rolle ein Bindfaden geführt wird, dessen freies Ende ein Gewicht trägt. An dieses freie Ende werden Gewichte gehängt und die Drehungen des Spiegels mit dem Fernrohr des Koinzidenzapparates an einer vor diesem angebrachten horizontalen Skala abgelesen.

Die Reduktion der mit der Spiegelmethode erlangten Ergebnisse ist unter Zugrundelegung der folgenden Betrachtungen erfolgt. Vergl. F. R. HELMERT: „*Beiträge zur Theorie des Reversionspendels*. Potsdam. B. G. TEUBNER in Leipzig. 1898“, S. 68 f.

Die durch den Zug bewirkte horizontale Verschiebung ist:

$$\sigma = r \frac{\vartheta}{\varrho'}$$

wo  $r$  = Halbmesser der Spiegelachse vermehrt um den Halbmesser des umgelegten Drahtes;  $\vartheta$  = Drehungswinkel des Spiegels in Bogenminuten;  $\varrho'$  = Halbmesser des Kreises in Minuten.

Zu  $\sigma$  gehört ein Zug von  $H_{\text{Gramm}}$ . Die Ausbiegung für 1 g ist demnach:

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{r \vartheta}{H \varrho'}$$

Dem entspricht:

$$\delta l = P \frac{h}{l} \frac{1}{\varepsilon}$$

wo  $P$  = Gewicht des Pendels, für das das Mitschwingen zu bestimmen ist,  $h$  der Abstand Schneide — Schwerpunkt und  $l$  seine Länge ist.

Da nun:

$$\delta s = \frac{\pi^2}{2 s g} \delta l \text{ ist, } s = \text{Schwingszeit des Pendels, so wird:}$$

$$\delta s = \frac{\pi^2}{2 s g} P \frac{h}{l} \frac{1}{\varepsilon} = \frac{\pi^2}{2 s g} P \frac{h}{l} \frac{r \vartheta}{H \varrho'}; \text{ das ist } \gamma.$$

Bei dem zunächst untersuchten v. STERNECKSchen Pendelstativ bezogen sich die Messungen auf das Pendel Nr. 59, für das die folgenden Angaben gelten:

$$P = 1181 \text{ g; } h = 235.5 \text{ mm; } l = 256.7 \text{ mm.}$$

*I. Sternecksches Pendelstativ Nr. 17, auf dem Pfeiler festgeschraubt.*

Die Beobachtungen sind so ausgeführt, daß der Beobachter am Koinzidenztisch das Gewicht mit der Hand hob und dann wieder senkte. Bei jeder Stellung wurde die Skala abgelesen. Die Beobachtungen sind einzeln aufgeführt, um die Beständigkeit des Nullpunktes zu zeigen.

Zug- gewicht <i>H</i> g	Ablesung der Skala in <i>p</i>		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne   mit Gewicht	<i>p</i>	Bogen- minuten					
1003	4 <sup>p</sup> 18	6 <sup>p</sup> 90	2 <sup>p</sup> 72	2.03	62	61	± 0.5	59
	4.22	6.87	2.65	1.99	61			
	4.22	6.84	2.62	1.97	60			
	4.20	6.80	2.60	1.95	60			
	4.18	6.80	2.62	1.97	60			
1254.5	2.45	5.72	3.27	2.45	60	61	± 0.2	59
	2.44	5.72	3.28	2.46	61			
	2.40	5.70	3.30	2.48	61			
	2.40	5.70	3.30	2.48	61			
	2.38	5.66	3.28	2.46	61			
1003	1.90	4.58	2.68	2.01	62	60	± 0.5	59
	1.80	4.38	2.58	1.94	59			
	1.80	4.38	2.58	1.94	59			
	1.75	4.36	2.61	1.96	60			
	1.76	4.36	2.60	1.95	60			

*II. Sternecksches Pendelstativ Nr. 17, frei auf dem Pfeiler stehend.*

Altes Fußkreuz, in das die Spitzen der Fußschrauben durch das Festschrauben auf dem Pfeiler unregelmäßige Vertiefungen gedrückt haben.

Zug- gewicht <i>H</i> g	Ablesung der Skala in <i>p</i>		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne   mit Gewicht	<i>p</i>	Bogen- minuten					
254.5	13 <sup>p</sup> 87	12 <sup>p</sup> 98	0 <sup>p</sup> 89	0.694	84	84	± 0.6	78
	13.87	13.00	0.87	0.679	82			
	13.88	12.98	0.90	0.702	85			
	13.90	13.02	0.88	0.686	83			
	13.90	13.00	0.90	0.702	85			
504	14.74	12.92	1.82	1.412	84	83	± 0.8	78
	14.75	12.94	1.81	1.411	84			
	14.73	13.00	1.73	1.349	80			
	14.74	12.94	1.80	1.404	84			
	14.74	12.93	1.81	1.411	84			
104	13.09	12.73	0.36	0.270	80	83	± 0.7	78
	13.11	12.73	0.38	0.285	84			
	13.10	12.73	0.37	0.280	83			
	13.10	12.72	0.38	0.285	84			
	13.07	12.70	0.37	0.280	83			



Zug- gewicht <i>H</i> g	Ablesung der Skala in <i>p</i>		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne Gewicht	mit Gewicht	<i>p</i>	Bogen- minuten				
154.5	13 <sup>p</sup> 25	12 <sup>p</sup> 70	0 <sup>p</sup> 55	0.413	80	80	± 0.0	78
	13.23	12.68	0.55	0.413	80			
	13.23	12.68	0.55	0.413	80			
	13.23	12.68	0.55	0.413	80			
204	12.67	13.40	0.73	0.547	82	82	± 0.2	78
	12.67	13.40	0.73	0.547	82			
	12.67	13.40	0.73	0.547	82			
	12.65	13.37	0.72	0.540	81			
254.5	12.65	13.58	0.93	0.698	84	83	± 0.2	78
	12.64	13.56	0.92	0.690	83			
	12.64	13.56	0.92	0.690	83			
	12.64	13.56	0.92	0.690	83			
	12.63	13.54	0.91	0.683	83			

*III. Sternecksches Pendelstativ Nr. 17, frei auf dem Pfeiler stehend.*  
Auf einem neuen Fußkreuz.

Zug- gewicht <i>H</i> g	Ablesung der Skala in <i>p</i>		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne Gewicht	mit Gewicht	<i>p</i>	Bogen- minuten				
53	14 <sup>p</sup> 19	14 <sup>p</sup> 43	0 <sup>p</sup> 24	0.182	106	103	± 1.8	104
	14.23	14.46	0.23	0.175	102			
	14.29	14.53	0.24	0.182	106			
	14.32	14.54	0.22	0.167	97			
	14.38	14.62	0.24	0.182	106			
154.5	15.20	14.53	0.67	0.509	99	101	± 2.6	104
	15.25	14.63	0.62	0.471	91			
	15.28	14.60	0.68	0.517	100			
	15.29	14.64	0.65	0.494	96			
	15.35	14.64	0.71	0.540	105			
	15.36	14.64	0.72	0.547	106			
15.40	14.66	0.74	0.562	109				
254.5	15.63	14.45	1.18	0.897	108	107	± 0.2	104
	15.67	14.50	1.17	0.889	107			
	15.67	14.50	1.17	0.889	107			
	15.70	14.53	1.17	0.889	107			
	15.70	14.53	1.17	0.889	107			
104	12.62	13.08	0.46	0.350	104	104	± 0.0	104
	12.62	13.08	0.46	0.350	104			
	12.62	13.08	0.46	0.350	104			
	12.62	13.08	0.46	0.350	104			
104	12.47	12.92	0.45	0.342	101	102	± 1.2	104
	12.47	12.92	0.45	0.342	101			
	12.40	12.87	0.47	0.357	106			
	12.38	12.83	0.45	0.342	101			

Zug- gewicht $H$ g	Ableseung der Skala in $p$		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne Gewicht	mit Gewicht	$p$	Bogen- minuten				
204	12 <sup>p</sup> 32	13 <sup>p</sup> 27	0 <sup>p</sup> 95	0.722	108	105	$\pm 1.2$	104
	12.32	13.26	0.94	0.714	107			
	12.31	13.20	0.89	0.676	101			
	12.28	13.20	0.92	0.699	105			
	12.30	13.18	0.88	0.669	100			
	12.19	13.14	0.95	0.722	108			
	12.17	13.10	0.93	0.707	106			
254.5	12.13	13.29	1.16	0.882	107	107	$\pm 1.0$	104
	12.16	13.29	1.13	0.859	104			
	12.07	13.27	1.20	0.912	110			
	12.05	13.22	1.17	0.889	107			
	12.02	13.18	1.16	0.882	107			
304	12.05	13.39	1.34	1.018	103	105	$\pm 0.6$	104
	11.97	13.35	1.38	1.049	106			
	11.93	13.31	1.38	1.049	106			
	11.92	13.29	1.37	1.041	105			
	11.92	13.27	1.35	1.026	104			

IV. Sternecksches Pendelstativ auf einem starken Stativ aus Eichenholz.

Zug- gewicht $H$ g	Ableseung der Skala in $p$		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne Gewicht	mit Gewicht	$p$	Bogen- minuten				
204	12 <sup>p</sup> 97	14 <sup>p</sup> 43	1 <sup>p</sup> 46	1.080	162	162	$\pm 1.4$	162
	12.99	14.48	1.49	1.103	166			
	13.01	14.45	1.44	1.066	160			
	13.04	14.48	1.44	1.066	160			
254.5	13.11	14.92	1.81	1.339	162	162	$\pm 0.7$	162
	13.12	14.88	1.76	1.302	160			
	13.12	14.92	1.80	1.332	161			
	13.13	14.95	1.82	1.347	163			
304	13.17	15.34	2.17	1.606	162	160	$\pm 0.8$	162
	13.17	15.33	2.16	1.598	161			
	13.18	15.32	2.14	1.584	160			
	13.19	15.30	2.11	1.561	158			
	13.20	15.34	2.12	1.569	158			
354.5	13.16	15.72	2.56	1.894	164	163	$\pm 1.1$	162
	13.19	15.76	2.57	1.902	165			
	13.21	15.74	2.53	1.872	162			
	13.23	15.73	2.50	1.850	160			
404	13.23	15.97	2.74	2.028	154	160	$\pm 2.1$	162
	13.19	16.15	2.96	2.190	167			
	13.17	16.02	2.85	2.109	160			
	13.18	15.99	2.81	2.072	158			
	13.19	16.03	2.84	2.102	160			

Zug- gewicht $H$ g	Ablesung der Skala in $p$		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne Gewicht	mit Gewicht	$p$	Bogen- minuten				
154.5	13 <sup>p</sup> 06	14 <sup>p</sup> 10	1 <sup>p</sup> 04	0.770	149	153	$\pm 1.6$	162
	13.04	14.09	1.05	0.777	150			
	13.03	14.12	1.09	0.807	157			
	13.05	14.13	1.08	0.799	155			
	13.04	14.12	1.08	0.799	155			
104	13.03	13.75	0.72	0.533	158	158	$\pm 1.1$	162
	13.01	13.73	0.72	0.533	158			
	13.01	13.72	0.71	0.525	155			
	13.00	13.72	0.72	0.533	158			
	12.98	13.72	0.74	0.548	162			

V. *Sternecksches Pendelstativ auf dem Feldpfeiler.*

Neues Fußkreuz.

Zug- gewicht $H$ g	Ablesung der Skala in $p$		Ausschlag in		Mit- schwin- gen $\gamma$	Mittel- wert der $\gamma$	Mittlerer Fehler	$\gamma$ nach der Zwei- pendel- methode
	ohne Gewicht	mit Gewicht	$p$	Bogen- minuten				
204	14 <sup>p</sup> 17	15 <sup>p</sup> 05	0 <sup>p</sup> 88	0.651	98	99	$\pm 0.3$	104
	14.22	15.11	0.89	0.659	99			
	14.30	15.20	0.90	0.666	100			
	14.37	15.25	0.88	0.651	98			
	14.41	15.30	0.89	0.659	99			
	14.45	15.35	0.90	0.666	100			
	14.50	15.38	0.88	0.651	98			
	14.54	15.42	0.88	0.651	98			
	14.57	15.47	0.90	0.666	100			

Die obigen Beobachtungen zeigen, daß mit der Spiegelmethode gute Ergebnisse zu erzielen sind. Haupterfordernis dabei ist ein fester Stützpunkt für den Faden, der den Zug auf den Spiegel überträgt.

Die benutzte Millimeterskala war gut abzulesen. An dem letzten Teil der Beobachtungen beteiligte sich auch der dänische Oberleutnant Herr BUCHWALDT, der mir zu seiner Ausbildung in Pendelbeobachtungen für einige Zeit zugeteilt war.

Außer an dem STERNECKSchen Pendelstativ habe ich auch Versuche der Methode an dem Dreipendelstativ angestellt. Mit geringfügigen Abänderungen war der Spiegel auch an diesem anzubringen. Die Beobachtungen in den beiden Schwingungsrichtungen, die der Apparat zuläßt, konnten mit einer mäßigen Verschiebung des Koinzidenzapparates von dem gleichen Platze aus

gemacht werden. Während aber das Zuggewicht für die Bestimmung des Mitschwingens des mittleren Pendels vom Beobachter zu bewegen war, mußte bei der gleichen Bestimmung für die Querriechung eine Hilfe angestellt werden, die das Gewicht bediente. In Potsdam konnte das Klemmstück für den um die Spiegelachse geschlungenen Faden in allen Fällen an einer schweren Kiste befestigt werden, die einen sehr festen Stützpunkt bot, wie aus der Beständigkeit des Nullpunktes der Skala bei den oben mitgeteilten Beobachtungen für das Einpendelstativ hervorgeht. Für das Dreipendelstativ, bei dem das Mitschwingen in zwei zueinander senkrechten Richtungen zu bestimmen ist, mußte für die Feldstationen zur Befestigung des Fadens ein Stativ benutzt werden. Die schwere in Potsdam benutzte Kiste hatte auf den Feldstationen an den beiden in Frage kommenden Seiten des Stativs nicht Raum genug. Das benutzte Holzstativ erwies sich als zu schwach und nachgiebig, sodaß die Bestimmungen des Mitschwingens nach der Spiegelmethode überall verworfen werden mußten. Wollte man diese statische Methode auf Feldstationen benutzen, so müßte ein aus schweren T-Trägern konstruiertes Stativ beschafft werden und das würde das auf den Feldstationen mitzuführende Gewicht nicht unerheblich vermehren.

Viel Zeit würde bei dieser Methode aber auch dann nicht gegenüber der Zweipendelmethode erspart werden. Die Einrichtung für die Spiegelmethode ist umständlicher und die Beobachtungszeit nicht viel kürzer als bei der Zweipendelmethode; diese bietet in allen Fällen, wo zu große Bodenunruhe ihre Anwendung nicht verbietet, die sicherste Gewähr für gute, einwurfsfreie Bestimmungen. Bei größerer Bodenunruhe dürfte die Wippmethode allen anderen vorzuziehen sein.

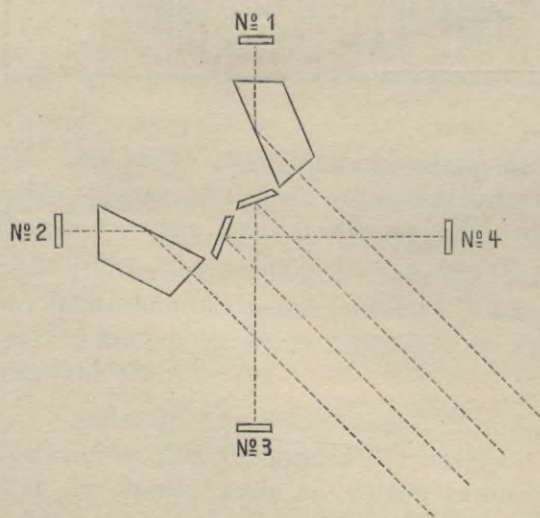
## VII. Versuche mit dem Viertelsekundenpendelapparat.

### § 1. Vorbemerkungen.

Seit einer Reihe von Jahren besitzt das *Geodätische Institut* einen Viertelsekundenpendelapparat, der im Auftrage des Herrn Geheimrat HELMERT von dem Mechaniker des Instituts angefertigt ist. Der Apparat ist für vier Pendel eingerichtet, deren Skalenbilder gleichzeitig im Koinzidenzfernrohr erscheinen und durch eine kleine Verrückung des Koinzidenzapparates nacheinander in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen sind.

Der Apparat hat die Form eines sich nach oben etwas verjüngenden Topfes von 205 mm Höhe und den äußeren Durchmessern 270 mm und 220 mm. Die inneren Durchmesser betragen 258 mm bzw. 208 mm. Der Apparat kann luftdicht geschlossen werden, sodaß die Pendel auch im luftverdünnten Raum beobachtet werden können. Das Gewicht des Apparates beträgt 30 kg.

Für die Koinzidenzbeobachtungen dient ein Fenster von  $50 \times 70$  mm und für die Ablesung des im Innern des Apparates angebrachten Manometers und des Thermometers ein Fenster von  $50 \times 80$  mm Fläche.



Anordnung von Prismen und Spiegeln in dem Viertelsekundenpendelapparat.

Die Pendellager sind so angeordnet, daß sich je zwei diametral gegenüberliegen. Von zwei einander gegenüberliegenden Pendeln wird das Skalenbild des einen durch ein Prisma und das des anderen durch einen Spiegel reflektiert, sodaß die Bilder nebeneinander im Koinzidenzfernrohr erscheinen. Die Anordnung der Spiegel und Prismen auf einer Brücke, die leicht in den Apparat eingesetzt und während der Reise aus ihm herausgenommen werden kann, hat Herr Professor E. BORRASS angegeben (vergl. Figur).

Die Pendel sind von der Form der üblichen Halbsekundenpendel. An ihren Schneidenköpfen sind kleine Ringe befestigt, an denen sie mittels eines Hakens leicht in den Apparat hineingehängt werden können.

Die Nivelliervorrichtung und die Anordnung von Amplitudenhebel und Schrauben für das Herablassen der Pendel auf die Hauptschneiden und ihr Hinaufheben auf die Hilfsschneiden ist in der gleichen Weise geschehen wie bei dem Halbsekundenpendelapparat der *Deutschen Südpolarexpedition*\*), der auch von FECHNER angefertigt wurde.

Nach den ersten Versuchsbeobachtungen in den Jahren 1903 und 1904 wurde der Apparat zunächst auf der Reise 1905 geprüft. Die Pendel hatten damals eine Koinzidenzdauer von etwa 10 Minuten und ihre Beobachtung war nicht sehr bequem. Die Ergebnisse der Beobachtungen auf dieser Reise waren unbefriedigend. Im Jahre 1907 hat der Mechaniker FECHNER die Pendel umgearbeitet. Sie haben jetzt eine Koinzidenzdauer von etwa einer Minute. Die Beobachtung ist jetzt leicht und mühelos.

Für die so umgearbeiteten Pendel habe ich nun zunächst die Temperatur- und Dichtekonstanten bestimmt und dann unterstützt von Herrn Dr. BONDORFF aus *Helsingfors* einige Versuchsbeobachtungen im Mittelkeller und in einer Beobachtungshütte auf der Meßbahn angestellt. Die Ergebnisse der Beobachtungen waren so günstig, daß ich Herrn Geheimrat HELMERT eine erneute Mitnahme der Pendel auf die Reise im Jahre 1908 vorschlagen konnte.

Die Pendel sind auf den ersten 9 Stationen beobachtet worden. In *Neuwerk* ließ sich der Apparat aus Platzmangel nicht aufstellen. Bis zur siebenten Station hielten sich die Pendel gut, ihre Ergebnisse sind auf den ersten 7 Stationen innerhalb der zu erwartenden mittleren Fehler in guter Übereinstimmung mit den Halbsekundenpendeln.

Im Jahre 1905 hatte ich den Apparat bis auf etwa 60 mm Druck auf allen Stationen ausgepumpt. Die Pendel schlangen jedes einzeln etwa 5 bis 6 Stunden. Bei der großen Koinzidenzdauer machte damals die Ermittlung der Anzahl der Koinzidenzen keine Schwierigkeit. Doch schienen die Pendel bei kleinen Amplituden von der Bodenunruhe sehr beeinflußt zu werden. Die ungünstigen Ergebnisse der Beobachtungen 1905 maß ich zum Teil dieser Bodenunruhe zu.

Im Jahre 1908 habe ich bei äußerem Luftdruck beobachtet und stets darauf gesehen, daß die Amplituden der kleinen Pendel nicht zu stark abnahmen. Ich begann bei etwa 30' bis 40' und hatte am Schlusse der Beobachtung noch 18' bis 25' Amplitude. Diese Art der Beobachtung hat sich vollkommen bewährt, sodaß trotz des ungünstigen Untergrundes der meisten Stationen genügende Ergebnisse erzielt wurden.

\*) „Schwerkraftsbestimmungen der Deutschen Südpolarexpedition 1901—1903 von ERICH VON DRYGALSKI und L. HAASEMANN.“ In: „Deutsche Südpolarexpedition 1901—1903. Bd. I. Geographie.“ S. 300 u. f.

## § 2. Bestimmung des Mitschwingens.

Die Bestimmung des Mitschwingens ließ sich auf ruhigen Stationen leicht ausführen. Es wurde in der gleichen Weise verfahren wie bei den Halbskundenpendeln. Die Größe des Mitschwingens war in beiden Richtungen innerhalb der zu erwartenden Beobachtungsfehler gleich, sodaß stets auf den Stationen das Mittel aus den Ergebnissen der beiden Richtungen genommen werden konnte.

Mit Richtung I ist in der folgenden Tabelle die Schwingungsrichtung der Pendel 1 und 3 und mit II die der Pendel 2 und 4 bezeichnet.

Nr.	Station	Richtung I					Richtung II				
		Mit- schwin- gen	[ $\sigma$ ]	Anzahl der Beob- ach- tungen	Stations- mittel	Mittlerer Fehler	Mit- schwin- gen	[ $\sigma$ ]	Anzahl der Beob- ach- tungen	Stations- mittel	Mittlerer Fehler
1	Potsdam . . . . . 1	14	21	6	14	$\pm 0.5$	15	124	7	16	$\pm 0.9$
	2	13	12	6			16	19	7		
1	Wangeroo . . . . . 1	26	36	4	26	$\pm 0.9$	31	76	6	26	$\pm 0.8$
	2	25	24	8			21	39	4		
2	Hohenkirchen . 1	8	11	5	9	$\pm 0.4$	8	8	8	8	$\pm 0.4$
	2	9	5	5							
3	Wilhelmshaven 1	10	3	7	10	$\pm 0.3$					
4	Ovelgönne . . . . . 1	19	8	2	21	$\pm 2.0$	23	96	6	20	$\pm 1.0$
	2	23	143	4			17	12	4		
5	Worpswede . . . . . 1	17	5	8	17	$\pm 0.3$					
6	Beverstedt . . . . . 1	24	6	8	24	$\pm 0.3$	27	4	5	24	$\pm 0.8$
	2						23	7	5		
	3						22	53	4		
	4						22	57	4		
7	Lehe . . . . . 1	19	7	5	19	$\pm 0.7$	16	28	6	18	$\pm 0.7$
	2						19	21	9		
8	Otterndorf . . . . . 1	26	22	7	26	$\pm 0.7$	31	11	8	28	$\pm 0.2$
	2						25	43	9		
9	Helgoland . . . . . 1						29	3	6		
	2						22	1	3		
	Potsdam . . . . . 1	14	12	5	14	$\pm 0.9$	16	33	8	16	$\pm 0.8$

Als mittlerer Fehler einer Stationsbestimmung kann  $\pm 0.8 \times 10^{-7}$  angenommen werden.

## § 3. Konstantenbestimmungen.

1. Bestimmung der Temperaturkonstanten. Diese wurde im Wärmekasten des Instituts im Ostkeller ausgeführt. Es genügt die Ergebnisse in der folgenden Tabelle mitzuteilen, aus der auch die Art der Beobachtung hervorgeht.

Temperaturkonstanten der Viertelsekundenpendel.

(Als genäherte Temperaturkonstante ist  $23^{\circ} \times 10^{-7}$  angenommen.)

Nr. 1.

$$\begin{aligned} x + 6.49 y + 22 &= v = + 4.38 \\ x + 6.75 y + 9 &= v = - 8.27 \\ x + 6.41 y + 14 &= v = - 3.72 \\ x + 37.94 y - 25 &= v = - 0.54 \\ x + 37.23 y - 22 &= v = + 1.51 \\ x + 38.05 y - 24 &= v = + 0.61 \\ x + 38.53 y - 27 &= v = - 2.01 \\ x + 8.32 y + 22 &= v = + 6.83 \\ x + 8.05 y + 14 &= v = - 1.53 \\ x + 6.67 y + 20 &= v = + 2.62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10x + 194.44 y + 3 &= 0 \\ 194.44x + 6065.15 y - 2998.66 &= 0 \\ 2284.40 y - 3056.99 &= 0 \\ y &= + 1.34 \pm 0.10 \\ x &= - 26.30 \pm 2.3 \end{aligned}$$

$$y' = (24^{\circ}3 \pm 0^{\circ}10) \times 10^{-7}.$$

Nr. 2.

$$\begin{aligned} x + 6.70 y + 28 &= v = + 8.69 \\ x + 6.84 y + 25 &= v = + 5.91 \\ x + 6.54 y + 29 &= v = + 9.45 \\ x + 37.88 y - 25 &= v = + 3.04 \\ x + 37.19 y - 32 &= v = - 5.00 \\ x + 38.04 y - 26 &= v = + 2.29 \\ x + 38.45 y - 29 &= v = - 0.09 \\ x + 8.55 y + 21 &= v = + 4.50 \\ x + 8.00 y + 2 &= v = - 15.33 \\ x + 6.60 y + 6 &= v = - 13.46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10x + 194.79 y - 1 &= 0 \\ 194.79x + 6058.54 y - 3457.76 &= 0 \\ 2264.18 y - 3438.28 &= 0 \\ y &= + 1.52 \pm 0.19 \\ x &= - 29.48 \pm 4.7 \end{aligned}$$

$$y' = (24^{\circ}5 \pm 0^{\circ}19) \times 10^{-7}.$$

Nr. 3.

$$\begin{aligned} x + 7.05 y + 2 &= v = - 5.28 \\ x + 6.99 y + 3 &= v = - 4.32 \\ x + 6.64 y + 1 &= v = - 6.52 \\ x + 37.97 y - 14 &= v = - 3.76 \\ x + 37.21 y - 8 &= v = + 1.81 \\ x + 38.04 y - 12 &= v = - 1.71 \\ x + 38.35 y - 7 &= v = + 3.45 \\ x + 8.77 y + 8 &= v = + 1.69 \\ x + 7.98 y + 13 &= v = + 6.24 \\ x + 6.60 y + 16 &= v = + 8.46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10x + 195.60 y + 1 &= 0 \\ 195.60x + 6070.87 y - 1232.98 &= 0 \\ 2244.87 y - 1272.10 &= 0 \\ y &= + 0.557 \pm 0.11 \\ x &= - 11.28 \pm 2.8 \end{aligned}$$

$$y' = (23^{\circ}6 \pm 0^{\circ}11) \times 10^{-7}.$$

Nr. 4.

$$\begin{aligned} x + 7.32 y + 16 &= v = - 3.87 \\ x + 7.17 y + 13 &= v = - 7.08 \\ x + 6.76 y + 28 &= v = + 7.35 \\ x + 38.05 y - 36 &= v = - 13.09 \\ x + 37.34 y - 29 &= v = - 7.08 \\ x + 38.06 y - 13 &= v = + 9.93 \\ x + 38.15 y - 10 &= v = + 13.05 \\ x + 38.28 y - 26 &= v = - 2.77 \\ x + 8.96 y + 21 &= v = + 3.41 \\ x + 7.90 y + 11 &= v = - 8.06 \\ x + 6.62 y + 29 &= v = + 8.16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 11x + 234.61 y + 4 &= 0 \\ 234.61x + 7548.62 y - 3457.57 &= 0 \\ 2544 y - 3542.88 &= 0 \\ y &= + 1.39 \pm 0.18 \\ x &= - 30.06 \pm 4.8 \end{aligned}$$

$$y' = (24^{\circ}4 \pm 0^{\circ}18) \times 10^{-7}.$$

2. Bestimmung der Dichtekonstanten. Bei diesen Beobachtungen hatte ich mich der Unterstützung des Herrn Dr. BONSDORFF aus *Helsingfors* zu erfreuen, der sich zu der Zeit zu seiner Instruktion im *Geodätischen Institute* aufhielt.

Auch hier geht aus der folgenden Tabelle die Art der Beobachtung zur Genüge hervor.



§ 4. Die Pendel-

Zusammenstellung der

Nr.	Station	Nummer der Beobachtung	Nr. 1		Nr. 2	
			Schwingungszeit	[v v]	Schwingungszeit	[v v]
	Potsdam .....	1	0.2508385	1	0.2509524	1
		2	0.2508377	0	0.2509516	8
		3	0.2508379	1	0.2509522	1
		4	0.2508379	13	0.2509510	18
		5	0.2508394	5	0.2509515	18
			0.2508383		0.2509517	
1	Wangeroog .....	1	0.2508227	61	0.2509364	18
		2	0.2508215	18	0.2509366	85
			0.2508221		0.2509365	
2	Hohenkirchen .....	1	0.2508242	25	0.2509370	13
		2	0.2508234	1	0.2509371	2
			0.2508238		0.2509371	
3	Wilhelmshaven .....	1	0.2508241	128	0.2509383	0
		2	0.2508230	2	0.2509361	512
			0.2508236		0.2509372	
4	Ovelgönne .....	1	0.2508269	2	0.2509404	72
5	Worpswede .....	1	0.2508278	1	0.2509422	8
		2	0.2508286	.	0.2509428	.
			0.2508282		0.2509425	
6	Beverstedt .....	1	0.2508263	8	0.2509397	5
		2	0.2508256	18	0.2509390	50
			0.2508260		0.2509394	
7	Lehe .....	1	0.2508240	8	0.2509375	32
8	Otterndorf .....	1	0.2508214	1	0.2509347	1
		2	0.2508209	85	0.2509353	512
			0.2508212		0.2509350	
9	Helgoland .....	1	0.2508161	32	0.2509312	2
		2	0.2508168	5	0.2509320	8
			0.2508165		0.2509316	
	Potsdam .....	1	0.2508309	41	0.2509502	13
		2	0.2508312	8	0.2509498	2
		3	0.2508303	.	0.2509503	.
			0.2508309		0.2509501	

\*) Bei dieser Beobachtung ist im Beobachtungsbuch „Wagenrollen“ angemerkt, bei der Fehlerberechnung ausgeschlossen werden.

beobachtungen.

Pendelbeobachtungen.

Nr. 3		Nr. 4		Mittleres Pendel		Anzahl der Beobachtungen
Schwingungszeit	[v v]	Schwingungszeit	[v v]	Schwingungszeit	[v v]	
0.2509697	1	0.2509899	1	0.2509376	0	2
0.2509692	13	0.2509884	1	0.2509367	0	2
0.2509697	1	0.2509888	1	0.2509371	0	2
0.2509696	85	0.2509889	113	0.2509368	0	2
0.2509695	18	0.2509882	18	0.2509371	1	2
0.2509695		0.2509888		0.2509371		
0.2509536	8	0.2509729	50	0.2509214	32	2
0.2509540	128	0.2509725	72	0.2509211	61	2
0.2509538		0.2509727		0.2509213		
0.2509550	0	0.2509729	85	0.2509223	5	2
0.2509548	1	0.2509727	8	0.2509220	1	2
0.2509549		0.2509728		0.2509222		
0.2509559	18	0.2509753	1	0.2509234	18	2
0.2509559	98	0.2509749	41	0.2509225	25	2
0.2509559		0.2509751		0.2509230		
0.2509636	0	0.2509752	128	0.2509265	25	2
0.2509592	13	0.2509783	8	0.2509269	5	2
0.2509599	.	0.2509789	.	0.2509276	.	1
0.2509594		0.2509785		0.2509271		
0.2509575	1	0.2509761	2	0.2509249	2	2
0.2509565	98	0.2509751	8	0.2509242	41	2
0.2509570		0.2509756		0.2509245		
0.2509549	8	0.2509731	2	0.2509224	2	2
0.2509521	1	0.2509224	18	0.2509077	1	2
0.2509514	13	0.2509222	61	0.2509074	98	2
0.2509518		0.2509223		0.2509076		
0.2509474	181	0.2509190	3698*)	0.2509034	313	2
0.2509483	50	0.2509217	113	0.2509047	32	2
0.2509479		0.2509204		0.2509041		
0.2509666	1	0.2509308	98	0.2509196	0	2
0.2509665	1	0.2509301	85	0.2509194	5	2
0.2509667	.	0.2509315	.	0.2509197	.	1
0.2509666		0.2509306		0.2509195		

durch das die Fälschung der Schwingungszeit bewirkt wurde. Die Beobachtung muß

Dichtekonstanten der

(Als genäherte Dichtekonstante

Nr. 1

$x + 0.929 y - 8 = v = -13.55 + 21.60 = + 0.05$
$x + 0.928 y - 5 = v = -13.55 + 21.58 = + 3.03$
$x + 0.929 y - 8 = v = -13.55 + 21.60 = + 0.05$
$x + 0.047 y + 15 = v = -13.55 + 1.09 = + 2.54$
$x + 0.048 y + 19 = v = -13.55 + 1.12 = + 6.57$
$x + 0.150 y + 5 = v = -13.55 + 3.49 = - 5.06$
$x + 0.293 y + 7 = v = -13.55 + 6.81 = + 0.26$
$x + 0.431 y = v = -13.55 + 10.02 = - 3.53$
$x + 0.567 y - 8 = v = -13.55 + 13.18 = - 8.37$
$x + 0.704 y - 1 = v = -13.55 + 16.37 = + 1.82$
$x + 0.826 y - 5 = v = -13.55 + 19.20 = + 0.65$
$x + 0.923 y - 2 = v = -13.55 + 21.46 = + 5.91$
$x + 0.929 y - 12 = v = -13.55 + 21.60 = - 3.95$

$13 x + 7.704 y - 3 = 0$

$7.704 x + 6.1001 y - 37.450 = 0$

$1.5345 y - 35.672 = 0$

$y = + 23.3 \pm 3.6$

$x = - 13.6 \pm 2.5$

$y' = (313^{\pm 3} \pm 3^{\pm 6}) \times 10^{-7}$

Nr. 3.

$x + 0.928 y - 9 = v = -11.63 + 19.58 = - 1.05$
$x + 0.928 y - 14 = v = -11.63 + 19.58 = - 6.05$
$x + 0.047 y + 13 = v = -11.63 + 0.99 = + 2.36$
$x + 0.048 y + 15 = v = -11.63 + 1.01 = + 4.38$
$x + 0.161 y + 8 = v = -11.63 + 3.40 = - 0.23$
$x + 0.300 y - 1 = v = -11.63 + 6.33 = - 6.30$
$x + 0.434 y + 2 = v = -11.63 + 9.16 = - 0.47$
$x + 0.571 y - 5 = v = -11.63 + 12.05 = - 4.58$
$x + 0.707 y - 5 = v = -11.63 + 14.92 = - 1.71$
$x + 0.826 y - 2 = v = -11.63 + 17.43 = + 3.80$
$x + 0.923 y = v = -11.63 + 19.48 = + 7.85$
$x + 0.928 y - 6 = v = -11.63 + 19.58 = + 1.95$

$12 x + 6.801 y - 4 = 0$

$6.801 x + 5.2524 y - 31.767 = 0$

$1.398 y - 29.500 = 0$

$y = + 21.1 \pm 3.8$

$x = - 11.6 \pm 2.5$

$y' = (311^{\pm 1} \pm 3^{\pm 8}) \times 10^{-7}$

Viertelsekundenpendel.

ist angenommen:  $290^{\circ} \times 10^{-7}$ .

Nr. 2.

$x + 0.928 y - 3 = v = -13.13 + 20.76 = + 4.63$
$x + 0.928 y - 18 = v = -13.13 + 20.76 = - 10.37$
$x + 0.929 y - 13 = v = -13.13 + 20.78 = - 5.35$
$x + 0.047 y + 15 = v = -13.13 + 1.05 = + 2.92$
$x + 0.048 y + 13 = v = -13.13 + 1.07 = + 0.94$
$x + 0.155 y + 14 = v = -13.13 + 3.47 = + 4.34$
$x + 0.296 y - 4 = v = -13.13 + 6.52 = - 10.61$
$x + 0.433 y = v = -13.13 + 9.69 = - 3.44$
$x + 0.570 y + 1 = v = -13.13 + 12.75 = + 0.62$
$x + 0.705 y - 2 = v = -13.13 + 15.77 = + 0.64$
$x + 0.826 y - 3 = v = -13.13 + 18.44 = + 2.35$
$x + 0.923 y + 1 = v = -13.13 + 20.65 = + 8.52$
$x + 0.929 y - 3 = v = -13.13 + 20.78 = + 4.65$

$13 x + 7.717 y - 2 = 0$

$7.717 x + 6.1081 y - 35.355 = 0$

$1.527 y - 34.168 = 0$

$y = + 22.4 \pm 4.9$

$x = - 13.1 \pm 3.4$

$y' = (312^{\pm 4} \pm 4^{\pm 9}) \times 10^{-7}$

Nr. 4.

$x + 0.928 y - 8 = v = -16.74 + 28.03 = + 3.29$
$x + 0.929 y - 7 = v = -16.74 + 28.06 = + 4.32$
$x + 0.047 y + 25 = v = -16.74 + 1.42 = + 9.68$
$x + 0.048 y + 15 = v = -16.74 + 1.45 = - 0.29$
$x + 0.167 y + 16 = v = -16.74 + 5.04 = + 4.30$
$x + 0.305 y = v = -16.74 + 9.21 = - 7.53$
$x + 0.438 y - 9 = v = -16.74 + 13.23 = - 12.51$
$x + 0.572 y - 10 = v = -16.74 + 17.27 = - 9.47$
$x + 0.708 y - 7 = v = -16.74 + 21.38 = - 2.36$
$x + 0.827 y - 3 = v = -16.74 + 24.98 = + 5.24$
$x + 0.922 y - 7 = v = -16.74 + 27.84 = + 4.10$
$x + 0.927 y - 10 = v = -16.74 + 28.00 = + 1.26$

$12 x + 6.818 y - 5 = 0$

$6.818 x + 5.2698 y - 42.279 = 0$

$1.306 y - 39.438 = 0$

$y = + 30.2 \pm 5.6$

$x = - 16.7 \pm 3.6$

$y' = (320^{\pm 2} \pm 5^{\pm 6}) \times 10^{-7}$

Aus den 42 Einzelwerten in 21 Gruppenmitteln erhält man als mittleren Fehler einer Pendelbeobachtung:

$$m_1 = \pm 4.5 \times 10^{-7}; \quad m_2 = \pm 8.1 \times 10^{-7};$$

$$m_3 = \pm 5.2 \times 10^{-7}; \quad m_4 = \pm 6.6 \times 10^{-7}.$$

Der mittlere Fehler des aus 4 Pendeln bestehenden mittleren Pendels ist:

$$m'_I = \pm 4.1 \times 10^{-7},$$

und der mittlere Fehler des aus zwei Reihen bestehenden Tagesmittels wird:

$$m_I = \pm 2.9 \times 10^{-7}.$$

Aus den mittleren Fehlern kann man schließen, daß sich die Pendel bewährten, soweit es ihre Veränderlichkeit auf den einzelnen Stationen betrifft. Bis zur Station Lehe inklusive ist auch ihre Länge seit dem Ausgange von Potsdam gut unveränderlich geblieben, wie das am besten die folgende Tabelle zeigt, die die Unterschiede der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel zur Anschauung bringt.

*Unterschiede der Einzelpendel gegen das mittlere Pendel.*

Nr.	Station	Mittleres Pendel weniger				Abweichungen der Einzeldifferenzen von ihrem Reihenmittel				Anzahl der Beobachtungen	
		Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4		
1	Potsdam . . . . .	1	+ 991	- 148	- 321	- 523	- 2	0	- 8	+ 10	2
		2	+ 990	- 149	- 325	- 517	- 1	+ 1	- 4	+ 4	2
		3	+ 992	- 151	- 326	- 517	- 3	+ 3	- 3	+ 4	2
		4	+ 989	- 142	- 328	- 521	0	- 6	- 1	+ 8	2
		5	+ 977	- 144	- 324	- 511	+ 12	- 4	- 5	- 2	2
1	Wangerooog ...	1	+ 987	- 150	- 322	- 515	+ 2	+ 2	- 7	+ 2	2
		2	+ 996	- 155	- 329	- 515	- 7	+ 7	0	+ 2	2
2	Hohenkirchen .	1	+ 981	- 147	- 327	- 506	+ 8	- 1	- 2	- 7	2
		2	+ 986	- 151	- 328	- 507	+ 3	+ 3	- 1	- 6	2
3	Wilhelmshaven	1	+ 993	- 149	- 325	- 519	- 4	+ 1	- 4	+ 6	2
		2	+ 995	- 136	- 334	- 524	- 6	- 12	+ 5	+ 11	2
4	Ovelgönne . . . . .		+ 996	- 139	- 371	- 487	- 7	- 9	+ 42	- 26	2
5	Worpswede . . . . .		+ 991	- 153	- 323	- 514	- 2	+ 5	- 6	+ 1	2
6	Beverstedt . . . . .	1	+ 986	- 148	- 326	- 512	+ 3	0	- 3	- 1	2
		2	+ 985	- 149	- 324	- 510	+ 4	+ 1	- 5	- 3	2
7	Lehe . . . . .		+ 984	- 151	- 325	- 507	+ 5	+ 3	- 4	- 6	2
8	Otterndorf . . . . .	1	+ 863	- 270	- 444	- 147					
		2	+ 866	- 278	- 439	- 147					
9	Helgoland . . . . .	1	+ 874	- 277	- 439	- 155					
		2	+ 879	- 273	- 436	- 170					
	Potsdam . . . . .	1	+ 887	- 306	- 470	- 112					
		2	+ 882	- 304	- 471	- 107					

Die Abweichungen der Einzeldifferenzen von ihrem Reihenmittel sind nur für die ersten 8 Stationen bis Lehe inklusive gebildet worden. Von Lehe bis Otterndorf hat Nr. 4 seine Schwingungszeit um eine ganz ungewöhn-

liche Größe geändert. Es wird sich bei diesem Pendel wohl die Schneide gelockert haben. Die Pendel Nr. 1, 2 und 3 haben sich auch in Otterndorf noch gut gehalten. In Helgoland zeigen auch diese Pendel eine zum Teil sehr starke Änderung gegen Potsdam I.

Die Summe der Quadrate der Abweichungen in obiger Tabelle ist für:

Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4
439	386	2060	1173.

Als mittleren Fehler des Mittels aus zwei Pendelbeobachtungen erhält man:

$$\pm \sqrt{\frac{4058}{3(16-1)}} = \pm 9.5 \times 10^{-7}$$

und als mittleren Fehler eines aus zwei Reihen zu je 4 Pendeln bestehenden Stationsmittels:

$$m_{II} = \pm 4.8 \times 10^{-7}.$$

Dieser Fehler  $m_{II}$  sollte kleiner sein als der aus der inneren Übereinstimmung abgeleitete  $m_I$ , weil in  $m_{II}$  die Veränderung auf der Station eliminiert ist. Die Veränderung von Station zu Station, die in  $m_{II}$  eingeht, ist aber so groß gewesen, daß dadurch der Unterschied erklärt wird. Wie man sieht, sind hier die beiden Pendel Nr. 3 und Nr. 4 auf Station Ovelgönne diejenigen, die die starken Abweichungen hervorgerufen haben.

Schließt man Ovelgönne wegen der beiden sehr stark abweichenden Pendel Nr. 3 und 4 aus, so ergeben sich die mittleren Fehler:

$$m'_{II} = 5.5 \times 10^{-7}, \quad m_{II} = 2.8 \times 10^{-7}.$$

Das sind Werte, die mit den auf S. 170 ermittelten  $m_I$  übereinstimmen.

Es mögen hier noch die Unterschiede der Schwingungszeiten der Pendel auf den Feldstationen gegen den Mittelwert von Potsdam I folgen. Es sollen dann noch die Schwerkraftswerte für die einzelnen Pendel und für das mittlere Pendel abgeleitet werden.

*Unterschiede Feldstation weniger Potsdam Ausgang.*

Nr.	Station	Unterschiede Feldstation weniger Potsdam I					$P_m$	Anzahl der beob. Reihen
		Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4			
1	Wangeroog . . . . .	— 162	— 152	— 157	— 161	— 158	4	
2	Hohenkirchen ..	— 145	— 146	— 146	— 160	— 149	4	
3	Wilhelmshaven .	— 147	— 145	— 136	— 137	— 141	4	
4	Ovelgönne . . . . .	— 114	— 113	— 59	— 136	— 106	2	
5	Worpswede . . . . .	— 101	— 92	— 101	— 103	— 99	3	
6	Beverstedt . . . . .	— 123	— 123	— 125	— 132	— 126	4	
7	Lehe . . . . .	— 143	— 142	— 146	— 157	— 147	2	
8	Otterndorf . . . . .	— 171	— 167	— 177	(— 665)	— 172	4	
9	Helgoland . . . . .	— 218	— 201	— 216	(— 671)	— 212	4	
10	Potsdam . . . . .	— 74	— 16	— 29	— 582	—		

Beobachtete „g“ der Feldstationen.

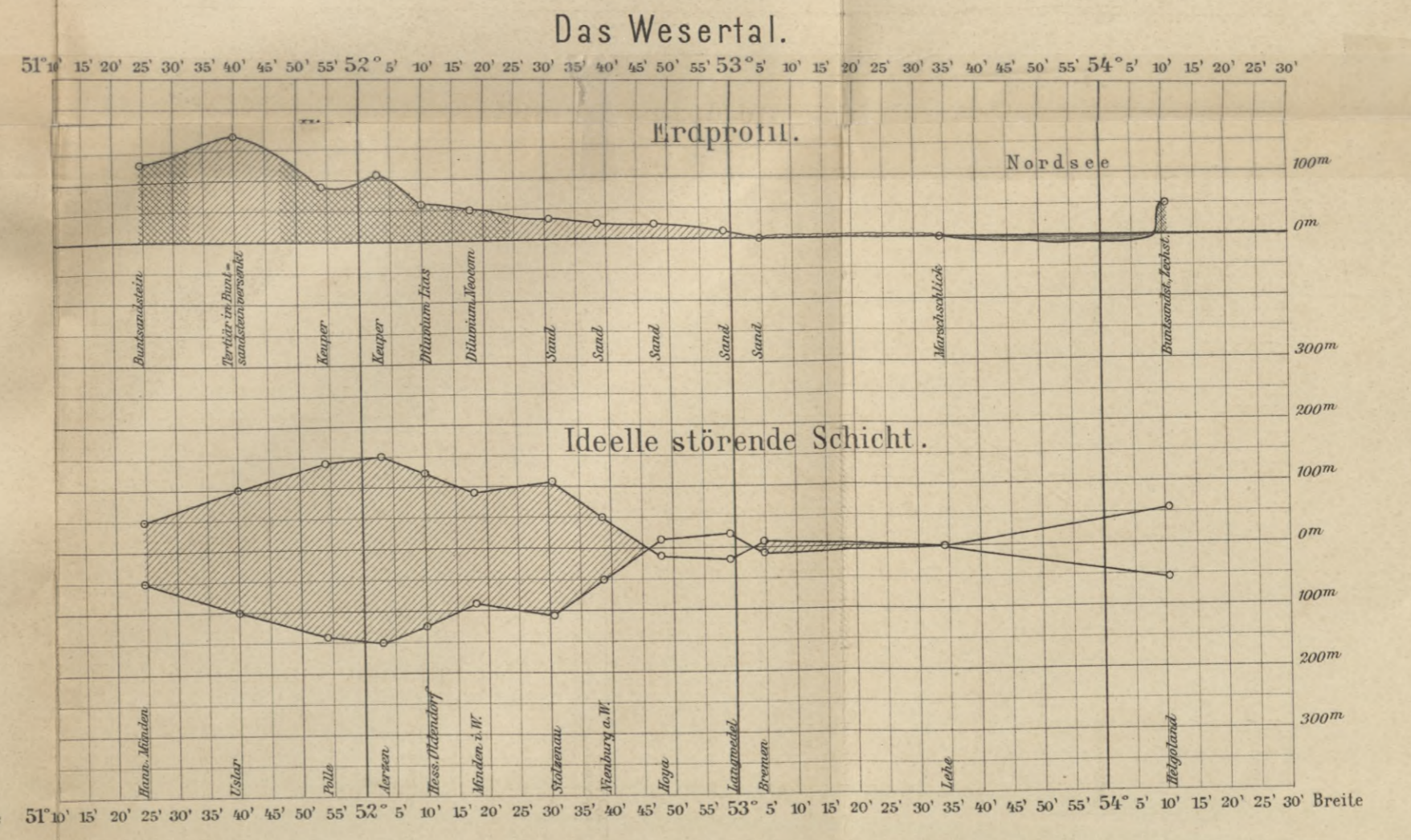
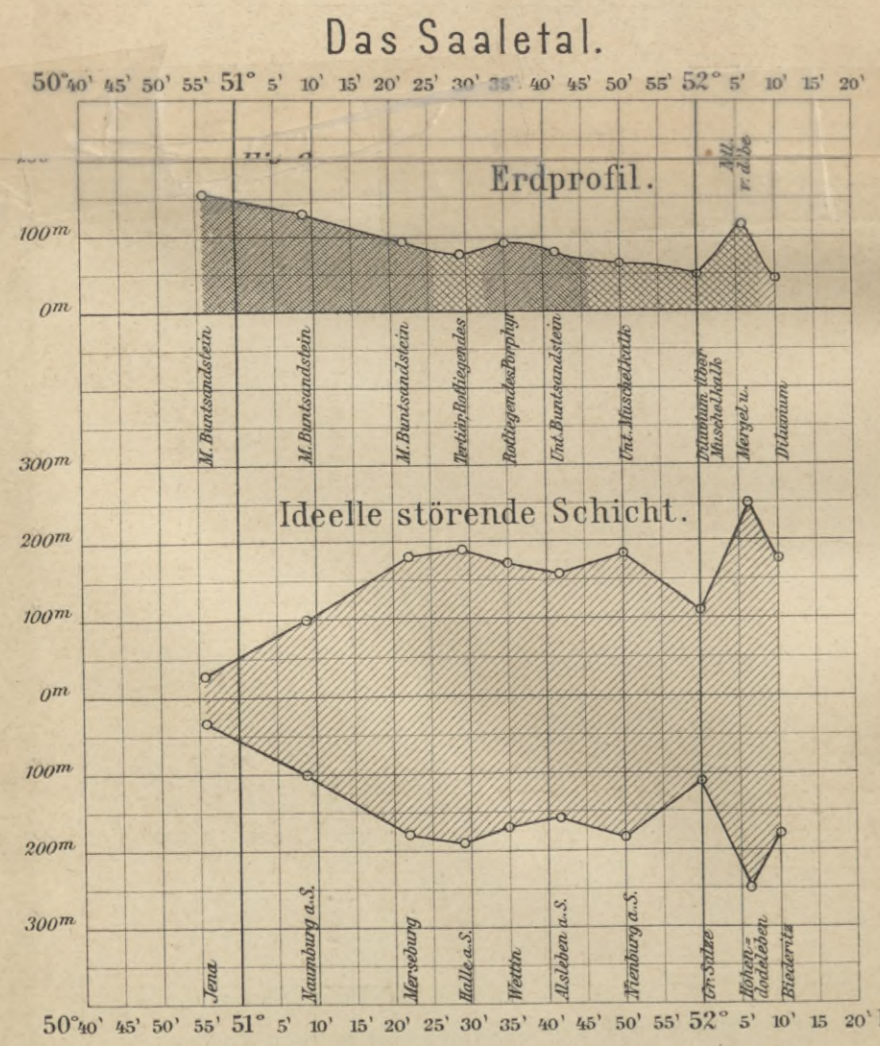
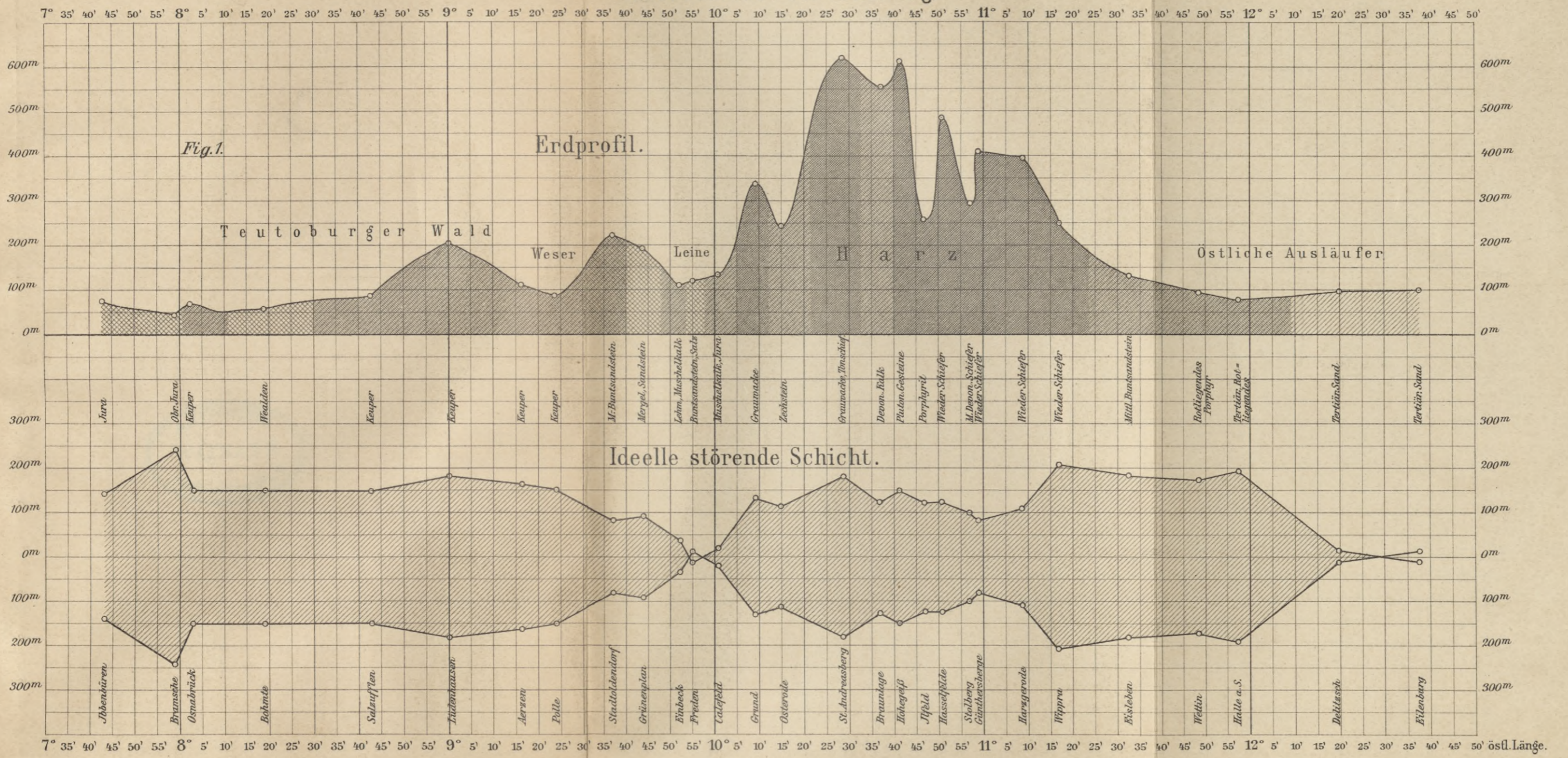
Nr.	Station	Beobachtete „g“ mit Potsdam I berechnet				g . P <sub>m</sub>	g <sub>1</sub> mit Halb- sekunden- pendel beobacht. 981. <sup>cm</sup>	g - g <sub>1</sub> cm 10 <sup>-3</sup>
		Nr. 1 981. <sup>cm</sup>	Nr. 2 981. <sup>cm</sup>	Nr. 3 981. <sup>cm</sup>	Nr. 4 981. <sup>cm</sup>			
1	Wangeroog ...	400	393	396	400	397	402	- 5
2	Hohenkirchen .	387	388	388	399	391	391	0
3	Wilhelmshaven	389	387	380	381	384	382	+ 2
4	Ovelgönne ....	363	362	(320)	(380)	356	359	- 3
5	Worpswede ...	353	346	353	354	352	349	+ 3
6	Beverstedt ....	370	370	372	377	372	363	+ 9
7	Lehe .....	386	385	388	396	389	380	+ 9
8	Otterndorf ....	407	404	412	—	408	402	+ 6
9	Helgoland .....	444	431	443	—	—	410	

Bis zu der Station *Otterndorf* halten sich die mit den Viertelsekundenpendeln beobachteten Werte in erträglichen Grenzen gegen die Normalwerte  $g_1$ . Der Wert von *Helgoland* fällt ganz aus der Reihe. Die so stark abweichenden Werte der beiden Pendel Nr. 3 und 4 in *Ovelgönne* sind jedenfalls zufälliger Natur, die sich vielleicht bei weiteren Beobachtungen auf der Station hätten aufklären lassen. Zu diesen war aber keine Zeit vorhanden, da die Halbskundenpendel bei den Beobachtungen vorgingen.

Als vorläufig abschließendes Urteil über die Verwendbarkeit der Viertelsekundenpendel kann gesagt werden, daß sich die Pendel auf ruhigen Stationen bei genügender sorgfältiger Behandlung bewährt haben. Für längere Landreisen über holprige Wege muß der Verpackung der Pendel besondere Aufmerksamkeit zugewandt werden. Das gleiche gilt für Seereisen. Denn es scheint die Veränderung der Pendel mehr auf äußere Ursachen als auf innere in der Konstruktion der Pendel liegende zurückzuführen zu sein.



# Der Harz mit seinen westlichen und östlichen Ausläufern. Von Ibbenbüren bis Eilenburg.













Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-306279

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300326