

Sitzungsberichte

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen
Abteilung

der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München

1929. Heft I

Januar-Märzsitzung

München 1929

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des Verlags R. Oldenbourg München

Über den Schwereunterschied München—Potsdam.

Von Karl Schütte.

Vorgelegt von S. Finsterwalder in der Sitzung am 9. Februar 1929.

§ 1. Einleitung.

Die Bestimmung des relativen Schwereunterschiedes München-Potsdam ist für die ganzen Bayerischen Pendelbeobachtungen von fundamentaler Bedeutung, da sich auf der Münchener Sternwarte der Referenzpunkt für die Pendelbeobachtungen der Bayerischen Erdmessungskommission befindet. Deshalb wurde schon zu Beginn dieser Beobachtungen, im Jahre 1898, von Herrn Anding der relative Schwereunterschied zwischen beiden Punkten sorgfältig bestimmt¹⁾. 1909 wurde der Anschluß von Zapp wiederholt²⁾, wobei aber die Pendel weniger konstant waren, und auch die Zahl der Beobachtungen in Potsdam wesentlich geringer war. Nachdem die Bayerische Kommission jetzt im Besitze von drei Nickelstahlpendeln (*A*), (*B*), (*C*) ist, und die Pendelbeobachtungen vor einem vorläufigen Abschluß stehen, schien es erwünscht, auch aus anderen Gründen, den relativen Schwereunterschied München-Potsdam nochmals zu bestimmen, um so das Netz der Bayerischen Schweremessungen sicher fundieren zu können. Über das Ergebnis dieser Neubestimmung, die 1928 von April 25 bis Juni 25 ausgeführt wurde, und den Vergleich mit den beiden andern, sei hier kurz berichtet³⁾.

¹⁾ Veröffentlichung der Bayer. Kommission für die Internationale Erdmessung. Astr. geod. Arb. Heft 6.

²⁾ Veröffentlicht: Astr. geod. Arb. Heft 10.

³⁾ Ausführlicher Bericht erscheint im Heft 11 der Astr. geod. Arb.

§ 2. Die Pendel und ihre Konstanten.

Zur Ausführung der Beobachtungen standen drei Nickelstahlpendel (*A*), (*B*), (*C*) zur Verfügung; (*A*), (*B*) sind aus den früheren Bronzependeln *A*, *B* entstanden, indem diese 1923 von der Firma Riefler Nickelstahlstangen erhielten. Das Pendel (*C*) ist von dem Obermechaniker der Kommission, Herrn Bode, im Frühjahr 1928 neu angefertigt; die Stange ist Nickelstahl, die Linse Phosphorbronzeguß. Das Pendel hat sich bei allen Beobachtungen 1928 vorzüglich bewährt. Die Konstanten aller drei Pendel sind im geodätischen Institut in Potsdam bestimmt. Ihre Werte sind aus der folgenden Übersicht zu entnehmen:

Pendel	Temperaturkonstante (Gesamtausgl.)	Dichte- konstante	Jahr	Beobachtet u. reduziert
(<i>A</i>)	8.33 ± 0.08	633.2 ± 3.6	1926	Schmehl ¹⁾
(<i>B</i>)	8.68 ± 0.07	619.9 ± 9.4	1926	Schmehl ¹⁾
(<i>C</i>)	7.58 ± 0.04	746.2 ± 1.3	1928	Schütte

Die Temperaturkonstanten sind in dem Wärmekasten des geodätischen Institutes bestimmt; ihre Werte sind auch für jeweils steigende und fallende Temperatur abgeleitet; sie liegen innerhalb der durch den m. F. der Gesamtausgleichung angegebenen Grenzen. Was die Bestimmung der Dichtekonstanten anbelangt, so sind die der beiden älteren Pendel (*A*), (*B*) im alten Dichtekasten ausgeführt, während für das neue Pendel (*C*) erstmalig der neue 4-Pendel-Vacuum-Apparat des geodätischen Instituts²⁾ benutzt werden durfte, weil der alte Dichtekasten trotz langer Versuche nicht mehr genügend dicht war.

Von seiten des Potsdamer geodätischen Instituts wurde ich bei der Ausführung der Beobachtungen in jeder Hinsicht unterstützt, wofür hier der beste Dank ausgesprochen sei.

¹⁾ Statt der endgültigen Werte für (*A*), (*B*), die hier mitgeteilt werden, sind für die Reduktion folgende Gebrauchswerte benutzt: (*A*): 8.34, 633.3; (*B*): 8.68, 619.7.

²⁾ E. Kohlschütter: Der neue Pendelapparat des Preußischen Geodätischen Instituts. Verh. d. 3. Tagung d. Balt. Geod. Kommission, Helsinki 1928, p. 91—96.

§ 3. Die Beobachtungen 1928.

Zur Ausführung der Anschlußbeobachtungen wurde, wie bei allen bisherigen Bayerischen Pendelmessungen, das Sterneck'sche Wandstativ benutzt; in Potsdam ist stets (1898, 1909, 1928) an der gleichen Stelle der Wand im NO-Keller des geodätischen Instituts beobachtet worden. In München dagegen sind die Beobachtungen zeitweise im Keller unter dem Refraktor der Sternwarte ausgeführt; hier liegt der eigentliche Referenzpunkt für die Bayerischen Schweremessungen. Heute wird immer im Vorraum zum Refraktor beobachtet; der neue Punkt liegt ca. 3.8 m höher und ca. $5\frac{1}{2}$ m westlicher wie der frühere. Hierauf ist später noch zurückzukommen (§ 5).

Die drei Pendel sind in stets wechselnder Reihenfolge beobachtet, also (A), (B), (C); (C), (B), (A), u. s. f.; und zwar je zehn Sätze in München I, Potsdam I, II und München II. Jede Reihe besteht also aus 30 Pendeln. Das Mitschwingen wurde in der üblichen Weise durch Wippen untersucht; ein solches konnte niemals beobachtet werden.

Die Gänge der Pendeluhr (in München *R* 25, in Potsdam *R* 96) wurden in München durch Vergleich mit der Hauptuhr *R* 33 der Sternwarte abgeleitet. Die Gänge von *R* 96 für die Potsdamer Beobachtungen stellte mir nach den Uhrvergleichen des geodätischen Instituts liebenswürdigerweise Herr Dr. Pavel zur Verfügung.

Die ausführliche Veröffentlichung der Beobachtungen erfolgt im Rahmen der Veröffentlichungen der Kommission in Heft 11 der „Astronomisch-geodätischen Arbeiten“; hier sollen nur kurz die Ergebnisse mitgeteilt werden.

München I: (Refraktorraum), 1928, April 25 bis Mai 4.

10 Sätze zu je drei Pendeln = 30 Pendel

	(A)	(B)	(C)	Gesamtmittel
Mittelwerte und m. F. des Mittels	0 ^h 5058152.6 ± 2.8	0 ^h 5057610.3 ± 2.1	0 ^h 5058434.6 ± 2.2	0 ^h 5058065.8 ± 1.7

Potsdam I: (NO-Keller des geodätischen Instituts, 1928,
Mai 10 bis Mai 16. 10 Sätze zu je drei Pendeln = 30 Pendel

	(A)	(B)	(C)	Gesamtmittel
Mittelwerte und m. F. des Mittels	0°5056751.3 ± 1.6	0°5056209.4 ± 1.1	0°5057029.0 ± 0.9	0°5056663.2 ± 0.5

Potsdam II: (NO-Keller des geodätischen Instituts), 1928,
Juni 7 bis Juni 15. 10 Sätze zu je drei Pendeln = 30 Pendel

	(A)	(B)	(C)	Gesamtmittel
Mittelwerte und m. F. des Mittels	0°5056746.1 ± 0.9	0°5056206.3 ± 0.8	0°5057023.6 ± 1.0	0°5056658.7 ± 0.5

München II: (Refraktorvorraum) 1928, Juni 20 bis Juni 25.
10 Sätze zu je drei Pendeln = 30 Pendel

	(A)	(B)	(C)	Gesamtmittel
Mittelwerte und m. F. des Mittels	0°5058144.9 ± 1.5	0°5057601.7 ± 0.9	0°5058427.3 ± 1.2	0°5058057.9 ± 0.8

Zu den Münchener Beobachtungen ist zu bemerken, daß für die erste Reihe die Bedingungen nicht günstig waren. Die Uhr hatte einen unregelmäßigen Gang, und die Temperaturschwankungen waren ziemlich groß. Die Messungen selbst erstrecken sich auf 10 Tage, und der zeitliche Abstand von Potsdam I ist ziemlich groß. Für die zweite Münchener Reihe liegen die Bedingungen wesentlich günstiger. Die Uhr war inzwischen von der Firma Riefler nachgesehen, und der Pendelkontakt umgearbeitet. Der Uhrgang war gleichmäßiger, die Temperaturschwankungen während des größten Teiles der Beobachtungen, die sich nur auf 6 Tage erstrecken, geringer. Auch ist der zeitliche Abstand von Potsdam II kleiner. Vor der Reihe München II wurden die Bolzen zur Befestigung des Wandstativs neu eingegipst. Der Anschluß München II verdient also größeres Gewicht, wie auch die m. F. bestätigen.

Für die beiden Potsdamer Reihen sind die Beobachtungsbedingungen als sehr günstig zu bezeichnen; die m. F. sind klein, die Reihen sind als gleichwertig anzusehen.

§ 4. Über die Konstanz der Pendel.

Es fällt sofort auf, daß sich die Schwingungsdauer bei allen drei Pendeln in dem vorliegenden Zeitintervall fortgesetzt verkürzt zu haben scheint. Wenn zwischen München I und München II ein solcher Unterschied zu Tage tritt, so ist das nicht verwunderlich, da ja inzwischen die Pendel mehrfach transportiert wurden. Aber auch zwischen Potsdam II und Potsdam I besteht ein solcher Unterschied. Hierzu ist zu bemerken, daß zwischen den beiden Potsdamer Reihen die Pendel (A), (B) vollständig unberührt aufbewahrt wurden, während gleichzeitig die Konstanten des neuen Pendels (C) bestimmt wurden.

Um die Veränderung der Pendel, die übrigens die allgemein vorkommenden Schwankungen nicht überschreitet, näher zu prüfen, betrachten wir die folgende Zusammenstellung:

Mitte der Reihe	(A)	(B)	(C)	Gesamtmittel
Potsdam I, 1928, Mai 13	0.5056751.3	0.5056209.4	0.5057029.0	0.5056663.2
Potsdam II, 1928, Juni 13	0.5056746.1	0.5056206.3	0.5057023.6	0.5056658.7
Veränderung in 31 Tag. II—I	—5.2	—3.1	—5.4	—4.5
München I, 1928, Apr. 30	0.5058152.6	0.5057610.3	0.5058434.6	0.5058065.8
München II, 1928, Juni 22	0.5058144.9	0.5057601.7	0.5058427.3	0.5058057.9
Veränderung in 53 Tag. II—I	—7.7	—8.6	—7.3	—7.9

Hieraus ergibt sich die folgende tägliche Abnahme der Schwingungsdauer jedes Pendels in Einheiten von $1^s \times 10^{-7}$:

Zeitintervall 1928	(A)	(B)	(C)	Mittel
Potsdam II—I, Mai 13 — Juni 13	—0.167	—0.100	—0.174	—0.147
München II—I, April 30 — Juni 22	—0.145	—0.162	—0.138	—0.148

Die Übereinstimmung dieser Werte ist so gut, daß man wohl berechtigt ist, anzunehmen, daß sich alle drei Pendel in der Zeit von April 30 bis Juni 22 gleichmäßig verkürzt haben.

Beschränken wir uns auf das Mittel aller drei Pendel, so sind hiernach an die Beobachtungen noch folgende Verbesserungen anzubringen:

München I — Potsdam I:

an Potsdam I die Verbesserung für 14 Tage $= +2^s.1 \times 10^{-7}$,

München II — Potsdam II:

an München II die Verbesserung für 9 Tage $= +1^s.3 \times 10^{-7}$, womit dann naturgemäß vollkommene Übereinstimmung beider Anschlüsse erzielt wird.

Es liegt ferner aus dem Jahre 1928 noch eine Reihe München III vor, nach Abschluß der Pendelbeobachtungen in der Pfalz, im Saargebiete und in Karlsruhe i. B. Es dürfte auch hier von Interesse sein, zu erfahren, daß zwischen München II und München III, d. h. in der Zeit von Juni 22 bis September 15, in 85 Tagen, die Pendel wesentlich konstanter waren. Die Unterschiede sind, im Sinne München III — II (Einheit $1^s \times 10^{-7}$):

(A)	(B)	(C)	Mittel
$-5^s.5$	$-3^s.6$	$-0^s.1$	$-3^s.0$

Im Mittel hat also die Schwingungsdauer weiter abgenommen, aber in Rücksicht auf die größere Zwischenzeit, in erheblich geringerem Maße. Für das neue Pendel (C) ist eine weitere Abnahme überhaupt nicht mehr erfolgt; es scheint von allen drei Pendeln am besten konstant zu sein.

§ 5. Der relative Schwereunterschied München-Potsdam.

An alle Potsdamer Beobachtungen ist zur Reduktion auf den dortigen Referenzpunkt der Unterschied Potsdam Pfeiler — Potsdam Keller $= +3^s.0 \times 10^{-7}$ anzubringen; es ergibt sich dann die folgende Übersicht:

	München I	Potsdam I	Potsdam II	München II
Mittel aller Pendel:	0 ^s 5058065.8	0 ^s 5056663.2	0 ^s 5056658.7	0 ^s 5058057.9
Potsd. Pfeiler-Keller	—	+ 3.0	+ 3.0	—
Verbesserung wegen	—	+ 2.1	—	+ 1.3
säkularer Veränderung } (§ 4)				
Verbessertes Mittel:	0 ^s 5058065.8	0 ^s 5056668.3	0 ^s 5056661.7	0 ^s 5058059.2

Aus beiden Reihen folgt nun übereinstimmend der relative Unterschied für 1928:

$$\text{München} - \text{Potsdam} = +1397.5 \times 10^{-7}$$

(Sieht man von der Verbesserung wegen säkularer Änderung der Pendel ab, so wird: München I — Potsdam I = $+1399.6 \times 10^{-7}$, München II — Potsdam II = $+1396.2 \times 10^{-7}$, der Unterschied beider I — II = $+3.4 \times 10^{-7}$ entspricht in Δg : I — II = -0.013 mm).

Die Umwandlung des Schwingungsdauerunterschiedes ΔS in Schwereunterschied Δg geschieht nach der Formel:

$$\Delta g = -2 \frac{g_0}{S_0} \Delta S + 3 \frac{g_0}{S_0^2} \Delta S^2 - 4 \frac{g_0}{S_0^3} \Delta S^3 + \dots$$

Die Reihe konvergiert so gut, daß das zweite Glied in unserm Falle ($\Delta S \sim 1400$) erst $+0.002$ mm ausmacht.

S_0 ist das Stationsmittel aller Pendel auf der Referenzstation (Potsdam), g_0 ist der Schwerewert dieser Station; als solchen nehmen wir an: $g_0 = 981.274 \pm 0.003 \text{ cm sec}^{-2}$ ¹⁾.

In die folgende Übersicht sind auch die beiden früheren Bestimmungen des Schwereunterschiedes München-Potsdam aufgenommen:

Jahr	Beobachter	Pendel	Zahl der Pendel in	S_0	$-2 \frac{g_0}{S_0}$	ΔS
			Mü Po			
1898	Anding ²⁾	89, 90, 91	36 24	0.5076294.5	-3.86610×10^3	$+1398.4 \times 10^{-7}$
			36 18	0.5076300.7	-3.86610×10^3	$+1400.3 \times 10^{-7}$
1909	Zapp ³⁾	89, A, B	24 12	0.5076443.1	-3.86599×10^3	$+1408.7 \times 10^{-7}$
			21 12			
1928	Schütte	(A), (B), (C)	30 30	0.5056663.2	-3.88111×10^3	$+1397.5 \times 10^{-7}$
			30 30	0.5056658.7	-3.88112×10^3	$+1397.5 \times 10^{-7}$

Damit wird nun:

¹⁾ F. Kühnen und Ph. Furtwängler: Bestimmung der absoluten Größe der Schwerkraft zu Potsdam mit Reversionspendeln. Berlin 1906.

²⁾ Astronomisch-geodätische Arbeiten 6.115

³⁾ Astronomisch-geodätische Arbeiten 10.30

	1898		1909	1928	
	I	II		I	II
$-2 \frac{g_0}{S_0} \Delta S =$	-5.406	-5.414	-5.446	-5.424	-5.424
2. Glied	+2	+2	+2	+2	+2
$\Delta g =$	-5.404	-5.412	-5.444	-5.422	-5.422
Mittel	-5.408 mm		-5.444 mm	-5.422 mm	
Gewicht	1		$\frac{1}{2}$	1	

Den Zapp'schen Beobachtungen von 1909 geben wir wegen ihrer geringen Zahl nur das halbe Gewicht. Die Pendel 90 und 91 sind auch nachträglich gestrichen, weil ihre Schwingungszeit sich offenbar geändert hat¹⁾.

Beim Vergleich der Anschlüsse ist zu berücksichtigen, daß 1909 und 1928 im Refraktorvorraum beobachtet wurde, während der erste Anschluß von 1898 sich auf den Refraktorkeller, also den eigentlichen Münchener Referenzpunkt, bezieht (vgl. § 1, § 3).

Die im Vorraum beobachteten Schwerewerte sind also zu vergrößern, wenn man sie auf den Keller reduzieren will; und zwar um einen Betrag von:

+ 0.012 mm nach der Freiluftreduktion
oder + 0.008 mm nach der Bouguerreduktion.

Welche von den beiden hier die richtige ist, ist schwer zu entscheiden. Der Beobachtungspunkt im Keller liegt zwar schon unter der Erdoberfläche, aber das Gelände ist in einiger Entfernung wieder abfällig. Jedenfalls ist die Reduktion von der Größenordnung + 0.010 mm; wird diese an die Werte von 1909 und 1928 angebracht, so erhält man für die Schwerebeschleunigung in München:

$$\begin{aligned}
 \text{München: } g_{1898} &= 980.7332 \text{ cm sec}^{-2} \\
 (H = 525.5 \text{ m}) \quad g_{1909} &= 980.7306 \text{ cm sec}^{-2} \\
 g_{1928} &= 980.7328 \text{ cm sec}^{-2} \pm 0.00035 \text{ für}
 \end{aligned}$$

¹⁾ Astronomisch-geodätische Arbeiten 10.30

den Anschluß II; im Mittel mit Rücksicht auf die Gewichte:

$$\underline{g = 980.7325 \text{ cm sec}^{-2} .}$$

Dieser Wert stimmt gut mit dem Ergebnis der Borrás'schen Netzausgleichung¹⁾ überein:

$g = 980.7330 \text{ cm sec}^{-2} \pm 0.00098 \text{ cm}$,
welcher Wert übrigens genau dem Mittel der beiden sicheren Anschlüsse von 1898 und 1928 gleich ist.

¹⁾ Verhandlungen der 16. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, 1909, III. 25.