



Relative Schweremessungen in der Schweiz.

Von

Johann Baptist Messerschmitt.

Die genaue Kenntnis der Aenderungen der Schwere auf der Erde ist nicht nur für die Geophysik, sondern auch für eine Anzahl anderer Disziplinen von Wichtigkeit. Für die Geodäsie liefert sie ein Element zur Bestimmung der Gestalt der Erde, sowohl für die allgemeine Aufgabe, als auch für die speciellere der genauen Höhenmessungen. Für die Geologie gibt sie Aufschluss über die Verteilung der Massen in den oberen Schichten der Erdkruste. Sie kommt ferner bei einer grossen Anzahl physikalischer Probleme und bei zahlreichen Aufgaben der Chemie in Betracht, so namentlich bei genauen Gasspannungsmessungen, ferner bei der Vergleichung absoluter barometrischer Bestimmungen an verschiedenen Orten, wie sie die Meteorologie bedarf, und bei noch vielen andern Untersuchungen.

Die Beschleunigung der Schwere wird bekanntlich aus Pendelmessungen abgeleitet. Die absolute Bestimmung der Länge des Sekundenpendels ist nun eine schwierige, zeitraubende und daher auch kostspielige Arbeit, welche deshalb nur an einer beschränkten Anzahl Orten ausgeführt werden kann. Einfacher werden die Messungen, wenn man nur die Veränderung der Schwere von Ort zu Ort kennen lernen will. Diese relativen Bestimmungen

mittelst sogenannter invariabler Pendel haben in der allerneuesten Zeit durch die Konstruktion passender und leicht transportabler Instrumente die Möglichkeit gegeben, Messungen in verhältnismässig kurzer Zeit so zahlreich auszuführen, wie sie für ein genaues Studium aller einschlägigen Fragen notwendig sind, und haben dadurch neue und unerwartete Resultate zu Tage gefördert.

In der Schweiz sind mit dem der geodätischen Kommission gehörigen Repsold'schen Reversionspendel schon Ende der sechziger und in den siebziger Jahren von Plantamour absolute Messungen ausgeführt worden, nämlich in Genf, Bern und auf den Feldstationen Weissenstein, Gäbris und Simplon; ferner von Scheiblauser in Neuenburg und auf dem Chaumont und endlich von mir in Zürich und auf den Stationen Tête-de-Rang, Napf, Gurnigel und Frienisberg.

Alle diese Beobachtungen zeigten neben ihrer Umständlichkeit die Schwierigkeit, solche Messungen im Felde mit der nötigen Schärfe auszuführen, weshalb auf meine Veranlassung hin ein Sterneck'scher Pendelapparat für relative Schwerebestimmungen*) angeschafft wurde. Derselbe besteht aus einem massiven Metallgestell mit zugehörigen invariablen Halbsekundenpendeln, deren Konstanten empirisch bestimmt wurden. Die Bestimmung der Schwingungsdauer geschieht mit einem Hilfsapparat, mittelst dessen durch Koincidenzbeobachtungen die eigentlichen Beobachtungsfehler fast verschwindend klein werden. Die Hauptfehlerquellen, welche noch zu befürchten sind, liegen im Gange der Vergleichsuhr, in den Temperaturbestimmungen der Pendel und in dem auch bei diesem Apparat unter Umständen auftretenden Mitschwingen des Stativs. Selbstverständlich werden bei den Beobachtungen alle nötigen Vorsichtsmassregeln zur Sicherung der Messungen getroffen. Die Uhrgänge werden aus direkten Zeitbestimmungen ermittelt. Die Aufstellung des Instrumentes geschieht auf einem aus massiven Steinblöcken bestehenden transportablen Steinpfeiler, dessen Gewicht gegen 7 Zentner beträgt. Das Mitschwingen des Pfeilers wird in neuester Zeit nach einem einfachen Verfahren ermittelt u. s. w.

*) Die Beschreibung des Apparates siehe: v. Sterneck, der neue Pendelapparat. *Mitteil. des k. und k. mil.-geogr. Inst. in Wien.* Bd. VII. 1887.

Die Beobachtungen werden jeweilen so ausgeführt, dass vor Beginn der Feldbeobachtungen auf einer Vergleichsstation (in der Schweiz die Sternwarte in Zürich) die Schwingungsdauer der Pendel bestimmt wird. Dann lässt man die gleichen Pendel an verschiedenen anderen Orten schwingen und zum Schluss kontrolliert man die Schwingungsdauer der Pendel an der Vergleichsstation, um etwaige Aenderungen in den Pendellängen berücksichtigen zu können. Alle diese Beobachtungen, in der gleichen Weise reduziert, geben den Unterschied der Schwere zwischen der Vergleichsstation und den Feldstationen. Es wird hiebei nur von der Relation Gebrauch gemacht, dass die Schwere zweier Orte sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungsdauer der gleichen Pendel verhält.

Die in der unten folgenden Zusammenstellung gegebenen Werte sind alle auf diesem Wege von mir bestimmt worden, und ich habe bei der Berechnung die Beschleunigung der Schwere von Zürich $g = 9,80688 m$ zu Grunde gelegt, welcher Wert aus den in Wien und Zürich angestellten Messungen folgte, um sie direkt mit den von Herrn von Sterneck in Oesterreich so zahlreich ausgeführten vergleichbar zu machen. Es ist dabei von der absolut bestimmten Länge des Sekundenpendels durch v. Oppolzer ausgegangen worden. Meine absoluten Messungen ergaben $g = 9,80675 m$. Eine Aenderung dieser Ausgangszahl fällt übrigens bei den Vergleichen heraus, da sich dadurch alle abgeleiteten Werte um den gleichen Betrag ändern.

Helmert¹⁾ hat aus einer grossen Anzahl Pendelmessungen einen theoretischen Wert für die Schwere abgeleitet:

$$\gamma = 9,7800 (1 + 0,005310 \sin^2 \varphi) \left(1 - \frac{2H}{R}\right)$$

worin φ die geographische Breite, H die Meereshöhe und R einen mittleren Erdradius bedeutet. Die Tabelle unten gibt die Unterschiede zwischen den beobachteten g und den berechneten Werten $g - \gamma$. Weiterhin bedeutet in derselben λ die Länge östlich von Greenwich.

¹⁾ Helmert, die math. und phys. Theorien der höhern Geodäsie. Leipzig 1884. Bd. II.

Verzeichnis der mit dem Sterneck'schen Pendelapparate ausgeführten Schweremessungen.

Station	φ	λ	H	g	$g - \gamma$	$g_0 - \gamma_0$
			"	"	"	"
Genf	46°12'	6° 9'	405	9,80 603	+ 0,000 22	- 0,000 18
Lausanne	46 31	6 38	530	618	+ 46	— 1
Naye	46 26	7 0	1987	238	+ 123	— 66
Freiburg	46 48	7 8	630	603	+ 37	— 19
Neuenburg	47 0	6 57	487	669	+ 40	— 11
Bern	46 57	7 26	572	610	+ 11	— 45
Escholzmatt	46 55	7 56	351	524	+ 19	— 65
Burgdorf	47 4	7 37	561	620	+ 12	— 46
Zofingen	47 17	7 57	428	663	— 7	— 47
Wiesenberg	47 24	7 53	1000	640	+ 134	+ 32
Waldenburg	47 23	7 47	541	678	+ 35	— 20
Liestal	47 29	7 45	331	786	+ 68	+ 33
Basel	47 34	7 35	267	801	+ 55	+ 31
Rheinfelden	47 33	7 47	285	784	+ 45	+ 17
Egg bei Säckingen	47 35	7 58	713	624	+ 15	— 62
Laufenburg	47 34	8 4	319	740	+ 10	— 24
Achenberg	47 35	8 16	508	759	+ 84	+ 28
Eglisau	47 34	8 31	380	729	+ 16	— 17
Schaffhausen	47 42	8 38	435	747	+ 40	— 7
Singen	47 46	8 50	437	703	— 8	— 47
Hohentwiel	47 46	8 49	686	690	+ 54	+ 0
Konstanz	47 40	9 11	406	717	+ 4	— 35
Hersberg	47 40	9 21	450	707	+ 8	— 33
Bregenz	47 29	9 41	402	670	— 37	— 63
Dornbirn	47 25	9 44	431	645	— 38	— 75
Götzis	47 20	9 38	428	682	+ 6	— 29
Feldkirch	47 15	9 36	459	640	— 19	— 59
St. Gallen	47 26	9 23	668	606	— 2	— 67
Nollen	47 30	9 7	732	638	+ 41	— 26
Hörnli	47 22	8 57	1133	432	— 30	— 134
Lichtensteig	47 19	9 5	619	619	+ 3	— 55
Uznach	47 13	8 59	420	630	— 39	— 75
Zürich	47 23	8 33	466	688	+ 18	— 27
Effretikon	47 26	8 41	510	675	+ 18	— 31
Lägern	47 29	8 24	852	589	+ 29	— 52
Wettingen	47 27	8 19	380	675	— 27	— 59
Homberg	47 17	8 11	771	608	+ 50	— 25
Recketschwand	47 6	8 10	833	545	+ 22	— 58
Mettnenstetten	47 15	8 28	460	648	— 9	— 56
Luzern	47 3	8 18	457	635	— 5	— 46
Dreilinden	47 4	8 19	525	619	— 2	— 50
Sarnen	46 54	8 15	476	630	+ 9	— 33
Hammetschwand	47 0	8 24	1128	440	+ 9	— 86
Seewen	47 2	8 38	461	608	— 30	— 72
Amsteg	46 46	8 40	524	475	— 119	— 125
Göschenen	46 40	8 35	1097	371	— 35	— 118
Andermatt	46 39	8 36	1437	352	+ 55	— 86
Biasca	46 21	8 58	295	537	— 91	— 75
Giubiasco	46 10	9 0	233	617	— 14	— 30
Lugano	46 0	8 57	276	613	+ 10	— 14
Generoso	45 56	9 1	1612	322	+ 137	— 5
Capolago	45 54	8 59	278	593	+ 5	— 7

Für die weitere Verwertung des so gewonnenen Materials müssen alle Werte auf die gleiche Fläche (Meereshöhe) reduziert werden. Hierbei sind die unterhalb der Station und die etwa in der Nähe befindlichen überragenden Terrainmassen zu berücksichtigen, wobei das Verhältnis der Dichte des sie bildenden Gesteins zur Dichte der ganzen Erde in Frage kommt. Obwohl man dieses Verhältnis nur angenähert kennt, entstehen dadurch keine für das allgemeine Resultat störenden Unzulänglichkeiten, indem plausible Aenderungen in der angenommenen Dichte nur wenige hundertstel Millimeter im Resultate ändern.

Die Differenzen zwischen den so auf Meereshöhe reduzierten Beobachtungen g_0 und den theoretischen Werten γ_0 sind in der letzten Reihe angegeben. Man kann deren Unsicherheit auf $\pm 0,00015 m$ schätzen, welcher Betrag bei den vielen in Betracht kommenden Fehlerquellen genügend klein ist, um aus den gefundenen Unterschieden weitere Schlüsse zu gestatten. Ausserdem bürgt für die Güte der Zahlen die gleichmässige Veränderung, welche die Schwere von Ort zu Ort zeigt. Auch sind mehrere Kontrollbeobachtungen ausgeführt worden, so in Genf, in Basel, in Luzern und Feldkirch. An letzterem Ort fand Herr von Sterneck einen um nur $0,00007 m$ grösseren Wert als ich.

Die Stationen Götzis, Dornbirn und Bregenz sind der Vollständigkeit halber den Beobachtungen Sternecks entnommen worden. Der von mir in Götzis erhaltene Wert $g_0 - \gamma_0 = -0,00113 m$ ist durch das Mitschwingen des benützten Stativs, eines aus unbehauenen Steinen mit Gips provisorisch zusammengebauten Pfeilers, gestört, weshalb oben das gleichzeitig von Herrn von Sterneck erhaltene Ergebnis angeführt worden ist. Es war dies auch die Veranlassung, welche mich auf das Mitschwingen des Stativs aufmerksam machte, wodurch eine Verlangsamung der Schwingungen eintritt, und zu dessen Ermittlung seither Helmert und Schumann eine einfache Methode angegeben haben. Selbst gut gemauerte, freistehende Backsteinpfeiler zeigen oft recht starkes Mitschwingen, trotz der kleinen Ausschläge ($10' - 15'$), welche die Halbskundenpendel machen. Bei den transportablen Steinpfeilern, welche aus 4 Steinblöcken bestehen, die jeweilen zusammengegipst werden, erhält man einen ganz geringen Einfluss, wenn man die Pendel nicht parallel zu den Seitenflächen, sondern in der Diagonale schwingen

lässt. Beobachtungen auf Holzstativen, wie sie neuerdings noch ausgeführt worden sind, verdienen jedenfalls gar kein Vertrauen.

Die hier mitgeteilten Pendelmessungen liefern die folgenden Ergebnisse. In dem ebenen Teile der Westschweiz, bei Genf, Lausanne, Neuenburg und Freiburg ist die Schwere um wenigens geringer ($g_0 - \gamma_0 = -0,10$ bis $-0,20$ *mm*) als die normale gefunden worden, im Gebirge z. B. auf Naye dagegen bedeutend kleiner. Weiter östlich, der Hochebene folgend, bei Bern, Burgdorf bis Zürich und Effretikon ist die Differenz $-0,30$ bis $-0,50$ *mm*. Dem Rhein entlang von Feldkirch, im Anschluss an die Messungen des Herrn von Sterneck in Tirol, bis Bregenz findet sich ein noch grösserer Unterschied von $-0,60$ bis $-0,70$ *mm*, am Bodensee bis Singen etwa $-0,40$ bis $-0,50$ *mm*. Dann wird die Differenz rheinabwärts kleiner, von Schaffhausen bis Laufenburg $-0,10$ bis $-0,30$ *mm* und geht in der Gegend von Säckingen in einen positiven Wert über. In Rheinfelden, Basel, Liestal, auf dem Wiesenberg und auf dem Achenberg ist ein positiver Unterschied ($+0,15$ bis $+0,30$ *mm*) gefunden worden, während in Waldenburg, etwa 11 *km* südlich von Liestal und in Zofingen, etwa 15 *km* südlich von Wiesenberg, sich ein negativer ergab.

Auf dem östlichen Jura (Lägern) und bei Wettingen ist die Differenz $g_0 - \gamma_0$ gleich $-0,50$ bis $-0,60$ *mm*. Weiter südlich im Emmenthal in der Gegend des Hallwilersees, bei Luzern, Sarnen und Seewen steigt der Unterschied auf $-0,70$ *mm*, noch südlicher, dem Gotthard hinauf, wächst er noch mehr und scheint in der Gegend von Amsteg ($-1,25$ *mm*) ein Maximum zu erreichen. Südlicher davon in Göschenen, Audermatt und Biasca werden die Differenzen wieder kleiner ($-1,10$ bis $-0,80$ *mm*), noch südlicher am Einfluss des Tessin in den Langensee und am Luganersee fallen sie auf $-0,15$ bis $-0,05$ *mm*. Es ist dadurch die gleiche Zunahme in den Differenzen gegen das Gebirg hin und die gleiche Abnahme gegen Süden hin in diesem Teile der Alpen gefunden worden, wie sie Herr von Sterneck in Tirol erhalten hat, welcher in den südlichen Ausläufern in der Gegend von Mori, Riva bis gegen Trient positive Werte von $g_0 - \gamma_0$ fand, die er mit dem dort befindlichen Trümmerfelde, genannt Salvini di San Marco, in Beziehung setzen zu müssen glaubt.

In der Ostschweiz, bei St. Gallen, Lichtensteig u. s. w. sind entsprechend den Zahlen am Bodensee, im Rheinthal und bei Zürich negative Abweichungen im Betrage von $-0,50$ bis $-1,30$ mm gefunden worden.

Einen auffallenden Unterschied bilden die Messungen auf dem Hohentwiel, für welche ein kleiner positiver Wert erhalten wurde, gegenüber denjenigen in Singen, für welche sich ein negativer ergab. Man kann diese Anomalie auf die dichten vulkanischen Phonolithmassen jenes Berges zurückführen.

Ein grösserer Sprung findet sich auch zwischen den Messungen im Rheinthal bei Laufenburg bis Basel einerseits und an dem im Schwarzwalde gelegenen Punkte Egg bei Säckingen andererseits. Eine ähnlich starke Differenz findet Herr von Sterneck südlich von Lemberg, für welche Gegend eine grössere Anzahl Beobachtungen, einander kontrollierend, das Resultat sichern. Da hier nur auf einem Punkte im Schwarzwalde gemessen wurde, ist eine Kontrolle vorerst noch wünschenswert, da ja verborgen gebliebene Fehler nicht ausgeschlossen sind. So würde ein Mitschwingen des Stativs in Egg die Beobachtungen im gleichen Sinne beeinflussen, wie es die Differenz angibt. Es sind auch von badischer Seite in dieser Gegend Messungen in Aussicht genommen. Für Basel mit seinen mehrfachen Kontrollen ist der positive Unterschied als gesichert anzusehen. Die Richtigkeit der Beobachtungen in Egg vorausgesetzt, lassen sie auf einen erheblichen Massendefekt unterhalb des Schwarzwaldes schliessen.

Geologisch kann man sich nämlich die negativen Differenzen als Massendefekte, die positiven als Massenüberschuss vorstellen. Hiebei dürfen die störenden Schichten in nicht sehr grossen Tiefen gedacht werden, da sich sonst die starken Aenderungen auf verhältnismässig kurzen Entfernungen nicht erklären lassen. Um eine Vorstellung über die allfällig anzunehmenden Störungsmassen zu bekommen, kann man sie sich auf Meereshöhe kondensiert denken, wobei ihnen eine Schichtendicke zuzuschreiben wäre, welche in Metern das zehnfache der gefundenen Differenzen (in hundertstel Millimetern ausgedrückt) beträgt, entsprechend einer Gesteinsdichte von 2,5. Um z. B. den positiven Unterschied in der Gegend von Basel zu deuten, müsste man sich zur Erklärung dort eine Gesteins-Schichte von etwa 250 m bis 300 m Dicke, bei einer

Dichte von 2,5 in Meereshöhe hinzugefügt denken. In der That befindet sich hier eine grosse Verwerfung, welche westlich vom Werrathal an sich gegen Basel erstreckt. Sie würde ihren Einfluss noch bis gegen Liestal und dem Wiesenberg ausüben.

Alle anderen Orte erscheinen unterirdisch kompensiert und zwar nahezu entsprechend den sichtbaren Gebirgsmassen, deshalb sind im Gebirge bedeutend grössere negative Unterschiede, wie in den mehr flachen Gegenden gefunden worden. Zur Erklärung dieser Kompensation hat man anzunehmen, dass weniger dichtes Gestein in grösseren Tiefen als anderweitig vorkommen müsse. Die gleiche Erscheinung wie die schweizerischen und österreichischen Alpen ¹⁾ zeigen auch der Himalaya, der Kaukasus, die Cordillieren u. s. w., indem nach Abzug der Gebirgsmassen eine kleinere als die theoretische Schwere gefunden wird, was also auf einen unterirdischen Massendefekt in den oberen Schichten der Erdrinde hinweist.

Entgegengesetzt hiezu wird auf den von den Kontinenten entfernten Inseln eine grössere als die theoretische Schwere gefunden. Der Ueberschuss der Schwerkraft kann hier nur darauf zurückgeführt werden, dass in der Erdrinde bei den Inseln im Vergleich zu den kontinentalen Gegenden eine Massenanhäufung statt hat. Inwieweit dieser Ueberschuss auf Rechnung der Inselpfeiler zu setzen ist, oder ob unter dem Meeresboden eine allgemeine Massenanhäufung anzunehmen ist, welcher ein Massendefekt unter den Kontinenten entspräche, lässt sich erst durch Schweremessungen auf dem Meere entscheiden. Es sind deshalb auch bereits Untersuchungen im Gange, um hiezu geeignete Apparate zu konstruieren, von welchen zu wünschen ist, dass sie von Erfolg begleitet sein mögen.

Zürich 1895.

¹⁾ Vergl. die verschiedenen Publikationen des Herrn von Sterneck in den Mitteilungen des k. und k. mil.-geogr. Institutes in Wien, ferner: Helmert, die Schwerkraft im Hochgebirg, Veröff. d. k. pr. geod. Inst. Berlin 1890; Rel. Schwerbestimmungen, ausgeführt durch die k. und k. Kriegs-Marine, Wien 1895, und andere.