

### 3. Die Fortschritte der Schweremessung in Oesterreich.

Von Dr. Karl Haas.

Die ersten genaueren Bestimmungen der Erdschwere in Oesterreich wurden an der alten Universitäts-Sternwarte zu Wien (Innere Stadt) im Jahre 1834 durch die Assistenten C. L. von Littrow und Dr. J. Böhm mit Hilfe von zwei unveränderlichen Reversionspendeln vorgenommen.<sup>1)</sup> Eines dieser Pendel, das bereits an verschiedenen Orten zu Messungen der Erdschwere gedient hatte, war von der königlichen Akademie der Wissenschaften zu London der Wiener Sternwarte zugeschickt worden; das andere Pendel war im Auftrage dieser Sternwarte nach dem Muster des Londoner Pendels während des Aufenthaltes Dr. J. Böhm's in Hamburg durch den berühmten Mechaniker Repsold angefertigt worden. Die Distanz der Schneiden wurde bei beiden Pendeln mittelst eines von Stampfer erfundenen Fühlhebelapparates abgemessen.<sup>2)</sup> Die Länge des Secundenpendels für Wien berechnete sich nach diesen Beobachtungen auf

$$L = 0.99381070 \text{ m,}$$

die Beschleunigung der Schwerkraft demnach auf

$$G = 9.8079615 \text{ m.}$$

Grundlegend für die Schweremessungen in Oesterreich wurden die Arbeiten des Astronomen Theodor Ritters von Oppolzer, der 1872 Leiter der österreichischen Gradmessung wurde. Er schenkte der Bestimmung der Schwerkraft besondere Aufmerksamkeit<sup>3)</sup> und führte auf der neuen Universitäts-Sternwarte zu Wien (Türkenschanze) eine Reihe von äusserst sorgfältigen und feinen Beobachtungen zur absoluten Bestimmung der Schwerkraft durch.<sup>4)</sup> Seine

<sup>1)</sup> Beobachtungen an zwei unveränderlichen Reversionspendeln. Annalen der Wiener Sternwarte. XVI. Theil. Seite XXVI.

<sup>2)</sup> Simon Stampfer, Beschreibung eines Apparates, um den Abstand der Schneiden bei einem Reversionspendel zu messen. Annalen der Wiener Sternwarte. XV. Theil. Seite I.

<sup>3)</sup> Ueber das Reversionspendel. Verhandlungen der europäischen Gradmessungscommission. 1873. Ueber Bestimmung der Schwere. Ebendasselbst 1883.

<sup>4)</sup> Abschluss der Beobachtungen zur absoluten Bestimmung der Schwerkraft in Wien. Wiener akademischer Anzeiger XX.

Beobachtungen ergaben als Länge des Secundenpendels für Wien

$$L = 0.993825 \text{ m}$$

und als Beschleunigung der Schwerkraft

$$G = 9.80866 \text{ m.}$$

Die Genauigkeit seiner Bestimmungen ist durch spätere Arbeiten vielfach bestätigt worden.

Die neueste und glänzendste Epoche der Schwerkraftmessungen in Oesterreich begann mit den Arbeiten des k. u. k. Obersten Robert von Sterneck, der nicht nur die Instrumente und die Beobachtungsmethoden so sehr vervollkommnete, dass die Resultate eine ausserordentliche Genauigkeit erreichten, sondern auch durch rastlose Untersuchungen der Schwerkraft in den verschiedensten Theilen Oesterreich-Ungarns bewirkte, dass die Schwereverhältnisse unseres Vaterlandes besser bekannt sind als die irgend eines anderen Theiles der Welt.

Die ersten Untersuchungen v. Sterneck's in dieser Richtung <sup>1)</sup> betrafen die Schwere im Inneren der Erde und wurden 1882 im Adalbertschachte in Pübram angestellt. Es wurden daselbst drei Stationen angebracht: die erste an der Oberfläche, die zweite 500 *m*, die dritte 1000 *m* tief. R. v. Sterneck bediente sich bei seinen Beobachtungen eines unveränderlichen Halbsecundenpendels, dessen Schwingungen nach einer Modification der gewöhnlichen Coincidenzen-Methode mit einer Halbsecundenuhr verglichen wurden, die sammt dem Pendel von Station zu Station transportiert ward. An der Oberfläche stand eine nach astronomischen Beobachtungen regulierte Secundenuhr, deren Gang er mittelst eines Taschenchronometers, das von der Station zur Oberfläche und wieder zurückgetragen wurde, mit dem Gange der Coincidenzenuhr verglich.

1883 <sup>2)</sup> wurde die Zahl der unterirdischen Stationen auf vier ergänzt und nicht ein, sondern zwei unveränderliche Halbsecundenpendel verwendet. Eines stand in der Station an der Oberfläche, das andere in einer der unterirdischen Stationen. Die Schwingungen wurden gleichzeitig an beiden Orten beobachtet und mit der Coin-

<sup>1)</sup> R. v. Sterneck, Untersuchungen über die Schwere im Inneren der Erde, ausgeführt im Jahre 1882 in dem 1000 *m* tiefen Adalbertschachte des Silberbergwerkes zu Pübram in Böhmen. Mittheilungen des k. u. k. militär-geographischen Institutes zu Wien. II. (Im folgenden der Kürze halber als „Mittheilungen“ citiert.)

<sup>2)</sup> R. v. Sterneck, Wiederholung der Untersuchungen über die Schwere im Inneren der Erde etc. Mittheilungen III, 1883.

cidenzenuhr an der Oberfläche mit Hilfe eines elektrischen Stromes verglichen. Durch diese Uhr wurde am Anfange jeder Secunde ein Strom von der Dauer einer halben Secunde geschlossen, der durch beide Stationen gieng. Die untere Spitze des Pendels bewegte sich vor einer Scala und wurde durch ein Fernrohr beobachtet. In der Focalebene des letzteren war eine Metallplatte mit einem horizontalen Schlitze angebracht. Der elektrische Strom setzte einen Hebel in Bewegung, welcher eine zweite Platte mit einem horizontalen Schlitze vor der bereits erwähnten im Fernrohre auf und ab bewegte. In jeder halben Secunde giengen die Schlitze aneinander vorbei und dann wurde die Spitze des Pendels durch das Fernrohr sichtbar. Wenn die Pendelspitze in der Mitte der Scala erschien, so fand eine Coincidenz statt. Durch seine Beobachtungen bestimmte v. Sterneck die mittlere Dichte der Erde zu 5.77.<sup>1)</sup>

Im November des Jahres 1885 machte Sterneck Beobachtungen im Abrahamschachte des Silberbergwerkes „Himmelfahrtstfundgrube“ bei Freiberg in Sachsen.<sup>2)</sup> In dieser Mine hatte Professor Bruhns 1871 eine bedeutende Abnahme der Erdschwere beim Eindringen in die Tiefe bemerkt. Da v. Sterneck ähnliche, doch weit geringere Abnormitäten in Kronstadt<sup>3)</sup> und am Sághegy<sup>4)</sup> vorgefunden hatte, war es für ihn von hohem Interesse, die Untersuchungen von Bruhns mit anderen Instrumenten und nach anderen Methoden zu wiederholen. Diesmal wurde zur Bestimmung der Coincidenzen ein Funke benützt, der beim Schliessen und Oeffnen des Stromes im Relais erschien. Dieser Funke wurde sowohl in einem an der Schneide des Pendels senkrecht zur Schwingungsebene angebrachten Spiegel als auch in einem unbeweglichen Spiegel reflectiert, der in der Nähe stand und mit dem vorerwähnten

<sup>1)</sup> Denselben Wert fand Mendenhall durch relative Schwerebestimmungen zu Tokio und auf dem Gipfel des Fujiyama. (Mendenhall, Determination of the acceleration due to the force of gravity at Tokio. *American Journal of Science* XX. — Mendenhall, On a determination of the force of gravity at the summit of Fujiyama. *American Journal of Science* XXI.)

<sup>2)</sup> R. v. Sterneck, Untersuchungen über die Schwere im Inneren der Erde, ausgeführt im Jahre 1885 in dem Abrahamschachte des Silberbergwerkes „Himmelfahrtstfundgrube“ bei Freiberg in Sachsen. *Mittheilungen*, VI, 1886.

<sup>3)</sup> R. v. Sterneck, Untersuchungen über die Schwere auf der Erde. *Mittheilungen*, IV, 1884.

<sup>4)</sup> R. v. Sterneck, Fortsetzung der Untersuchungen über die Schwere auf der Erde. *Mittheilungen* V, 1885.

Spiegel im Augenblicke, da dieser durch die Ruhelage gieng, parallel war. Coincidenz fand statt, wenn sich beide Funken am horizontalen Faden des Fadenkreuzes zeigten. Sterneck fand, dass die Schwere hier mit der Tiefe rascher zunahm als in Pörsbrunn und dass die Schwerezunahme der Wärmezunahme nahezu parallel gieng.

Im Herbste 1887<sup>1)</sup> und im Sommer 1888<sup>2)</sup> wurden durch R. v. Sterneck auf mehr als vierzig Stationen in den Tiroler Alpen relative Schweremessungen vorgenommen. Die dazu verwendeten unveränderlichen Messingpendel<sup>3)</sup> waren circa 25 cm lang und hatten eine Schwingungsdauer von nahezu einer halben Secunde. Sie waren mit Achatschneiden versehen und schlangen unter einem Glaskasten auf der Achatplatte eines massiven Statives, welches auf einem transportablen Steinpfeiler aufgestellt wurde. Letzterer bestand aus vier Stücken, die in der Station an den Rändern mit einander vergipst, ein stabiles Ganze von 320 kg Gewicht bildeten.<sup>4)</sup> Das Ziel dieser Arbeiten war zunächst ein rein geodätisches, nämlich der Wunsch: jene Kenntniss des Verlaufes der Schwerkraft längs der einzelnen Stationen zu erlangen, welche zur genauen Reduction des im Hochgebirge liegenden Nivellements-Polygons erforderlich war.

Die in diesen Arbeiten publicierten Werte der Schwerkraft wurden von Professor Helmert<sup>5)</sup> auf horizontales Terrain reducirt und dann noch von der Anziehung des Terrains unter der Station bis zum Meeresniveau befreit.<sup>6)</sup> Die auf diese Art reducierten

<sup>1)</sup> R. v. Sterneck, Untersuchungen über den Einfluss der Schwerkraft auf das Ergebnis des Nivellements. Mittheilungen. VIII, 1889.

<sup>2)</sup> R. v. Sterneck, Fortsetzung der Untersuchungen über den Einfluss der Schwerkraft etc. Mittheilungen. IX, 1889.

<sup>3)</sup> Eine eingehende Beschreibung des v. Sterneck'schen Pendelapparates mit den Spiegelvorrichtungen zur Coincidenzbestimmung findet man in den Mittheilungen VII, 1887.

<sup>4)</sup> Seit 1894 ist dieser Sandsteinpfeiler durch das von v. Sterneck construirte Mauerstativ ersetzt worden. Siehe Mittheilungen XIV, 1894.

<sup>5)</sup> F. R. Helmert, Die Schwerkraft im Hochgebirge, insbesondere in den Tiroler Alpen in geodätischer und geologischer Beziehung. (Veröffentlichung des königl. preuss. geodätischen Institutes und Centralbureaus der internationalen Erdmessung. Berlin 1890.)

<sup>6)</sup> Die Nothwendigkeit dieser Reduction wurde bereits von Faye angezweifelt. Auch v. Sterneck bemerkte schon 1883 bei seinen Schweremessungen im Bergwerke von Krasna Hora, dass sich bei Vernachlässigung dieser Correctur besser übereinstimmende Werte ergeben. In seiner letzten Publication (R. von Sterneck, Relative Schwerebestimmungen in den Jahren 1895 und 1896. Mit-

Werte der in den einzelnen Stationen beobachteten Schwere wurden mit den nach der Formel

$$\gamma_0 = 9.7800 \left( 1 + 0.005310 \sin^2\varphi \right) \left( 1 - \frac{2H}{R} \right) \quad (1)$$

(in welcher  $\varphi$  die geographische Breite,  $H$  die Höhe der Station,  $R$  den Erdradius darstellt) berechneten Werten  $\gamma_0$  der sogenannten normalen Schwere verglichen. Aus seinen Berechnungen fand Helmert das höchst beachtenswerte Resultat, dass unterhalb der Tiroler Alpen zwischen Innsbruck, Landeck, Stilfserjoch und Bozen ein relativer Massendefect in der Erdrinde besteht, der einer auf das Meeresniveau condensierten Schichte von 1200 *m* Dicke und — 2.4 Dichte äquivalent ist. Ein ähnlicher Massendefect war bereits von Pratt für den Himalaya und von Stebnitzki für den Kaukasus nachgewiesen worden. Diese Thatsache lieferte eine neue Stütze für die schon seit längerer Zeit vermuthete unterirdische Compensation der Festlandsmassen.

Ueber Antrag des Professors Dr. F. R. Helmert wurde von der permanenten Commission der internationalen Erdmessung in der Sitzung zu Freiberg (1890) einstimmig der Wunsch ausgesprochen, die durch v. Sterneek in Tirol ausgeführten Schwere-messungen möchten südlich bis nach Padua und nördlich bis nach München fortgesetzt werden und zwar von demselben Beobachter und mit denselben Instrumenten. Diesem ehrenvollen Wunsche folgend, führte v. Sterneek, der inzwischen eine Reihe von Schwerebestimmungen in Böhmen<sup>1)</sup> durchgeführt hatte, im Jahre 1891 Pendelbeobachtungen im Norden bis München, im Süden bis an den Po durch.<sup>2)</sup> 1892 wurden durch denselben Beobachter relative Schwerebestimmungen zwischen Wien, Berlin, Potsdam und Hamburg zur Ermittlung des absoluten Wertes der Schwerkraft für Wien vorgenommen, dann die Schwereverhältnisse längs der Nivellementsline Wien bis Graz erforscht; daran schlossen sich Untersuchungen in den Karpaten und in der nordungarischen Tiefebene.<sup>3)</sup> In demselben Jahre wurden vom k. u. k. Linien-

theilungen XVII) hat er in überzeugender Weise nachgewiesen, dass dieses Glied der Bouguer'schen Formel zu entfallen habe. (Vergl. auch Poynting, *The mean density of the earth*. London 1894, pag. 38.)

<sup>1)</sup> R. v. Sterneek, *Bestimmungen der Intensität der Schwerkraft in Böhmen*. Mittheilungen X, 1890.

<sup>2)</sup> R. v. Sterneek, *Die Schwerkraft in den Alpen und Bestimmung ihres Wertes für Wien*. Mittheilungen XI, 1891.

<sup>3)</sup> R. v. Sterneek, *Relative Schwerebestimmungen*. Mittheilungen XII, 1892.

schiffslieutenant Gratzl Schwerebestimmungen in Edinburg, auf Jan Mayen, auf Spitzbergen und in Tromsö,<sup>1)</sup> ferner vom k. u. k. Linienschiffslieutenant Ritter von Müller in den ostasiatischen Gewässern ausgeführt.<sup>2)</sup>

Im Jahre 1893 wurden einerseits relative Schwerebestimmungen in Wien, Paris, Greenwich, Kew, Strassburg und Budapest vorgenommen, andererseits auf 93 Stationen in Oesterreich-Ungarn, die auf einer von Ost nach West verlaufenden Linie liegen, welche sich von Püspök-Ladány in Ungarn über Budapest und Graz durch Kärnten, Tirol und Vorarlberg bis nach Bregenz erstreckt.<sup>3)</sup>

Im Jahre 1894 nahm R. v. Sterneck relative Schwere-messungen in Moskau und Pulkowa vor. Ausserdem wurden in Nieder- und Oberösterreich und im südlichen Mähren zahlreiche Messungen durchgeführt. Statt des bisher benützten transportablen Pfeilers wurde ein neues Pendelstativ verwendet, welches an der Wand des Beobachtungslocales angebracht wurde. Die Festigkeit wurde mit Hilfe des Helmert'schen Wippverfahrens geprüft.

Im Jahre 1895 wurden unter R. v. Sterneck's Leitung weitere 60 Stationen im östlichen Böhmen, in Mähren und Schlesien, im Jahre 1896 63 Stationen im nordwestlichen Ungarn zur Bestimmung der relativen Schwere herangezogen.<sup>4)</sup> In denselben Jahren wurden vom k. u. k. Linienschiffslieutenant Alexander Lernet während der Reise des Schiffes S. M. „Aurora“ in Süd- und Ostasien Schwerebestimmungen vorgenommen.<sup>5)</sup>

Bringt man an den unmittelbaren Beobachtungsergebnissen die nöthigen Reductionen wegen der Anziehung der über den Stationen liegenden Massen, der Höhe über dem Meere etc. an und vergleicht dann diese Werte  $G_0$  mit den nach der Helmert'schen Formel (1) berechneten Werten der normalen Schwere  $\gamma_0$ , so zeigen sich fast ausnahmslos grössere oder kleinere Unterschiede

<sup>1)</sup> Gratzl und v. Sterneck, Schwerebestimmungen im hohen Norden. Mittheilungen XII, 1892.

<sup>2)</sup> Relative Schwerebestimmungen durch Pendelbeobachtungen, ausgeführt durch die k. u. k. Kriegsmarine in den Jahren 1892 und 1894. Wien 1894.

<sup>3)</sup> R. v. Sterneck, Relative Schwerebestimmungen, ausgeführt im Jahre 1893. Mittheilungen XIII, 1893.

<sup>4)</sup> R. v. Sterneck, Relative Schwerebestimmungen, ausgeführt in den Jahren 1895 und 1896. Mittheilungen XVII, 1897.

<sup>5)</sup> Veröffentlichungen des hydrographischen Amtes der k. u. k. Kriegsmarine. Gruppe III. Relative Schwerebestimmungen durch Pendelbeobachtungen. 1. Heft. Herausgegeben von der Abtheilung für Geophysik. Pola 1897.

$G_0 - \gamma_0$ . Sie sollen im Folgenden in Einheiten der fünften Decimale, also in Hunderteln von Millimetern angegeben werden. Die positiven Werte entsprechen zu grosser, die negativen zu kleiner Schwere.

Bis zu Ende 1896 waren die Schwereverhältnisse in Oesterreich-Ungarn in 508 Stationen erforscht worden.<sup>1)</sup> Besonders dicht und systematisch sind die Schwerestationen über Böhmen, Nieder- und Oberösterreich, Mähren und Schlesien vertheilt. In den Alpenländern zeigen sich fast durchweg negative Werte, welche in den Tiroler Hochgebirgsgegenden bis zu  $-167$  (Trafoi) heruntergehen. Dagegen zeigen sich in Ungarn und Niederösterreich meist positive Werte, welche bis  $+106$  (Kaisereiche in Niederösterreich, Purbach in Ungarn) aufsteigen. Die Abweichungen der beobachteten Schwere von der normalen variieren demnach von  $+106$  bis  $-167$ , also innerhalb 273 Einheiten.

Sehr rasch und klar übersieht man diese Verhältnisse bei der graphischen Darstellung. Zu diesem Zwecke hat v. Sterneck die Orte gleicher Abweichung des beobachteten Gebietes vom normalen Werte ( $G_0 - \gamma_0$ ) in Intervallen von 20 Einheiten durch Curven verbunden, die er Isogammen nennt. Die Gebiete zu grosser Schwere wurden in rother Farbe, jene zu kleiner Schwere in blauer angelegt.<sup>2)</sup>

Wir können stets die Dicke  $d$  einer Platte von passend gewählter Dichte berechnen, deren Attraction dem Ueberschusse, respective Abgange der Schwerkraft gleich ist. Für einen Ueberschuss haben wir uns die Platte unterhalb, für einen Abgang oberhalb der Station zu denken. Auch die in dieser Weise formulierten Massenüberschüsse, respective Massendefecte hat v. Sterneck graphisch dargestellt.<sup>3)</sup>

Ziehen wir diese Dicke  $d$  von der Höhe der Station  $H$  ab (Massenüberschuss), respective fügen wir sie hinzu (Massendefect), so erhalten wir jene Höhe  $H$ , in welcher wir bei freier Erhebung die Schwere in ihrem normalen Werte vorfinden würden. Bei systematischer Vertheilung der Stationen entsprechen diese Höhen  $H$  den Coten einer Fläche, längs welcher die Schwere zwar

<sup>1)</sup> Ein Verzeichnis dieser Stationen, nach fortlaufenden Nummern geordnet, findet sich in den Mittheilungen XIII, S. 302, XIV, S. 306, XVII.

<sup>2)</sup> Siehe Mittheilungen, Band XIII. Beilage XXIII und XVII. Tafel 12, Kärtchen 1 und 2.

<sup>3)</sup> Mittheilungen XVII. Tafel 12, Kärtchen 4.

verschieden gross, aber immer dem normalen Werte entsprechend wäre. Diese Fläche nennt v. Sterneck die isostatische Fläche. Auch den Verlauf dieser Fläche hat er durch Aequidistanten von 200 m Höhe dargestellt.<sup>1)</sup>

An Stationen, die eine zu grosse Schwere zeigen, werden wir annehmen müssen, dass sich in der Erde, und zwar in nicht allzu grosser Tiefe, Schichten von einer Dichte befinden, welche grösser ist als jene an der Oberfläche; umgekehrt werden wir bei zu kleiner Schwere Schichten von geringerer Dichte als an der Oberfläche (vielleicht sogar Hohlräume) anzunehmen haben.

Der Sterneck'sche Pendelapparat in seiner ausserordentlichen Vollkommenheit und Zweckmässigkeit, die von dessen Erfinder eingeführten, peinlich genauen Beobachtungsmethoden, die mit diesen Hilfsmitteln mit eminentem Fleisse und enormer Ausdauer durchgeführte Durchforschung Oesterreich-Ungarns haben Resultate geliefert, deren Tragweite der wissenschaftlichen Welt mit jedem Tage klarer zum Bewusstsein kommt.

Diese Schwerebestimmungen liefern uns zunächst die ersten zuversichtlichen Daten zur Erkenntnis des Aufbaues der obersten Schichten der Erde. Durch dieselben wird eine Einheitlichkeit bezüglich der Angaben über die Erdschwere, man kann sagen, auf der ganzen Erde angebahnt.

Das Materiale, welches die über den ganzen Erdball vertheilten Stationen liefern, wird eine genauere Bestimmung der Constanten in der Formel (1) zur Berechnung der normalen Schwere ermöglichen.

Auch für die genauere Erkenntnis des Geoides liefern die gewonnenen Daten eine Grundlage und zwar nicht nur bezüglich der allgemeinen und regionalen Störungen, sondern auch bezüglich so manches Details, welches wir nur von einer systematischen Durchforschung grosser Landflächen zu erwarten haben.

Endlich wird es, sobald einmal genügendes Beobachtungsmaterial vorhanden ist, möglich werden, Aufschlüsse über die Schwerkraft selbst und ihren Zusammenhang mit anderen Kräften zu erhalten.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mittheilungen XVII. Tafel 12, Kärtchen 3.

<sup>2)</sup> Diesem Zwecke wird insbesondere das von R. v. Sterneck erfundene Barymeter (Mittheilungen XIV) dienen.