

Werk

Jahr: 1938

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:14

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0014

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0014

LOG Id: LOG_0032

LOG Titel: Ein neuer statischer Schweremesser zur Messung und Registrierung lokaler und zeitlicher Schwereänderungen

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

die großen Monde, zutreffen. Insbesondere für den Erdmond hätte man mit $\delta_m = 3.33 \text{ g cm}^{-3}$ eine Außendichte von $\delta_a = 5/8 \delta_m = 2.08$, also die des Sandes zu erwarten, was mit dem Albedo des Mondes übereinstimmt.

Dürfen wir den Erdkern als gasförmig nach der Gl.

$$\frac{p}{p_0} = \frac{\delta}{\delta_0} \frac{T}{T_0} \dots \dots \dots (20)$$

auffassen, so erhalten wir mit $p = 12000 \text{ kg cm}^{-2}$, $\delta = 3.45 \text{ g cm}^{-3}$ $T = 5000^0$ unter der Simaschicht für

$$r = 0.5 a, \quad \delta_{\frac{1}{2}} = 9.56 \text{ g cm}^{-2}, \quad T_{\frac{1}{2}} = 145500^0$$

$$r = 0 \quad \delta_0 = 12.52 \text{ g cm}^{-2}, \quad T_0 = 382200^0$$

mit einem in Fig. 3 ebenfalls eingetragenen, etwas über der Druckkurve liegenden Verlauf, der aber keiner einheitlichen Polytrope wie in Gaskugeln entspricht. Damit erledigen sich die in einer früheren Abhandlung*) über den Erdball angestellten Rechnungen, in denen unberechtigtweise der Druck aus einer Polytrope und das Trägheitsmoment aus der Äquatorneigung gegen die Ekliptik bestimmt wurde.

Ein neuer statischer Schweremesser zur Messung und Registrierung lokaler und zeitlicher Schwereänderungen

Von **A. Graf**, Berlin (Askania-Werke). — (Mit 13 Abbildungen)

Es wird ein neues Gravimeter beschrieben, welches, ohne daß irgendwelche Änderungen vorgenommen werden müssen, sowohl lokale wie zeitliche Schwereänderungen zu messen und zu registrieren gestattet. Das Meßprinzip beruht auf der elektrischen Bestimmung der Verlängerung einer Vertikalschraubenfeder bei einer Schwereänderung. Masse und Feder hängen frei und es werden keinerlei Gelenke benötigt (etwa Schneiden, Federgelenke, Fäden usw.); das System arbeitet daher völlig reibungsfrei und gewährt damit eine sehr hohe Einstellsicherheit. Astasierung ist nicht vorhanden, die Schwingungszeit ist daher klein (etwa 1 sec); somit entfällt die lästige Abhängigkeit des Skalenwertes von der Einstellung. Der Eichwert ist innerhalb weiter Grenzen (über 1500 mgl) konstant, die Meßskala also linear. Die Eichung ist lediglich bestimmt durch das Verhältnis von Masse + halbem Federgewicht zum Eichgewicht. Die Genauigkeit des Skalenwertes ist also in erster Linie abhängig von der Genauigkeit, mit der das Eichgewicht bestimmt werden kann. Da das Gravimeter luftdicht abgeschlossen ist, so bleiben Luftdruckschwankungen ohne Einfluß auf die Messung. Die Neigungsempfindlichkeit ist sehr gering und beträgt bei günstigster (Minimum-) Justierung für beide horizontale Richtungen bei einer Neigung um 90'' weniger als 0,1 mgl. Die Ablesung der Schwereänderung erfolgt an einem Lichtmarkengerät (ohne Verstärker) oder an einer Meßtrommel. Die Empfindlichkeit kann in weiten Grenzen

*) H. Lorenz: Die Äquatorneigungen der Sonne und Planeten, Astr. Nachr. **261**, Nr. 6263 (1937). Für die Kritik an meinen Ausführungen bin ich außer Herrn Dr. Küssner in Göttingen und Herrn Prof. Dr. A. Prey (Wien), Astr. Nach. **264**, Nr. 6316 (1937), verpflichtet.

geändert werden; zweckmäßigerweise wählt man 2—6 Skalenteile am Galvanometer = 1 mgl. Zur Registrierung der Gezeiten kann ein beliebiges Spiegelgalvanometer Verwendung finden, oder bei Zwischenschaltung eines Verstärkers ein Tinten- oder Fallbügelschreiber. — Das Gerät ist mit einem Thermostaten ausgerüstet, der jedoch nur bei langen Transportzeiten zwischen den Meßstationen in Tätigkeit gesetzt zu werden braucht. Bei lokalen Untersuchungen kann ohne Temperaturregelung gemessen werden. Temperaturkompensation ist vorgesehen. Die elastische Nachwirkung der Feder erwies sich als praktisch belanglos, da die Masse in der Meßstellung arretiert wird. Die Meßdauer pro Aufstellung beträgt 4—5 min, die Tagesleistung bei Punktabständen von 1—2 km und guten Straßen 20—25 neue Stationen. Das Gravimeter ist im Meßwagen (Personenwagen-Chassis Ford V 8) federnd so eingebaut, daß es ohne Umsetzung des Gerätes direkt auf den Erdboden herabgelassen werden kann. Für die Horizontierung ist Grob- und Feinverstellung vorgesehen. Der Beobachter bleibt während der Messungen im Wagen, so daß auch bei Wind und Regen gearbeitet werden kann. Das Gewicht des Gerätes beträgt 57 kg.

A new static Gravity-Meter for measuring and recording local and temporal gravity variations

Summary:

A new type of gravity-meter is described which without any modifications can be used for measuring and recording local as well as temporal anomalies of gravity. The principle of the design is based on the electrical determination of the lengthening of a vertical spring due to changes of the gravitational field. Weight and spring are suspended in such a way as to avoid wedges, spring joints or threads of any kind. The design is perfectly free from friction and assures highly reliable readings. There being no astaticism the period of oscillation is reduced to approximately 1 sec. Consequently, the calibration is constant throughout the entire scale range which amounts to more than 1500 millidyne. The calibration only depends on the ratio of weight + half of the spring weight as compared with the calibration weight. The accuracy of the scale value therefore is influenced in first place by the possibility of determining the calibration weight as exactly as possible. Owing to the fact that the gravity-meter is air-tight, variations of the atmospheric pressure do not have any influence on the readings. The inclination error is very small and under favourable conditions amounts to less than 0.1 millidyne, the instrument being inclined by 90 sec. in both horizontal directions. — The reading of the gravity variation is made by means of a micro-ammeter (without amplifier) or on a reading drum. The sensitivity can be modified within rather a wide range. For practical field use 3 to 6 scale intervals of the micro-ammeter are made to correspond with 1 millidyne. In the case of tidal recording a mirror type ammeter can be used or, instead of that, a pen or thread recorder in connection with an amplifier. — A double thermostat is provided on the instrument which however is to be used only when the apparatus is moved between two observation stations far apart from each other. For local investigations no temperature control is necessary. Temperature compensation is provided for. The elastical after effect of the spring is practically without importance since the weight remains in the measuring position even when being fixed. The time required for one reading including the set-up is 4—5 min. The daily output under good road conditions amounts to 20 or 25 new stations 1 or 2 km apart. The gravity-meter is elastically suspended within a field truck, ($\frac{1}{2}$ ton) in such a way that the observer can lower the instrument directly to the ground. Both coarses and fine adjustment is provided for levelling the design. While taking the readings the observer remains inside the truck so that no interruption by wind or rain will occur. The instrument weighs 57 kg (125 lbs. approximately).

Un nouveau gravimètre statique pour la mesure et l'enregistrement des variations locales et temporelles de la pesanteur

Résumé :

Il est donné description d'un nouveau gravimètre, lequel permet sans qu'il y ait à effectuer aucune modification de mesurer et d'enregistrer les variations de la pesanteur tant suivant le lieu que dans le temps. Le principe de mesure repose sur la détermination électrique de l'allongement d'un ressort hélicoïdal vertical lors d'une modification de la pesanteur. La masse et le ressort sont suspendus librement et aucune articulation n'est nécessitée (pas de couteaux, articulations de ressorts, fils, etc.). Le système fonctionne donc sans aucun frottement et garantit ainsi une très haute sécurité d'indications. Comme il n'y a pas d'astatisation la période d'oscillation est courte (environ 1 seconde). Dans ce système il n'existe pas l'importune dépendance entre la grandeur des l'échelle et la position sur la graduation. La grandeur de l'échelle est constante dans de larges limites (plus de 1500 milligals); autrement dit la graduation est linéaire. L'étalonnage est déterminé uniquement par le rapport masse plus moitié du poids du ressort au poids d'étalonnage. C'est-à-dire que la précision de l'échelle dépend en premier lieu de la précision avec laquelle on peut déterminer le poids d'étalonnage. Le gravimètre étant enfermé de manière étanche à l'air les variations de la pression atmosphérique n'ont aucune influence sur les résultats des mesures. La sensibilité à l'inclinaison est très réduite, savoir de moins de 0.1 milligal pour l'ajustage optimum (minimum) pour les deux directions horizontales en cas d'une inclinaison de l'ordre de 90 secondes. — La lecture de la variation de pesanteur s'effectue sur un micro-ampèremètre (sans amplificateur) ou à un tambour de mesure. On peut modifier la sensibilité dans de larges limites. Il est pratique de s'en tenir à 3—6 divisions de graduation = 1 milligal. Pour l'enregistrement des marées on peut employer à volonté un galvanomètre à miroir, mais aussi un enregistreur à encre ou à étrier mobile. — L'appareil est équipé avec un thermostat, dont toutefois on n'a besoin que pour de longs transports entre les stations de mesures. En cas d'observations locales on peut opérer sans régulation de température. Une compensation de température a été prévue. L'effet résiduel hystérésis mécanique du ressort s'est révélée pratiquement insignifiant, car la masse reste également dans la position de mesure lorsqu'elle est arrêtée. La durée des mesures est de 4 à 5 minutes par position, ce qui permet 20 à 25 stations par jour pour des distances entre points d'observations de 1 à 2 km lorsque les routes sont bonnes. Le gravimètre est monté dans une voiture de mesures (châssis de voiture tourisme Ford V 8) avec une suspension élastique de telle sorte qu'on puisse le descendre directement sur le sol sans avoir à sortir l'appareil. Le réglage de position horizontale est prévu avec réglage approximatif rapide et réglage précis. L'observateur reste dans la voiture pendant les mesures, en sorte qu'on peut travailler par temps de vent et de pluie. L'appareil pèse 57 kg.

Mit der Entwicklung von statischen Schweremessern hat man sich schon bald nach 1900 befaßt. Erfolgversprechende Versuche wurden aber erst 1918 durch die Schweden Ising und Urelius begonnen und über 15 Jahre hindurch weitergeführt. Die eigentliche Entwicklungswelle für statische Schweremesser setzte in den Jahren 1928 bis 1930 ein und dauert heute noch an. Es war die Zeit, als die großen amerikanischen Ölkonzerne eigene Laboratorien und Werkstätten nicht nur zur Überholung und Instandsetzung, sondern auch zum Zwecke der Neu-

entwicklung von geophysikalischen Geräten einrichteten. Etwa gleichzeitig griffen auch, als die große Bedeutung und die großen Erfolge gravimetrischer Untersuchungen mit der Eötvösschen Drehwaage für die praktische Geologie, insbesondere durch die Arbeiten von Schweydar, der *Exploration G. m. b. H. u. a.* immer ersichtlicher und in der Ölstatistik immer greifbarer in Erscheinung traten, verschiedene Institute das alte Problem wieder auf.

Zur Zeit sind acht verschiedene Arten von statischen Schweremessern geländereif entwickelt. Sämtliche Typen besitzen eine Genauigkeit von mehr als 1 mgl. Bei drei weiteren Arten von Gravimetern liegt der mittlere Fehler um 1 mgl. Es handelt sich um folgende Geräte (Reihenfolge historisch geordnet):

1. Das Gravimeter von Ising und Urelius, Meßprinzip: Ein horizontaler Quarzfaden wird durch ein nahezu vertikal stehendes Pendel auf Torsion beansprucht. Die Neigungsänderung des Pendels gegen die Vertikale ist ein Maß für die Schwereänderung (hohe Astasierung).

2. Das Gravimeter von Truman, USA., Meßprinzip: Eine vertikale Schraubenfeder und horizontale Blattfedern wirken so zusammen, daß die Masse astasiert und damit eine hohe Schwereempfindlichkeit bei hoher Schwingungszeit erreicht wird (Schwerpunkt der Masse über Angriffspunkt der Feder).

3. Das Gravimeter der Gulf Oil and Refining Company, USA., Meßprinzip: Eine vertikale Schraubenfeder mit rechteckigem Federquerschnitt (Federband) trägt neben der Masse einen hochreflektierenden Spiegel nach Art eines Gravimeters von Tomaschek. Bei Verlängerung der Feder durch eine Schwerezunahme tritt gleichzeitig eine Drehung des unteren Federendes ein, die auf optischem Wege (Multireflexion) gemessen wird.

4. Das Gravimeter von Mott-Smith, USA., Meßprinzip ähnlich wie das von Ising. Lediglich die hohe Neigungsempfindlichkeit wird auf anderem Wege als bei Ising ausgeschaltet. Sehr genauer Thermostat erforderlich.

5. Das Gravimeter nach Thyssen der Seismos G. m. b. H., Meßprinzip: Astasierte Federwaage.

6. Das Gravimeter der Humble Oil and Refining Company, USA., Meßprinzip ähnlich wie bei Truman.

7. Das Gravimeter nach Lindblad der Boliden Mining Company, Stockholm, Meßprinzip: Eine elliptisch gebogene Blattfeder trägt die Masse, die als eine Seite eines Kondensators ausgebildet ist. Die Verlagerung der Masse wird als Kapazitätsänderung (Brückenschaltung) gemessen.

8. Das Gravimeter nach Graf der Askania-Werke, Berlin, Meßprinzip: Die an einer vertikalen Schraubenfeder hängende Masse wird mit einer Einrichtung versehen, durch welche die Lageveränderung derselben elektrisch gemessen werden kann.

Die Gravimeter mit etwas geringerer Genauigkeit (um 1 mgl herum) sind:

9. Das Gravimeter nach Haalek, Potsdam, Meßprinzip: Beiderseitig abgeschlossenes Quecksilberbarometer.

10. Das Gravimeter nach Noergaard, Kopenhagen, Meßprinzip: Ebenfalls Verwendung einer Gasfeder wie bei Haalck, jedoch nicht in Form eines Barometers, sondern eines Säureprüfers.

11. Das Gravimeter nach Wright, Washington, USA., Meßprinzip: Zwei kegelförmig ausgebildete horizontal liegende Schraubenfedern werden mehrmals vertordiert, damit sie ein in der Mitte befindliches Stäbchen mit Spiegel in der Horizontalen halten können. Durch die große Vorspannung der Federn wird die Ableseempfindlichkeit vergrößert (Ersatz für Astasierung).

Infolge der starken Dämpfungsmöglichkeit und der geringen Neigungsempfindlichkeit eignen sich die beiden Typen 9 und 10 als einzige für Messungen auf hoher See, insbesondere das Haalck-Gravimeter.

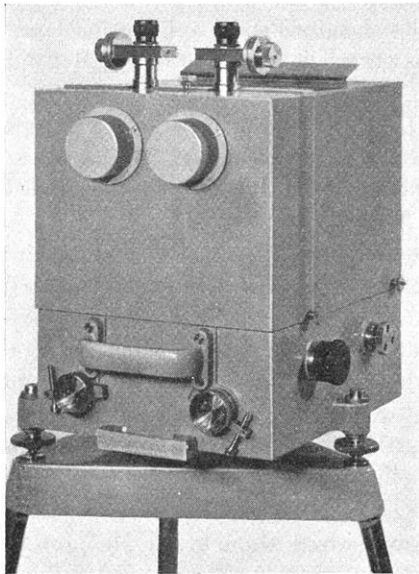


Fig. 1. Statischer Schweremesser mit Federpendeln

In den Jahren 1934 bis 1936 hat der Verfasser die Entwicklung von statischen Schweremessern aufgenommen, und zwar zunächst nach dem Prinzip des astasierten Federpendels. Die Anordnung der Federn und Masse sowohl wie die Wirkungsweise war ähnlich wie beim Ising-Pendel, mit dem Unterschied, daß an Stelle eines Quarzfadens eine Kreuzfederanordnung als elastischer Körper trat. Die Federn waren aus einer Metalllegierung hergestellt und so gelagert, daß durch Änderung der Federspannung die Schwingungszeit des Pendels eingestellt werden konnte. Gleichzeitig gab die Art der Einspannung eine einfache Möglichkeit der Temperaturkompensation (Fig. 1 und 2). Die Neigungsempfindlichkeit wurde durch ein zweites, gleiches, aber im spiegelbildlichen Sinne

angeordnetes Meßsystem stark verkleinert, eine Methode, die auch von Mott-Smith und Thyssen verwendet wird.

Nach eingehenden Versuchen wurde jedoch das Meßprinzip mit astasierten Pendeln wieder aufgegeben. Wohl hatte das erste Versuchsgerät eine Meßgenauigkeit im Felde von 0.8 mgl erreicht, doch ließen die Versuche erkennen, daß eine erhebliche Steigerung aus prinzipiellen Gründen nur mit einem großen Aufwand von Hilfsmitteln zu erreichen war. Schien schon die Tatsache ungünstig, daß ein doppelt eingespanntes Federsystem infolge der verschiedenen spezifischen Wärme von Feder und Einspannstück in stärkerem Maße als ein einseitig eingespanntes temperaturempfindlich ist, so zeigten sich besondere Schwierigkeiten beim Bau der Arretierung wegen der Starrheit des Federsystems. Ising und Mott-Smith

haben beide Schwierigkeiten in der Weise umgangen, daß sie das Feder-Pendel-system einschließlich der Halterung aus Quarz schmolzen und außerordentlich leicht an Gewicht machten, so daß die Zeit der Wärmeübertragung möglichst gering gehalten und auf eine Arretierung überhaupt verzichtet werden konnte.

Letzterer Weg schien mir aber ungeeignet, wenn es sich nicht um den Bau einiger weniger Geräte, sondern um eine Serienfabrikation handelt. Die Herstellung solcher Quarzsysteme mit einer bestimmten vorgegebenen Schwingungszeit stellt an die Geduld und Geschicklichkeit des Quarzbläfers so hohe Anforder-

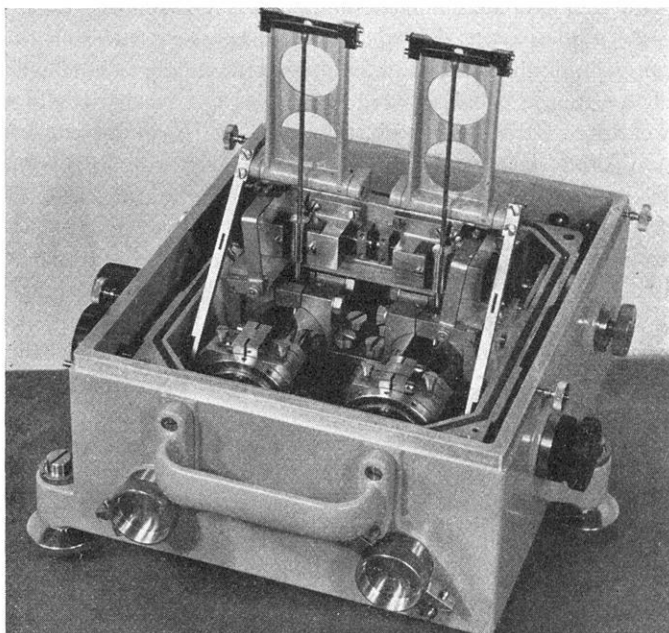


Fig. 2. Inneres des Federpendel-Schweremessers

rungen, daß an eine termingerechte Fertigung kaum zu denken war. Wegen der leichten Zerbrechlichkeit solcher dünnen Federn und Stäbchen (der Federdurchmesser beträgt nur einige $\frac{1}{100}$ mm, die Pendelmasse nur wenige mg), ist mit einem hohen Prozentsatz Ausfall zu rechnen. Der wesentlichste Punkt ist aber die völlige Hilfslosigkeit, in der sich ein Beobachter in unkultivierten Gegenden befinden würde, wenn bei schwierigen Transporten einmal ein Quarzsystem Schaden litte.

Zu diesen rein praktischen Überlegungen kamen solche meßtechnischer Natur. Bald nach der Einführung der astasierten statischen Schweremesser (siehe oben unter 1, 2, 4, 5 und 6) in die angewandte Geophysik empfand man bei Regionaluntersuchungen die Abhängigkeit des Eichwertes vom Ausschlag recht

lästig. Wohl war die innere Genauigkeit der Messungen eine recht gute, aber die Anschlüsse bei großen Abständen zeigten nicht unerhebliche Abweichungen. Eine Bestimmung des Skalenwertes auf über 10% erwies sich als schwierig. Man war auf Benutzung von Eichstrecken angewiesen, die ihrerseits Fehler enthielten und deren Vermessung außerdem viel Zeit erforderte. Der veränderliche Eichwert rührt von der stark unlinearen Charakteristik der astasierten Geräte her; tritt aus irgendeinem Grund (etwa durch einen starken Stoß oder durch starke Temperaturunterschiede) eine größere Änderung der Anzeige auf, so ist damit auch eine Änderung des Skalenwertes gegeben, die unter Umständen so groß sein kann, daß ohne Öffnung und Neueinstellung des Gerätes nicht weitergemessen werden kann. Ein anderer Nachteil der astasierten Geräte ist die große Neigungsempfindlichkeit, die nur unter Anwendung besonderer Hilfsmittel in erträglichen Grenzen gehalten werden kann. Die Ursache ist die solchen Geräten innewohnende Labilität der Einstellung (Arbeiten in der Nähe einer Kippgrenze). Man kann sie mit elektrischen Verstärkern mit Rückkoppelung vergleichen, die hart an der Pfeifgrenze zwar gute Verstärkung, aber auch ein erhöhtes Maß von Störanfälligkeit zeigen.

Bei der Entwicklung statischer Schweremesser wurde von der Astasierung ausgegangen, weil die Vorteile derselben (mechanische Drehmoment-Rückkoppelung) von der großen Seismik her bekannt waren (nämlich Steigerung der Anzeigeempfindlichkeit), und andererseits die normalen optischen Hilfsmittel vor Bekanntwerden der hochreflektierenden Spiegel für die Vergrößerung des Meßausschlages nicht ausreichten.

Um der Astasierung aus dem Wege zu gehen, um also Geräte mit *konstantem* Skalenwert, *linearer* Charakteristik, *geringer Neigungsempfindlichkeit* und *großem* Meßbereich zu erhalten, mußten neue Wege der Messung einer Längsverschiebung oder eines Winkelausschlages beschritten werden. Tomaschek verwendete schon 1930 bei einem Gerät die Methode der Längsmessung durch optische Interferenzstreifen, bei einem zweiten hochreflektierende Spiegel, welches letzteres Verfahren auch von der Gulf Oil and Refining Company Anwendung findet. Lindblad bildete eine kapazitive Meßanordnung aus. Dieses Verfahren ist an sich altbekannt und wurde schon zur Beobachtung des Wachstums von Pflanzen in Anwendung gebracht. Für Gravimeter kommt als erschwerend hinzu, daß die Masse sich praktisch nie im Ruhezustand befindet, sondern durch die mikroseismische Bodenunruhe in steter Bewegung ist. Da andererseits als Dielektrikum nur ein Gas in Frage kommt, und die Ausmaße eines Geländemeßgerätes keine großen Dimensionen für die Kondensatorplatten zulassen, so muß mit sehr geringem Plattenabstand gearbeitet werden, um die Meßkapazität in ein vernünftiges Maß zur Schaltkapazität zu bringen; das bedeutet: steife Feder, kleiner Hub und damit hohe elektrische Verstärkung. Während beispielsweise bei dem unten beschriebenen Gravimeter etwa 0.2μ direkte Verschiebung für 1 mgel elektrisch zu messen sind, gibt hier die Feder nur 0.005μ Längenänderung pro mgel ab. Je geringer aber die direkte Längenänderung der Feder, um so größer ist die Inan-

spruchnahme der elektrischen Meßordnung zur Sichtbarmachung des Meßauschlagess. In ersterem Falle sind die Genauigkeit- und Konstanzbedingungen und -anforderungen an den elektrischen Übersetzungsmechanismus 40 mal kleiner als in letzterem.

Von solchen Überlegungen ausgehend, begann der Verfasser Anfang 1937 mit der Entwicklung eines mechanisch-elektrischen Schweremessers. September 1937 waren bereits vier Versuchsgeräte fertig, von denen zwei mit Thermostaten ausgerüstet wurden und für Geländemessungen eingesetzt werden konnten. Von September 1937 bis Juni 1938 erfolgten eingehende Erprobungsmessungen mit kurzen und langen Stationsabständen, auf guten und schlechten Straßen und Wegen, an kalten und warmen Tagen usw. Vier Wochen wurden allein zur Registrierung der zeitlichen Schwereänderungen im Kaiser Wilhelm-Stollen in Clausthal 400 m unter Tage verwendet. Nebenher ging die Konstruktion des Modellgerätes für den Serienbau, wobei alle inzwischen gesammelten Erfahrungen verwertet wurden.

I. Meßprinzip. Der wesentlichste Teil des Gravimeters besteht aus einer vertikal hängenden, einseitig befestigten Schraubenfeder mit einer am unteren freien Ende angebrachten Masse (Fig. 3). Letztere kann sich vollkommen frei nach allen Richtungen bewegen und ist nicht mehr geführt, im Gegensatz zu anderen Schweremessern. Diese Anordnung gewährt eine sehr hohe Einstellsicherheit, da neben der Werkstoffdämpfung (innere Reibung) keine reibenden Elemente vorhanden sind, wie beispielsweise Blattfedergelenke beim Truman-Gravimeter, Fadengelenke beim Hartley-Gravimeter und Schneidengelenke beim Thyssen-Gravimeter usw. Ein weiterer beträchtlicher Vorteil dieser Anordnung ist die leichte Arretierbarkeit des Systems, da Verzerrungen, die sich in Form einer starken elastischen Nachwirkung bemerkbar machen, nicht auftreten können. Die erwähnten Führungsgelenke haben den Zweck, die Längsbewegung der Masse in eine Drehbewegung umzuwandeln. Die überwiegende Zahl von Gravimetern arbeitet mit rein optischer Ablesung des Meßauschlagess und zu diesem Zwecke ist eine Umwandlung der Längsverschiebung in eine Drehbewegung unerläßlich, da sonst die notwendige Ableseempfindlichkeit nicht erreicht wird. Lediglich die mit horizontaler Feder arbeitenden Schweremesser benötigen keine solche Umwandlung, da dort die Schwereänderung keine Längsverschiebung, sondern unmittelbar eine Drehung bewirkt. Die Nachteile letzterer Systeme (starke Neigungsempfindlichkeit, schwere Arretierbarkeit und große Temperaturempfind-

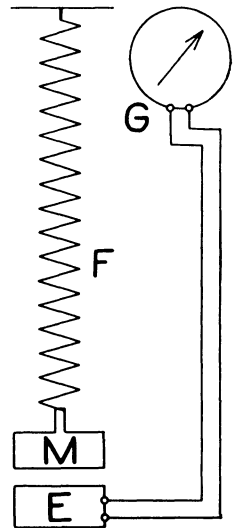


Fig. 3.
Prinzipielle Anordnung des neuen mechanisch-elektrischen Gravimeters. *F* = Feder. *M* = Masse, *E* = Elektrischer Verschiebungsmesser, *G* = Galvanometer

lichkeit) wurden oben bereits erwähnt. Das hier behandelte Gravimeter ist neben dem von Lindblad das einzige, das die Längsbewegung direkt mißt ohne Reibung erzeugende und damit energieverbrauchende Umwandlung in einen Winkelausschlag.

Auf dem Gebiete der Feindehnungs- und Verschiebungsmessung wurden in den letzten Jahren eine Reihe von elektrischen Methoden entwickelt, die ohne Schwierigkeit die Messung von Bruchteilen von μ gestatten. Als Meßverfahren kommen kapazitive, magnetische, photoelektrische und reine (Ohmsche) Widerstandsmethoden in Frage, und zwar fast alle in Form von Brückenschaltungen oder in einer Schwingkreisanordnung. Die zuletzt erwähnten Widerstandsverfahren beziehen sich nicht nur auf Spannungsteilungen längs mechanisch bewegter Kontakte, sondern auch beispielsweise auf Glimmstrecken, wo ionisiertes Gas als Widerstand dient, oder auf Strombahnen in Elektrolyten. Eines der erwähnten Verfahren hat der Verfasser so ausgebaut und weiterentwickelt, daß es in Kombination mit der beschriebenen Federanordnung möglich wurde, die Längsverschiebung einer Feder um 0.002μ ($= 0.01 \text{ mgl}$) ohne Zwischenschaltung eines Verstärkers direkt an einem Lichtmarkengalvanometer normaler Bauart ersichtlich zu machen. Während also bei einer direkten optischen Verstärkung (ohne Hebelübersetzung) eine Vergrößerung von $1:1000$ der zu beobachtenden Vertikalbewegung schon auf große Schwierigkeiten stößt, leistet das entwickelte Meßverfahren bequem das Hundertfache; denn eine Federlängung um 0.01μ kann direkt als Galvanometerausschlag von 1 mm beobachtet werden. Es ist klar, daß als Koppelungselement zwischen der Meßanordnung und dem Federsystem nur ein Gas oder Vakuum als praktisch reibungsfreie Übertragungsglieder in Betracht gezogen werden konnten.

II. Beschreibung des Gerätes. Fig. 4 zeigt das neue Gravimeter. Das Federsystem mit der elektrischen Meßanordnung ist im innersten dickwandigen und druckdichten Gußgehäuse eingebaut. Sämtliche Betätigungshebel sind luftdicht nach oben geführt, so daß sie von außen von einer Stelle aus bedient werden können. Es sind dies der Arretierhebel für die Masse (links), eine Meßtrommel zum Verstellen des Meßbereiches (rechts an der Seite), eine Vorrichtung zum Auflegen eines Eichgewichtes (rechts vorne) und eine Beruhigungsanordnung für die Feder (Mitte). Die beiden letzten Durchführungen brauchen nur selten bedient zu werden und sind zur Messung nicht unbedingt notwendig. Die Libellen mit 60-sec -Teilung sitzen auf dem innersten Gußgehäuse und sind von oben durch ein Glasfenster zu beobachten. Auch die Fußschrauben sind nach oben geführt, was für das Horizontieren bequem ist; man muß nämlich gleichzeitig die Nivellierschrauben drehen und die Libellen im Auge behalten können. Um das innere Gußgehäuse befindet sich ein dreiwandiger Leichtmetallmantel, der einen Thermostaten enthält. Mit Rücksicht auf Stromersparnis ist das Kontaktthermometer mit $1/100^{\circ}$ -Teilung der jahreszeitlichen Temperaturschwankung entsprechend auswechselbar angeordnet. Die zugehörigen Schalter und Relais sind eingebaut (linke Kassette

in Fig. 5), können jedoch auch vom Apparat abgesetzt werden. Für den Betrieb des Gravimeters ist als Stromquelle lediglich ein 12-Volt-Sammler erforderlich, der mit etwa 10 Watt belastet wird. Der Thermostat verbraucht bei 10° Übertemperatur etwa 20 bis 25 Watt.

Das Gewicht des Schweremessers beträgt 57 kg. Das Instrument wird im Meßwagen eingebaut, und zwar so, daß das lästige Umsetzen des Gerätes im Wagen

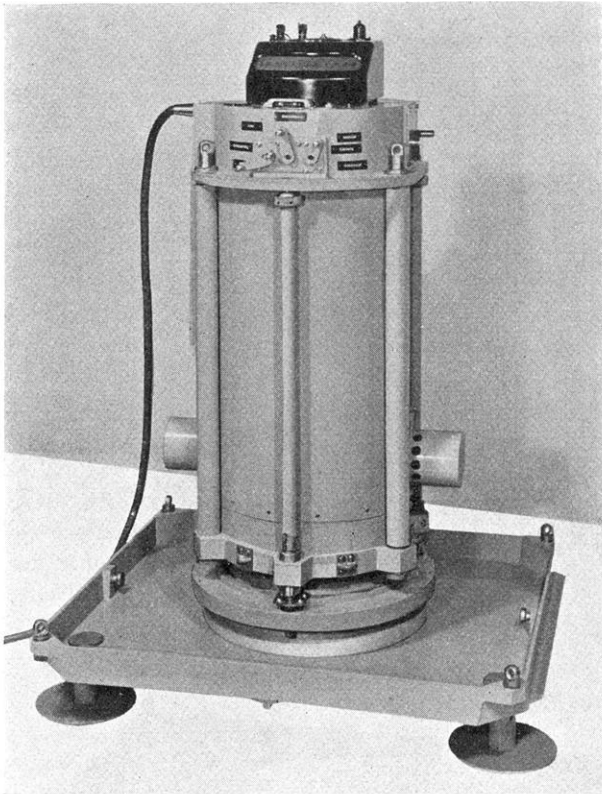


Fig. 4. Außenansicht des neuen Schweremessers mit Stativ

(im Gegensatz zu allen bisher bekannten Geräten) vor und nach der Messung wegfällt. Der Apparat hängt federnd (die drei Federstangen sind mit Rohren umkleidet, siehe Fig. 4 und 5) an Seilen und wird vermittelt einer kleinen Seilwinde auf den Erdboden gelassen und nach der Messung wieder hochgezogen, wobei das Stativ als Abschlußplatte für das Loch im Wagen dient. Letzterer Arbeitsgang wird zweckmäßig vom Fahrer des Wagens ausgeführt, während der Beobachter im Wagen die Messung übernimmt. Die Art der Aufhängung des Instruments und die beschriebene Arbeitsteilung hat sich bei den vielen Meßfahrten recht gut bewährt.

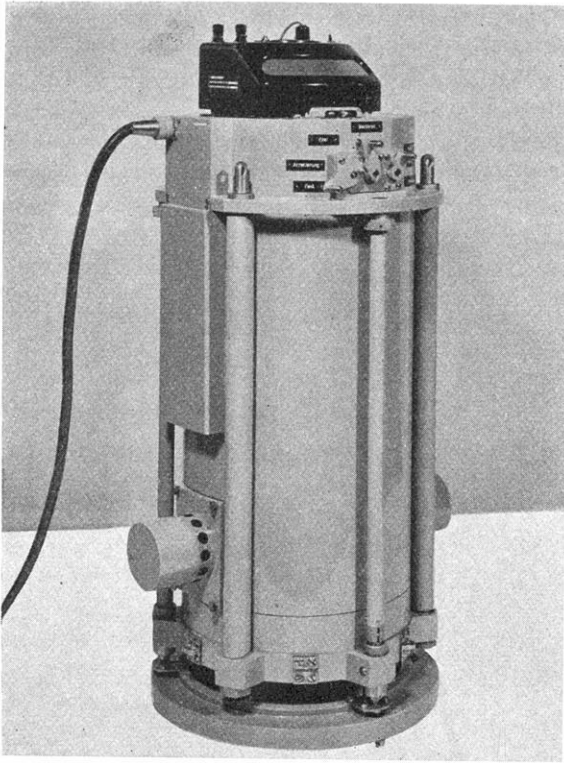


Fig. 5. Seitenansicht ohne Grundplatte

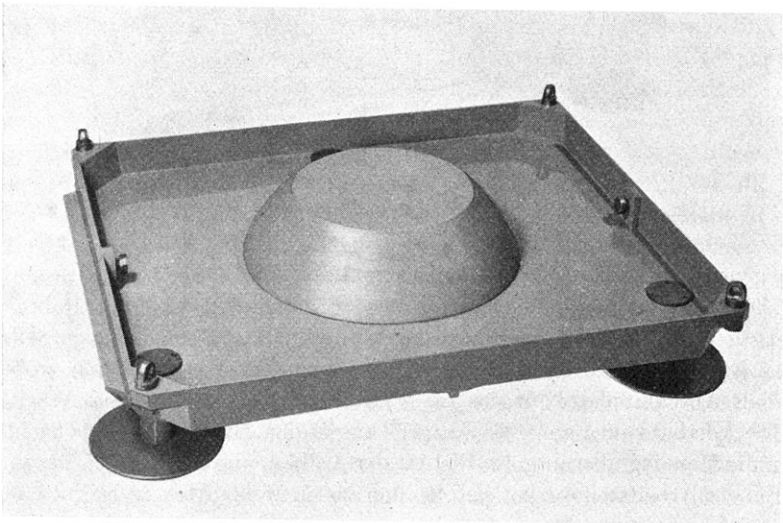


Fig. 6. Stativplatte mit Horizontierkalotte

Zum Zwecke der Beschleunigung der Horizontierung des Gerätes, insbesondere bei unebenem Gelände, ist eine Grob- und Feinjustierung vorgesehen. Das Gravimeter sitzt bei der Messung auf einer Kugelkalotte (Fig. 4 und 6) und kann auf derselben hin- und hergerutscht werden. Nach Einspielen einer groben Dosenlibelle erfolgt die Feinjustierung vermittelt der Nivellierschrauben.

III. Vornahme der Messung und Meßdauer. Nach dem Anhalten des Wagens wird der Apparat auf den Boden gesenkt und horizontalisiert (Zeitdauer 1 bis 2 min). Nach dem Entarretieren beruhigt man die Feder durch ein einfaches Verfahren, wartet etwa 2 min und liest dann den Meßausschlag am Galvanometer oder an der Meßtrommel, vermittelt der man den Galvanometerausschlag kompensieren kann, ab. Die Einhaltung eines besonderen Meßschemas zur Eliminierung von elastischen Nachwirkeffekten, wie sie von Beobachtern bei anderen Gravimetern häufig in Benutzung sind, ist hier nicht notwendig, bei langen Punktabständen und großen Schwereunterschieden an sich aber empfehlenswert.

Ein geschulter Beobachter benötigt zu einer Messung vom Anhalten des Wagens bis zur Weiterfahrt etwa 4 bis 5 min.

Da jeder Punkt doppelt gemessen wird (Hin- und Rückfahrt), so entfallen bei täglich 20 neuen Stationen rund 3 Stunden auf die reine Meßzeit, die übrigen 5 Stunden (bei achtstündiger Meßzeit) auf die Transportzeit. Letztere hängt ausschließlich von den Transportmitteln und der Beschaffenheit der Wege und Straßen ab. Bei 20 Stationen pro Tag entfallen also 7 bis 8 min für den Transport von Meßpunkt zu Meßpunkt. Bei Abständen von 1 km ist dann noch eine Transportgeschwindigkeit von 10 km/Stunde im Durchschnitt ausreichend, bei 3 km Abständen eine solche von 30 km/Stunde, wenn das Tagesprogramm bewältigt werden soll.

IV. Neigungsempfindlichkeit. Aus der Fig. 7 ist die Neigungsempfindlichkeit für die beiden horizontalen Richtungen ersichtlich. Sie beträgt nur 0.1 mgf für eine Neigung um 90'' sec im mittleren Bereich.

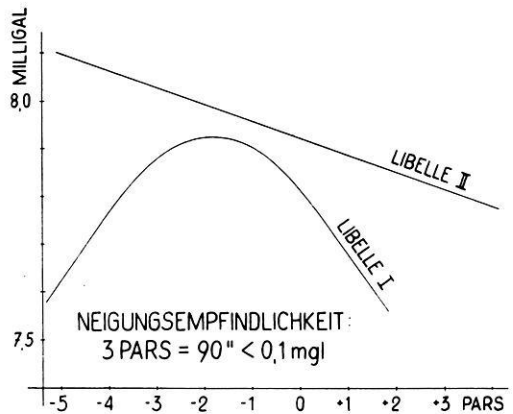


Fig. 7. Neigungsabhängigkeit des Schweremessers in den beiden horizontalen Richtungen

Wenn man bedenkt, daß die Masse vollkommen frei an einer vertikalen Feder hängt und daher Symmetrie nach allen Seiten gegeben ist, so kann man schon ohne Rechnung erkennen, daß der Einfluß einer Stativneigung kein großer auf die Einstellung sein kann und eine Minimumlage zu erwarten ist. Denn bei symmetrischer Bauart muß eine Neigung nach der einen Seite denselben Effekt wie eine

solche nach der anderen ergeben. Außerdem wurden noch besondere Maßnahmen getroffen, um den theoretisch zu erwartenden Neigungsausschlag noch weiter zu verändern.

Eine kleine Neigungsempfindlichkeit ist für die Abkürzung der Meßzeit von großer Bedeutung. Man benötigt nicht nur für die Horizontierung weniger Zeit, sondern braucht auch auf die Auswahl des Bodens kein so großes Gewicht zu legen. Ist nämlich der Untergrund weich oder gar sumpfig oder gefroren, so laufen die Libellen während der Messung weg, was den Beobachter bei sehr neigungsempfindlichen Geräten auf harte Geduldsproben stellt.

V. Luftdruck, Feuchtigkeits- und Windeinfluß. Da die empfindlichen Teile luftdicht abgeschlossen sind, so sind Luftdruck- und Feuchtigkeitsschwankungen für die Messungen bedeutungslos. Gerät und Beobachter befinden sich in einem geschlossenen Wagen, es kann daher auch bei Regen und Schnee gemessen werden. Das Gerät wie das Stativ bieten in der Meßstellung dem Wind nur eine geringe Angriffsfläche. Hieraus folgt eine große Windfestigkeit, die durch besondere Maßnahmen, etwa Windklappen usw., noch gesteigert werden kann. Im Laufe der Versuchsmessungen wurden viele bei starken Winden durchgeführt (bis zu Windstärke 8), ohne daß merkliche Fehler beobachtet werden konnten.

VI. Ableseempfindlichkeit. Die Ableseempfindlichkeit kann in weiten Grenzen beliebig eingestellt werden. Am praktischsten ist ein Ausschlag von etwa 5 bis 10 mm am Galvanometer (= 3 bis 6 Skalenteile) für 1 mgl. Erheblich höher zu gehen empfiehlt sich nicht wegen der mikroseismischen Bodenunruhe. Die Einstellung wird dann zu zappelig. Nur auf festem Boden ist es unter Umständen (bei Registrierung der Gezeiten) empfehlenswert, die Meßempfindlichkeit um eine Zehnerpotenz zu steigern.

VII. Meßgenauigkeit. Bisher wurden mit den Versuchsgeräten Nr. 3 und 4 etwa 300 bis 400 Stationen im Felde vermessen, und zwar mit zwei verschiedenen Federn. Die erste Meßreihe mit über 100 Stationen ergab bei Punktabständen von etwa 1 bis 3 km einen mittleren Fehler von ± 0.17 mgl, die zweite Meßreihe mit Abständen von 8 bis 10 km und einer Tagesleistung von sechs bis sieben neuen Stationen einen mittleren Fehler von etwa ± 0.2 mgl, und die dritte Meßreihe mit etwa 200 Stationen bei einer Tagesleistung von 18 neuen Stationen mit Punktabständen von 1 bis 3 km eine Genauigkeit von über ± 0.1 mgl. Die dritte Meßreihe wurde mit der zweiten, besseren Feder ausgeführt (Fig. 8).

Es sei betont, daß sich diese Angaben auf die ersten feldfähigen Versuchsgeräte in Holzgehäusen beziehen, die in bezug auf gediegene mechanische Ausführung dem Seriengerät unterlegen sind.

Die Bestimmung der Meßgenauigkeit von Gravimetern nach den bekannten Gaußschen Formeln ist nicht ganz eindeutig, da ja der Faktor Zeit in diesen gar nicht enthalten ist, obgleich er die Genauigkeit stark beeinflusst. Ebenso ist es mit dem Skalenwert. Eine in sich gute Messung kann doch falsch sein, wenn der

Eichwert nicht richtig ist. Die Konstanz und exakte Bestimmbarkeit des Skalenwertes gehört also ebenso zur Charakterisierung der Genauigkeit eines Gerätes wie die Einstellsicherheit und Reproduzierbarkeit des Ausschlages. Man hat

Isogammenbild des Salzstockes Sperenberg

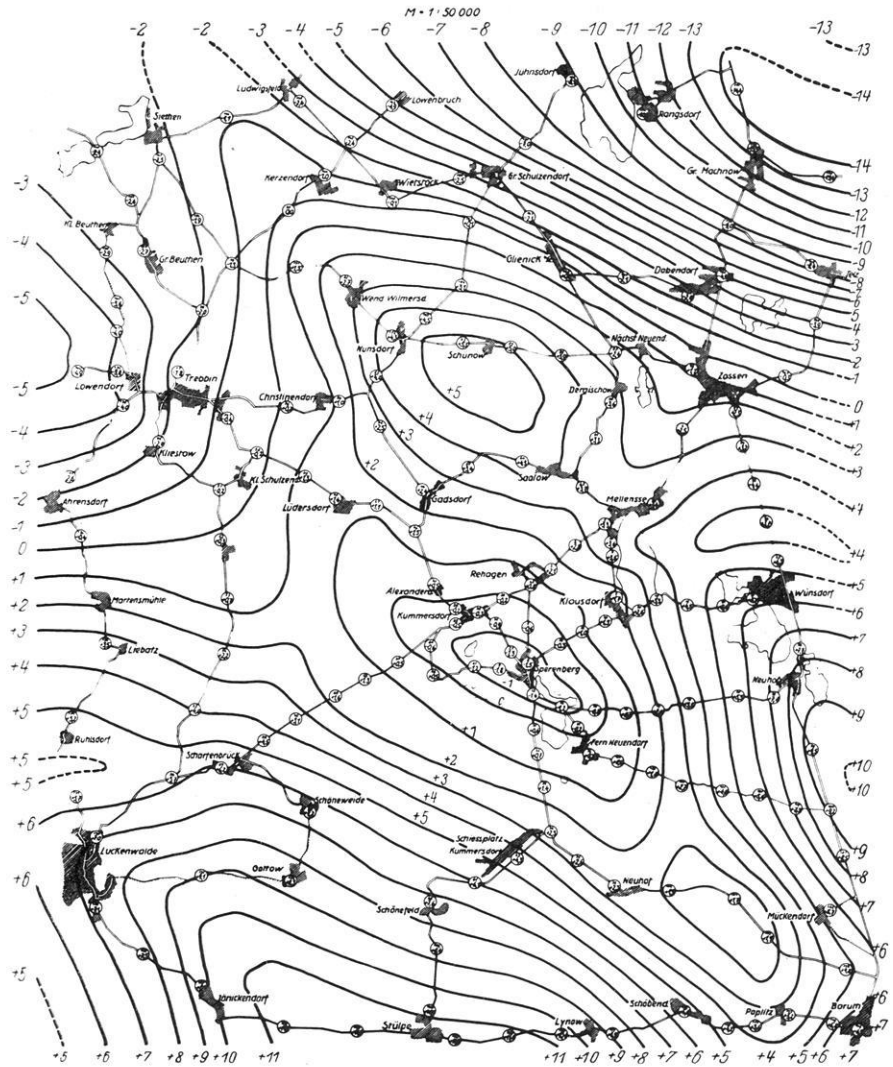


Fig. 8. Isogammenbild des Salzstockes Sperenberg auf Grund von 178 Stationen, die in zehn Arbeitstagen mit einem mittleren Fehler von ± 0.1 mgl vermessen wurden. Meßgebiet 730 km²

daher zwischen innerer und wirklicher Meßgenauigkeit zu unterscheiden. Letztere kann nur bei Vorhandensein von Meßpunkten mit bekanntem Schwereunterschied ermittelt werden.

In der amerikanischen Literatur findet man des öfteren Schleifenschlußfehler als Genauigkeitsangaben für Schweremesser. So gibt Mott-Smith bei einer mittleren Schleifenlänge von 42 km und etwa 3 bis 5 Meßpunkten einen mittleren Schlußfehler von ± 0.13 mgl an. Wendet man diese Methode auf die nach Fig. 8

Tabelle 1

Meßschleife	Länge in km	Zahl der Meßpunkte	Anschlußfehler (mgl)
6—40—1—42—6	12	13	0.02
6—25—42—6	7	7	0.10
6—25—66—6	8.5	9	0.03
1—44—25—1	17	13	0.14
6—66—56—125—108—34—6	45.5	29	0.02
34—108—114—105—34	31	19	0.43
13—34—114—98—13	38	24	0.03
6—14—98—97—40—6	21	19	0.02
1—40—97—92—1	20	17	0.08
25—56—51—46—25	29	21	0.02
56—51—136—56	36	14	0.05
51—139—157—78—50—51	21	11	0.01
78—148—147—78	13.5	7	0.21
46—50—51—138—76—83—46	22	13	0.01
46—50—77—79—83—46	25	15	0.05
44—83—87—63—44	21.5	13	0.07
87—92—1—63—87	16	8	0.14
143—147—79—143	16	8	0.09
143—79—172—150—143	23	12	0.17
87—83—153—87	21	10	0.10
87—163—166—93—87	17	7	0.11
93—168—170—166—93	16	6	0.00
Mittelwerte:	21.7 km	13—14 Punkte	0.086 mgl

gemessenen Profile an, so erhält man bei einer mittleren Profilstrecke von 21.7 km und 14 Zwischenpunkten einen mittleren Schlußfehler von 0.086 mgl. Hierbei sei darauf hingewiesen, daß die Sperenberger Profile ohne, die von Mott-Smith aber mit Thermostaten gemessen wurden. In Tabelle 1 sind die einzelnen Profile mit den Meßschleifen aus Fig. 8 im einzelnen angeführt.

VIII. Meßbereich. Da man, wie bereits erwähnt, am praktischsten mit einem Ausschlag von 3 bis 5 Skalenteilen für 1 mgl am Galvanometer arbeitet, so würde bei einer 100teiligen Skala der Meßbereich nur 20 bis 30 mgl betragen. Es mußte daher eine Anordnung getroffen werden, um den Meßbereich zu verstellen. An einer oben seitlich (Fig. 4) angebrachten Meßtrommel kann der Galvanometerausschlag kompensiert werden, so daß man die Schwereänderung auch an der Mikrometertrommel ablesen kann. Da das Zählrad 160 Zähne hat und eine

Umdrehung (= 100 Skalenteile der Trommel) etwa 10 mg/l entspricht, so ist der wirkliche Meßbereich etwa 1600 mg/l. Ein so großer Meßbereich dürfte bei einer so hohen Ableseempfindlichkeit wohl von keinem anderen Gravimeter erreicht werden. Es ist also beispielsweise möglich, an jedem beliebigen Ort innerhalb Deutschlands zu messen, ohne daß das Gravimeter neu eingestellt zu werden braucht. Sollte jedoch in anderen Kontinenten der Schwereunterschied (etwa bei Messungen im Hochgebirge) größer sein als 1600 mg/l, so läßt sich nach Abnehmen der oberen Haube des Gerätes der Meßbereich leicht neu einstellen und den Verhältnissen anpassen. Gegebenenfalls kann natürlich auch bei halber Empfindlichkeit der Meßbereich verdoppelt, also auf 3200 mg/l gebracht werden usw. Dieser Bedarfsfall dürfte jedoch praktisch kaum eintreten.

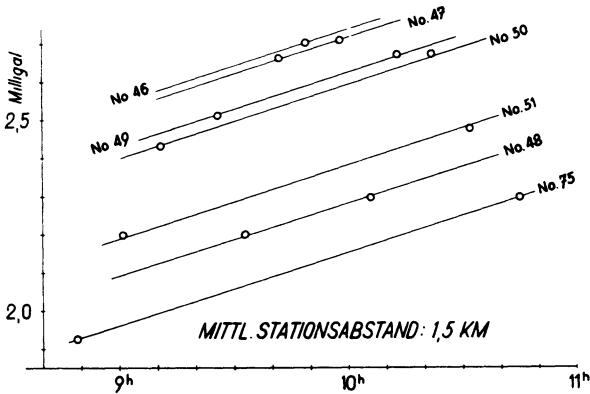


Fig. 9.

Beispiel eines Meßprofils ohne Verwendung eines Thermostaten

IX. Thermostat. Wie bereits erwähnt, ist zur Konstanthaltung der Temperatur ein Thermostat vorgesehen. Die Regeltemperatur des Heizkreises kann durch Auswechseln des Kontaktthermometers in mehreren Stufen eingestellt werden.

Wie die ausführlichen Messungen an den Versuchsinstrumenten Nr. 3 und 4 ergaben, ist nur bei langen Zeitabständen zwischen Hin- und Rückmessung eines Profils die Benutzung des Thermostaten notwendig. Die 178 Meßpunkte der Fig. 8 wurden sämtlich ohne Thermostaten gemessen, und zwar mitunter an Tagen, an denen über 10 bis 15° Temperaturunterschied auftraten. Fig. 9 zeigt ein Meßprofil ohne Thermostaten vom 25. Mai 1938. Man erkennt, daß der Gang etwa 0.2 mg/l/Stunde betrug und die Übereinstimmung von Hin- und Rückmessung nach Abzug des Ganges innerhalb weniger Hundertstel Milligal lag.

Für den Beobachter bequemer und leichter ist das Messen mit Temperaturregler. Zwar bleibt auch in diesem Falle ein kleiner Gang in den Messungen erkennbar, aber er ist um mehr als eine Größenordnung kleiner. Gänge, die früher 2 bis 3 mg/l/Stunde betragen, gehen auf 0.1 mg/l/Stunde und darunter zurück und

treten erheblich „linearer“ in Erscheinung. Die Meßprofile können jetzt über den ganzen Tag ausgedehnt werden; es genügt, wenn eine Profilstrecke mit 10 bis 20 Meßpunkten von früh bis mittags hin- und von mittags bis nachmittags rückvermessen wird. So konnte beispielsweise im Februar 1938 eine Meßstrecke mit 33 Punkten und 250 km Länge in 5 Tagen hin- und rückvermessen werden, bei einer mittleren Genauigkeit von etwa ± 0.2 mgl.

X. *Transportfestigkeit.* Das neue Gravimeter verträgt im Vergleich zu anderen eine verhältnismäßig rauhe Behandlung. Beispielsweise wurde bei den Versuchsmessungen dreimal vergessen zu arretieren. Trotzdem konnte schon wieder beim übernächsten Meßpunkt ohne Öffnung des Gerätes weitergemessen werden. Auch bei starken Stößen sind die auftretenden Sprünge erheblich kleiner wie bei anderen Geräten. Das Gravimeter hat bei den verschiedensten Meßfahrten auf sehr schlechten Wegen öfters so hart gegen die Wagenwandung geschlagen, daß starke Einbeulungen sichtbar waren. Trotzdem betragen die bei solchen Stößen auftretenden Sprünge nie über 1 bis 2 mgl.

Bei den nunmehr in der Zeit von 6 Monaten sich erstreckenden Versuchsmessungen ist es niemals vorgekommen, daß das Gerät auf einer Meßbreiße hätte geöffnet werden müssen.

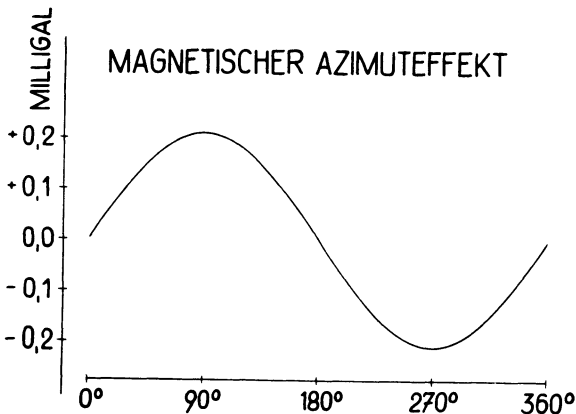


Fig. 10. Einfluß eines horizontalen Feldes (2 Gauß) auf das Versuchsgerät Nr. 3

XI. *Auswertung der Messungen; Azimutempfindlichkeit (magnetischer Einfluß).* Die am Galvanometer oder an der Meßtrommel abgelesenen Meßausschläge brauchen nur mit dem jeweiligen Skalenwert multipliziert zu werden, um die Schweredifferenz in mgl zu erhalten. Eine Libellenkorrektur ist nicht erforderlich, da die Horizontierung leicht in den Grenzen gehalten werden kann, innerhalb derer der Einfluß auf die Messung verschwindend ist. Wie bereits berichtet, ist eine Berücksichtigung der Luftdruckschwankungen nicht notwendig. Dagegen ist eine *magnetische* Korrektur in Rechnung zu ziehen, die merkwürdigerweise nicht vom

vertikalen, sondern vom horizontalen Erdfeld herrührt. Untersucht man das Gravimeter vermittelt großer Helmholtz-Spulen im zehnfachen Erdfeld, so zeigt sich je nach der verwendeten Feder ein magnetischer Vertikaleffekt von etwa 0.4 bis 0.7 mgl und ein *sinusförmiger* Horizontaleffekt (Azimuteffekt) von 1 bis 4 mgl. Letzterer ist also zu beachten, wenn man 0.1 mgl Genauigkeit anstrebt: denn er ist nicht wie der Vertikaleffekt innerhalb eines Untersuchungsgebietes praktisch konstant, sondern geht schon beim kürzesten Profil in die Messung ein, wenn die Straße ihre Richtung ändert. In der ungünstigsten Stellung mißt man also 0.1 bis 0.4 mgl Differenz, wenn man die Fahrtrichtung wechselt. Glücklicherweise fällt die ganze Korrektur weg, wenn man ein Profil hin- und rückvermißt, da dann die Fahrtrichtung jeweils um 180° verdreht ist. Fig. 10 zeigt das Verhalten von einer der verwendeten Federn im zehnfachen horizontalen Erdfeld. Dieselbe Erscheinung und dieselbe Größenordnung des magnetischen Effektes wurde schon vorher von der Gulf Oil and Refining Company bei ihren Gravimetern festgestellt; da sich auch bei letzterem Gerät Masse und unterstes Federende völlig frei bewegen können, so ist anzunehmen, daß die Ursache auf eine Drehung des unteren Federendes unter dem Einfluß des horizontalen Erdfeldes zurückzuführen ist.

XII. Schwereregistrierungen. Die Registrierung der Gezeiten ist bisher nur mit zwei Gravimetern gelungen, und zwar mit den stationären Instrumenten von Tomaschek und der Gulf Oil and Refining Company. Keines von diesen Geräten eignet sich gleichzeitig auch für Geländemessungen. (Das Gravimeter für zeitliche Schwerkraftmessungen der Gulf ist nicht identisch mit dem für lokale.) Das hier beschriebene Gravimeter ist unmittelbar auch zur Messung der Gezeiteneinflüsse verwendungsfähig. Erforderlich ist ein möglichst erschütterungsfreier Ort und ein Raum mit guter Temperaturkonstanz. Das Lichtmarkengerät wird durch ein Spiegelgalvanometer mit Registriertrommel ersetzt oder bei Zwischenschaltung eines Spezialgleichstromverstärkers durch einen Tinten- oder Fallbügelschreiber. Fig. 11 zeigt Schwereregistrierungen (Gravigramme), die im März 1938 400 m unter Tage im Kaiser Wilhelm-Stollen in Clausthal aufgezeichnet wurden. Die Empfindlichkeit betrug etwa 0,7 mgl für 10 cm Papierbreite, die Eichung erfolgte durch ein künstliches Magnetfeld. Zweckmäßiger und noch genauer wird die Eichung durch Luftdruckänderungen vermittelt eines kleinen Druckkolbens ausgeführt. Bei den Aufnahmen nach Fig. 11 war der Fallbügelschreiber aus Gründen einer besseren Dämpfung über 30fach geschuntet. Die Meßempfindlichkeit hätte also ohne Erhöhung der elektrischen Verstärkung noch über 30mal größer gemacht, also auf etwa 0.02 mgl für 10 cm Ausschlag gesteigert werden können. Doch zeigen bereits die Kurven in Fig. 11, daß sowohl der zeitliche Gang der Feder wie die Bodenunruhe selbst im festen Gestein nicht so hohe Empfindlichkeiten auszunutzen gestatten. Aus der mittleren Kurve, die bei Vollmond registriert wurde, sieht man, daß die Mikroseismik eine Funktion der Gezeiten ist. Die Größe und Änderung des Ganges, die sich nach den ersten 2 Tagen (siehe Fig. 11) ein-

stellte, rührt nicht von der Feder oder der elektrischen Meßanordnung her, sondern vom Einfluß der Wetterführung im Stollen. Die Aufstellung des Gerätes unmittel-

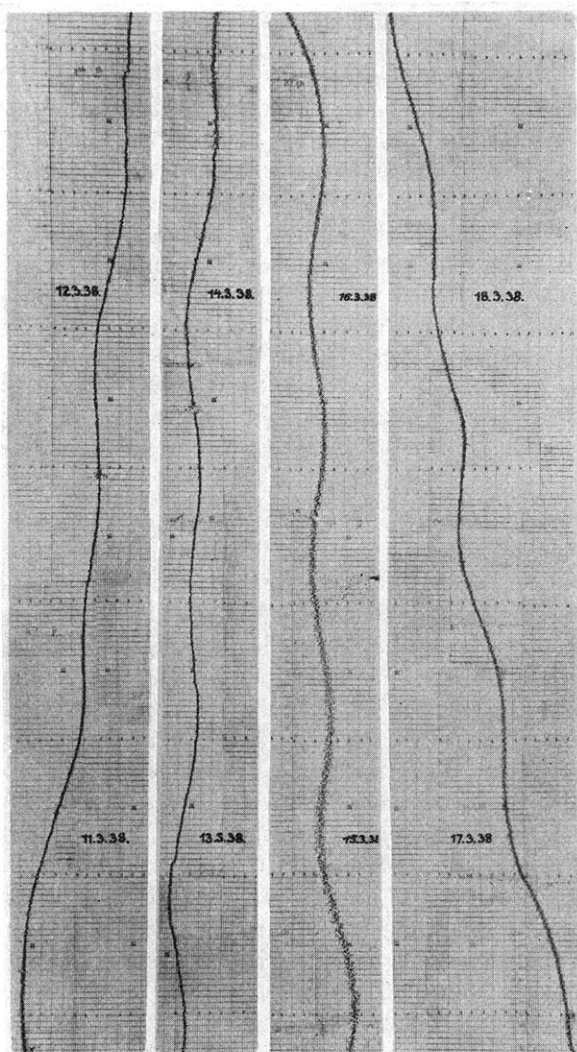


Fig. 11. Registrierung der Gezeiten im Kaiser Wilhelm-Stollen in Clausthal (400 m unter Tage); 0.7 mgI = 10 cm Meßausschlag

bar an der Hauptstrecke war insofern etwas ungünstig, als der sonst unter Tage wegfallende Temperatureinfluß durch die Wetterführung zwar schwach, aber immerhin erkennbar in Erscheinung trat.



Fig. 12. Das neue Gravimeter in Meßstellung

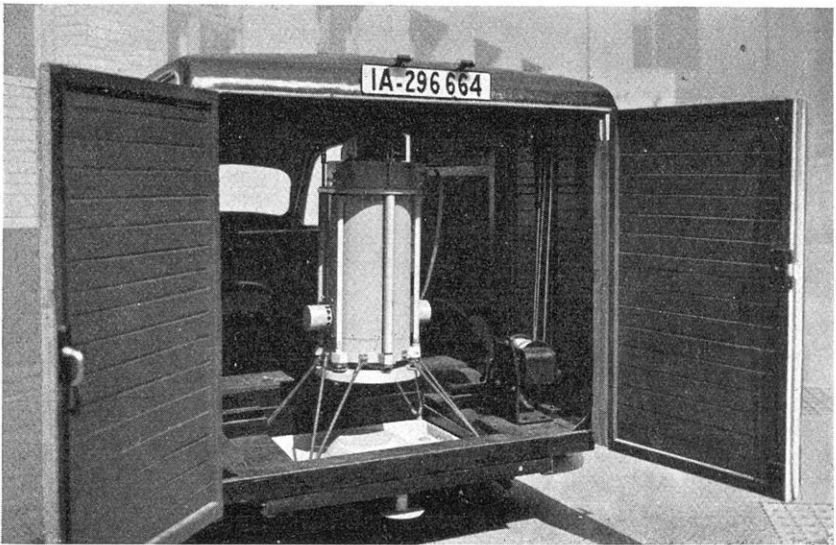


Fig. 13. Das neue Gravimeter in Transportstellung

Die Messungen bei so hoher Empfindlichkeit verfolgten noch nebenbei den Zweck zu zeigen, daß die elektrische Meßanordnung vollkommen kontinuierlich und linear arbeitet, daß also selbst mit der „Lupe“ beobachtet keinerlei Unstetigkeiten im Schwerediagramm aufzufinden sind.

XIII. Der Fehlereinfluß der elektrischen Meßanordnung. Wenn man bedenkt, daß die Federlänge bei Gravimetern auf den 10^{-7} Teil ihrer Größe konstant sein muß, so mag man überrascht sein, daß die elektrische Meßanordnung eine so hohe Genauigkeit der Messung zuläßt. Ist es doch schon schwierig, elektrische Ströme und Spannungen auf 10^{-3} genau zu messen, geschweige denn auf 10^{-7} . Bei näherer Betrachtung erkennt man jedoch, daß der elektrische Teil der Meßanordnung gar nicht die Funktion eines Meß-, sondern nur eines Übertragungsorgans besitzt. Außerdem ist selbst für diese Übertragung gar nicht der gesamte Schwerewert von 981 000 mg! maßgebend, da dieser ja von der Feder kompensiert wird, sondern nur der Bruchteil, der den Meßbereich umfaßt, nämlich 1600 mg!. Fehler der elektrischen Meßanordnung, also beispielsweise Absinken von Spannungen, Temperatureinflüsse der Stromquellen und der Meßinstrumente oder anderer empfindlicher Teile, treten überhaupt nicht als Fehler der Anzeige in Erscheinung, da das Meßverfahren als Nullmethode ausgebildet ist.

Aber selbst dann, wenn das Verfahren so abgestellt wird, daß man die elektrischen Größen nicht nur als Anzeige-, sondern auch als Meßwerte benutzt, können die oben erwähnten Fehlermöglichkeiten die Messung nur in stetiger Form beeinflussen. Im letzteren Falle wird man etwa zwei- bis dreimal am Tage eine Eichung des Gerätes durch das eingebaute Eichgewicht vornehmen und eine etwaige Veränderung der Empfindlichkeit entsprechend in Rechnung stellen. Eine solche Eichung dauert etwa 1 bis 2 min.

XIV. Zusammenfassung. Es wurde ein neues Gerät zur Messung und Registrierung von lokalen und zeitlichen Schwereänderungen beschrieben. Der mittlere Fehler beträgt etwa ± 0.1 mg! bei einmaliger Wiederholung jeder Station (Hin- und Rückmessung). Ein Durchschnitt von 20 Punkten pro Tag ist bei guten Wegeverhältnissen und bei Punktabständen bis zu 3 km ohne Schwierigkeit erreichbar. Die Neigungsempfindlichkeit ist gering, die Ableseempfindlichkeit und der Meßbereich im Vergleich zu anderen Geräten groß.

Das Instrument verträgt eine verhältnismäßig rauhe Behandlung und ist wind-, wetter- und tropenfest.

Die hohe Meßgenauigkeit und der große Meßbereich einerseits und die sehr genaue Bestimmbarkeit und Konstanz des Eichwertes andererseits, lassen das neue Gravimeter geeignet erscheinen, in einem noch weiteren Umfange als Ersatz für Pendelapparate herangezogen zu werden, als das bei anderen Gravimetertypen der Fall ist.

Berlin-Friedenau, den 19. Juli 1938.
