

Werk

Jahr: 1935

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:11

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0011

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0011

LOG Id: LOG_0020

LOG Titel: Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Nord- und Ostsee und in Norddeutschland

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

In ganz ähnlicher Weise läßt sich diese Methode auch auf den subpolaren Zwischenstrom, der ja auch nichts anderes als ein Einschub andersgearteter Wassermassen in einem anderen Wasserkörper anzusehen ist, anwenden. Auch in diesem Falle werden wir dadurch Kenntnis des Verhältnisses A/u in ihm gewinnen und so auf die zwei wichtigsten Bestimmungsstücke einer Meeresströmung: seinen Wassertransport und seine Mischungsintensität, schließen können.

Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Nord- und Ostsee und in Norddeutschland

Von **H. Haalek**, Potsdam — (Mit 8 Abbildungen)

Die Versuche mit dem statischen Schweremesser hatte ich für Messungen auf dem festen Lande im vorigen Herbst zu einem gewissen Abschluß gebracht mit dem Ergebnis, daß der mittlere Fehler einer einzelnen Messung mit dem jetzigen einfachen Versuchsapparat etwa ± 2 bis 3 Milligal beträgt. Praktisch bedeutete es, daß man bei einer gravimetrischen Vermessung mit einem drei oder vier voneinander unabhängige Instrumente enthaltenden Apparat, dessen Bau ich schon seit einem Jahre plante, oder durch häufige Wiederholungen mit dem einfachen Instrument, eine Genauigkeit erhalten kann, welche derjenigen des Pendels (etwa ± 1 Milligal) zum mindesten gleichkommt. Leider habe ich die Mittel für den Bau des neuen Instruments erst jetzt erhalten, so daß meine Hoffnung, bereits in diesem Sommer einen erheblichen Teil der norddeutschen Tiefebene mit einem dichten Netz von Schweremessungen überziehen zu können, nicht verwirklicht werden konnte. Es wurden daher nur die Versuche mit dem jetzigen einfachen Instrument fortgesetzt.

a) Messungen auf fahrenden Schiffen

Da bei den Messungen auf einem fahrenden Flußdampfer auf der Elbe im September v. J. bereits eine durchschnittliche Genauigkeit von etwa ± 3 bis 4 Milligal erzielt werden konnte, so wurden die Versuche zunächst in der Richtung fortgesetzt, die Verwendungsmöglichkeit des Instruments für Schweremessungen auf See zu prüfen. Die instrumentellen Faktoren, welche dabei in erster Linie beachtet werden müssen, sind:

1. der zeitliche Gang der Nullage,
2. die Dämpfung.

Bei Messungen auf dem festen Lande sind diese Umstände von geringer Bedeutung. Man kann ohne weiteres mit einem nur wenig gedämpften Apparat arbeiten, da

dieser an den einzelnen Beobachtungspunkten genügend ruhig hängt. Ebenso ist der an sich geringe zeitliche Gang der Nullage aus Anschlußmessungen an Pendelstationen oder aus Wiederholungsmessungen ohne weiteres zu eliminieren. Für Messungen auf dem Meere liegen in dieser Hinsicht die Umstände aber bedeutend ungünstiger: Anschlußmessungen können zuweilen nur in ganz großen Zeitabständen gemacht werden, und die Schwankungen des Aufstellungsortes sind so groß, daß Ablesungen nur bei hinreichend stark gedämpften Apparaten möglich sind. Die Frage war nur, wieweit diese beiden Umstände die Genauigkeit der statischen Schweremessungen auf See beeinträchtigten.

1. Erste Fahrt auf Elbe und Nordsee.

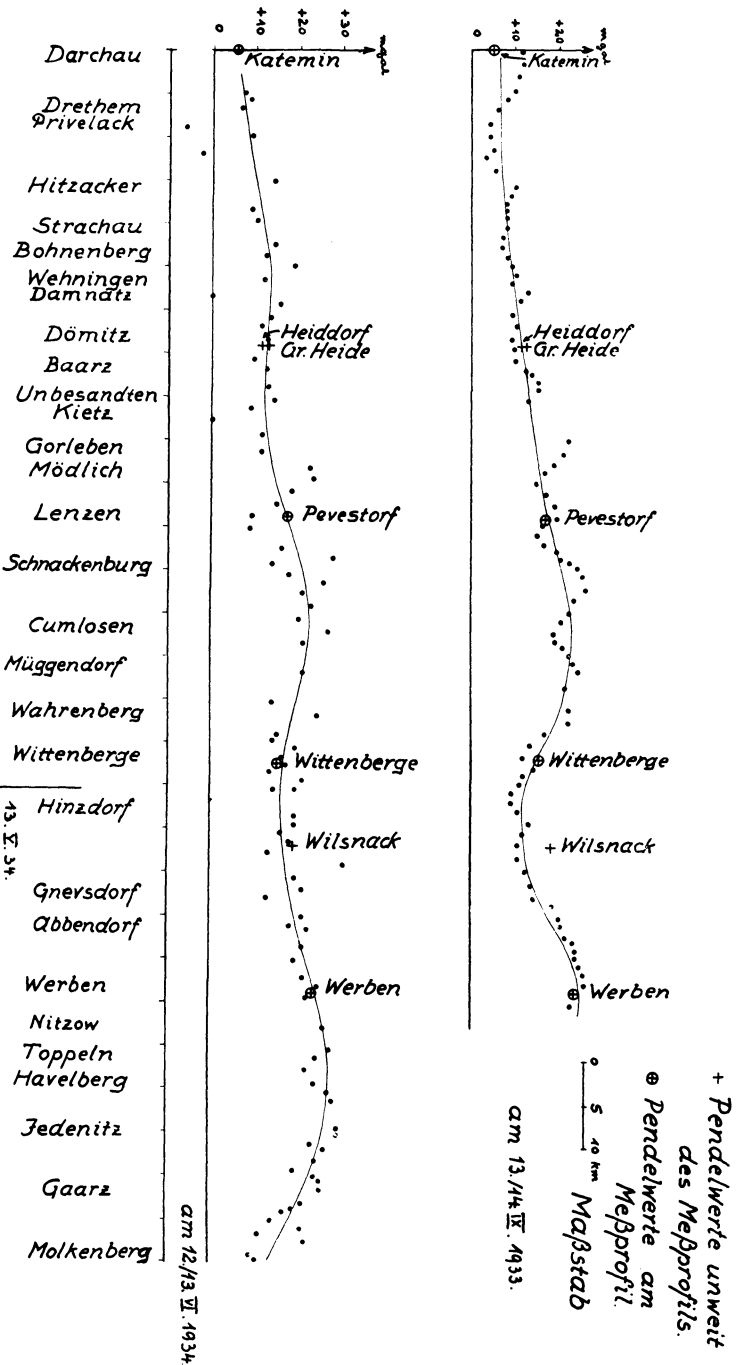
Die erste Messungsfahrt auf der Nordsee wurde Anfang Mai dieses Jahres ausgeführt an Bord des etwa 10000 Tonnen großen Frachtschiffes „Geierfels“ der Hansalinie*) von Hamburg nach Antwerpen und zurück auf dem gleich großen Dampfer „Freienfels“. Damit verbunden wurde eine Wiederholung der vorjährigen Messungen auf der Elbe und Havel von Hamburg bis Spandau**). Das Instrument befand sich in dem gleichen Zustand wie bei der Messungsfahrt im September 1933: Die Dämpfung war nur sehr gering, der Skalenwert betrug 12.5 (d. h. einem Zentimeterausschlag der Menisken entsprach eine Schwereänderung von 12.5 Milligal). Der gesamte Ablesebereich betrug etwa 230 Milligal.

Obwohl die Nordsee sehr ruhig war, waren Ablesungen auf offener See nicht möglich. Infolge der geringen Dämpfung schwankten die Menisken meistens nach beiden Seiten über den Ablesebereich hinaus, so daß die Mittellage nicht bestimmt werden konnte. Schweremessungen konnten daher nur auf dem Unterlauf der Elbe von Hamburg bis Neuwerk, außerdem in den kurzen Abschnitten von Antwerpen und von Rotterdam bis zur See vorgenommen werden. Bei diesen Messungen lag die Amplitude der Schwankungen meistens in der Größenordnung von 10 bis 30 Milligal, oft noch darüber hinaus, sehr häufig betrug sie aber auch nur wenige Milligal. Beobachtet wurden meistens die Amplituden, aus denen nach Beendigung der Messungsreise die Mittelwerte abgeleitet wurden. Die Berechnungsarbeiten sind dann ja sehr einfach: Die Ablesewerte werden mit dem Skalenwert multipliziert. Als Korrektion wurde die von Richtung und Geschwindigkeit des Schiffes abhängige sogenannte „Eötvös-Korrektion“ angebracht und sodann, um die Anomalien für sich dargestellt zu erhalten, die Normalwerte nach der älteren Formel von Helmert von 1901 in Abzug gebracht. Für die oberhalb Hamburgs liegenden Messungen wurden außerdem noch die geringe Freiluft- und Bouguersche Korrektion berücksichtigt. Die Eötvös-Korrektion wegen der Ost-West-Ge-

*) Der Hansalinie möchte ich für die freundliche Hilfe und Unterstützung, welche ich bei den Messungen erfuhr, bestens danken.

***) An dieser Messungsfahrt nahmen Herr Dr. Jung und Herr cand. ing. Rebenstorff teil, die sich sowohl an den Beobachtungen wie an der Auswertung der Beobachtungsergebnisse beteiligten.

Fig. 1. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Elbe und Havel von Darchau bis Schollene



schwindigkeit des Aufstellungsortes bildet, wie schon im vorigen Jahre festgestellt wurde, die wesentlichste Fehlerquelle bei den statischen Schweremessungen; sie ist größer als die im Apparat selbst liegende Messungsunsicherheit. Der Gesamtbetrag der Eötvös-Korrektion schwankte etwa zwischen + 70 und -- 70 Milligal auf dem Seedampfer, zwischen + 30 und -- 10 Milligal auf dem Flußdampfer. Geschwindigkeit und Richtung des Schiffes ändern sich auf der Elbe fast ununterbrochen, während der Fahrt, das gilt besonders für den Flußdampfer oberhalb Hamburgs. Die Angaben, welche wir unterhalb Hamburgs vom Steuermann über Kurs und Geschwindigkeit des Schiffes erhielten, genügen, wie wir haben feststellen müssen, für die hinreichend genaue Erfassung der Eötvös-Korrektion an den einzelnen Meßpunkten nicht, weil man immer nur den durchschnittlichen Wert für größere Wegstrecken erhält.

Die Wiederholung der Messungen auf dem Flußdampfer)* von Spandau bis Hamburg gab zunächst einen Aufschluß über die Ursache der zeitlichen Änderung der Nullage und ein Bild über die Reproduzierarbeit der Messungen. Auf der Hinfahrt — es waren sehr heiße Tage — schmolz das Eis außerordentlich schnell ab. Der zeitliche Gang nahm sehr zu und erwies sich als nicht linear. Nachträglich stellten wir fest, daß der Wärmeschutz im Laufe der Zeit defekt geworden war. Durch das Wasser, das häufig in den Daunenschutz eingedrungen war, waren die Daunen zum großen Teil vermodert, so daß der Wärmeschutzmantel nur noch teilweise isolierte, was natürlich ungleichmäßiges Abschmelzen des Eises zur Folge hatte. Wir konnten diesen Mangel dadurch — und zwar schon ziemlich vollständig — abschwächen, daß häufig und sorgfältig Eis nachgefüllt wurde. Um sicher zu gehen, haben wir nur die Meßprofile berücksichtigt, welche frei von jedem zeitlichen Gang der Nullage sind.

Fig. 1 zeigt das Ergebnis der statischen Schweremessungen *auf der Elbe und Havel von Darchau bis Molkenberg* am 12. und 13. Mai; in der oberen Kurve ist zum Vergleich das Ergebnis der Messungen in diesem Abschnitt vom September 1933 dargestellt. In Fig. 2 sehen wir das Ergebnis der Messungen von *Molkenberg bis nach Spandau* am 13. und 14. Mai, darüber denjenigen Teil des Meßprofils von Brandenburg bis Potsdam, der auch im vorigen Jahr gemessen wurde. (Von der Havelmündung bis Brandenburg ist der Weg dann ein anderer als bei der Messungsfahrt durch den Plauer Kanal im vorigen Jahr.)

Die Übereinstimmung mit den Pendelmessungen, soweit diese nahe genug angeschlossen werden konnten, sowie die Übereinstimmung mit den Messungen des vorigen Jahres ist augenscheinlich. Die Schwereantiklinale in der Gegend zwischen Lenzen und Wittenberge, der Schwereanstieg in der Gegend vor der Havelmündung und zwischen Brandenburg und Potsdam kommt sowohl in den vorjährigen als in den diesjährigen Messungen klar zum Ausdruck; nur das südlich

*) Der Schlesischen Dampferkompagnie, Berliner Lloyd, welche uns die Ausführung der Messungen an Bord ihrer Eilfrachtdampfer gestattete, bin ich zu großem Dank verpflichtet.

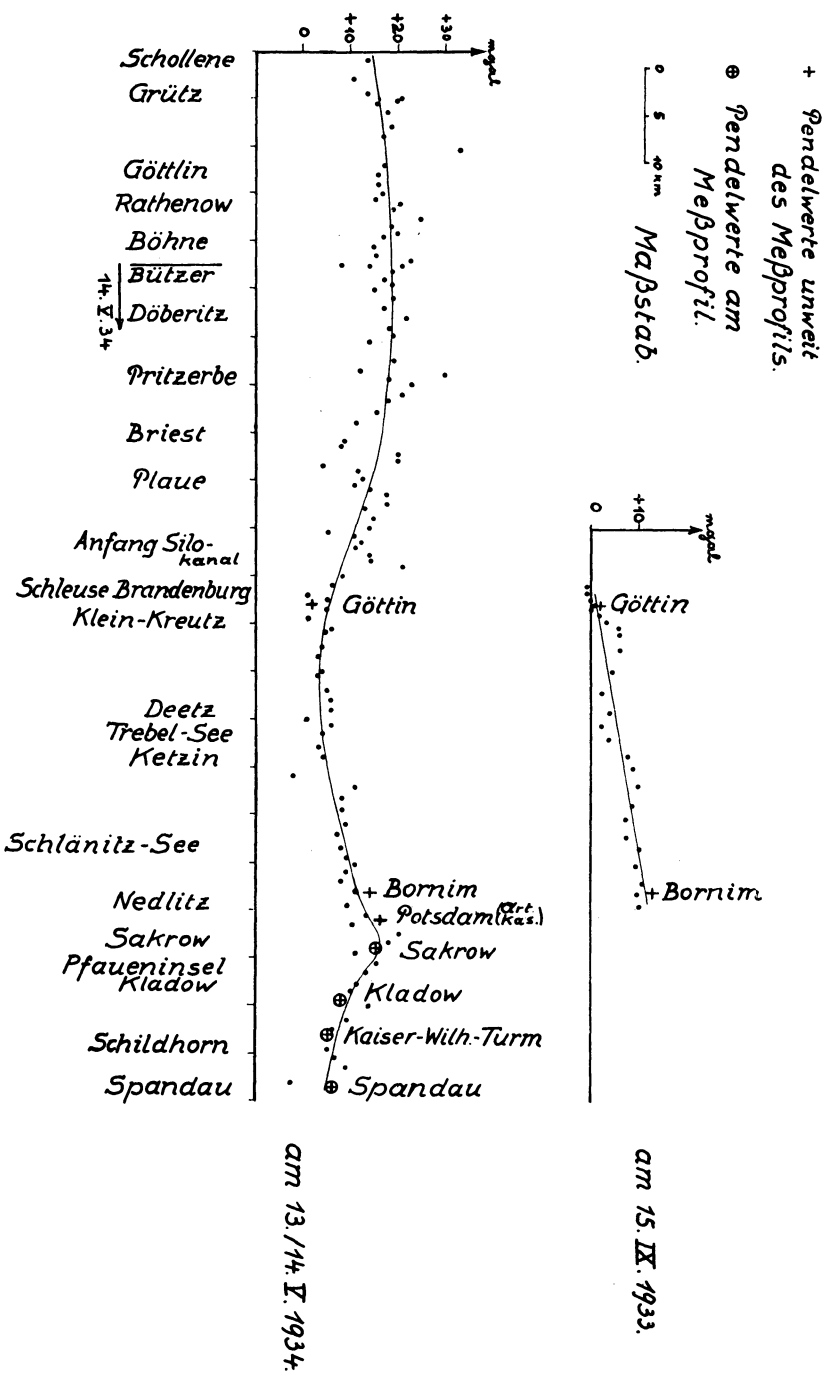
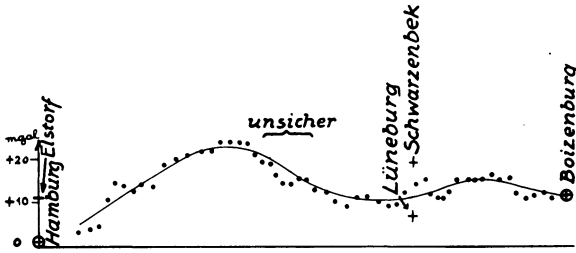


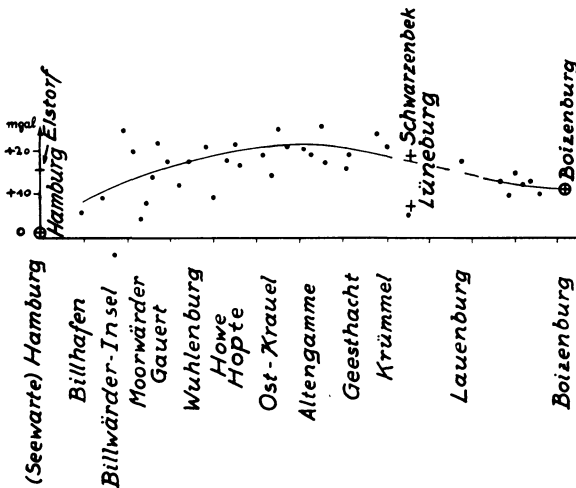
Fig. 2. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Havel von Schollene bis Spandau

von Wittenberge liegende Gebiet geringerer Schwerkraft erscheint in den diesjährigen Messungen um etwa 4 bis 5 Milligal flacher als bei den Messungen des vorigen Jahres. Eine nicht völlige Übereinstimmung mit dem Ergebnis der Messungen im September 1933 zeigt das Messungsergebnis im Gebiet der Vierlande südöstlich von Hamburg (Fig. 3). Doch wird das Resultat, daß das Gebiet der Vierlande ein Gebiet positiver Schwerestörung ist, im wesentlichen bestätigt. Die



⊕ Pendelwerte am Meßprofil.
+ " unweit des Meßprofils.

am 13. XI. 1933.



am 12. VII. 1934.

0 5 10 km Maßstab.

Fig. 3. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Elbe von Hamburg bis Boizenburg

Nichtübereinstimmung mit den vorjährigen Messungen erstreckt sich über die Strecke Ost-Krauel bis Krümmel. Gerade dieser Teil wurde aber in den vorjährigen Messungen als sehr unsicher angegeben wegen der sehr ungenauen Eötvös-Korrektion, so daß ich dem jetzigen Ergebnis ein größeres Gewicht beimessen möchte. Die größere *Streuung der einzelnen Werte* ist auf die veränderte Beobachtungsmethode zurückzuführen: Im vorigen Jahre wurde ununterbrochen beobachtet und dann für längere Strecken das Mittel aus den Ablesungen, der Geschwindigkeit und der Richtung genommen. Dagegen wurde bei dieser Messungsreise mit den

Ablesungen möglichst gewartet, bis der Dampfer ein Stück geradeaus fuhr, und dann für die Eötvös-Korrektion die Richtung dieser kurzen Wegstrecke genommen. Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile: die erstere setzt voraus, daß die Ablesungen zeitlich gleichmäßig verteilt sind, die zweite, daß Richtung und Geschwindigkeit für den kurzen Beobachtungsabschnitt hinreichend genau erfaßt werden. Beides ist nur unvollkommen zu erreichen. Auf dem Seedampfer war es sehr hinderlich, daß sich der Apparat unten im Frachtraum befand. Auf dem Flußdampfer fuhr der Dampfer infolge des niedrigen Wasserstandes selten für 2 Minuten geradeaus. Meistens geriet man mit den Ablesungen bereits in einen Bogen, und dann ist es sehr schwierig, die zu dem Mittelwert der Ablesungen zugehörige Richtung anzugeben. Es kann wohl angenommen werden, daß die Eötvös-Korrektion im Durchschnitt auf etwa 4 bis 8 Milligal sicher erfaßt worden ist; die Abweichungen verteilen sich ganz entsprechend dem Fehlergesetz, so daß man gut den mittleren Verlauf der Schwerkraft in dem Meßprofil verfolgen kann. Die einzelnen stärker herausfallenden Meßwerte sind sicher auf Fehler in der Eötvös-Korrektion zurückzuführen. Daß der statische Schweremesser sehr genau auf diesen Eötvös-Effekt reagiert, kann man bei jeder Richtungsänderung beobachten.

2. Messungsfahrt Hamburg—Finnland

Nach den Erfahrungen der ersten Messungsfahrt auf der Nordsee wurde an dem statischen Schweremesser zunächst die äußere Schutzhülle wieder gut wärmeisolierend gemacht und die Empfindlichkeit herabgesetzt; der Skalenwert betrug 36.6 (d. h. 1 cm Ausschlag der Menisken bedeutet eine Schwereänderung von 36.6 Milligal), der gesamte Ablesebereich daher etwa 730 Milligal. Außerdem wurde eine recht erhebliche Dämpfung angebracht. Diese hat zur Folge, daß kurzperiodische Erschütterungen überhaupt keinen Einfluß auf die Einstellung der Menisken haben; nur langperiodische Schwankungen (Perioden von mehreren Sekunden an) gehen ein. Ob und wie weit nun bei einer so starken Dämpfung die Mittellage von der Größe und Periode der Schwankungen beeinflußt wird, konnten erst die praktischen Messungen ergeben.

Mit diesen instrumentellen Verbesserungen wurde eine *zweite Messungsfahrt* ausgeführt auf dem etwa 5000 Tonnen großen Motorschiff „Mimi Horn“ der Horn-Linie*) von Hamburg durch die Nordsee, Skagerrak, Sund, Ostsee nach Kotka in Finnland vom 26. bis 30. Juni und denselben Weg zurück vom 7. bis zum 11. Juli**). Die Route ist in Fig. 4 angegeben (die auf der Fahrt als Gebiete

*) Der Horn-Linie, im besonderen den Offizieren und Mannschaften der „Mimi Horn“, möchte ich für die freundliche Unterstützung, welche uns in jeder Beziehung bei der Messungsfahrt gewährt wurde, meinen größten Dank aussprechen.

**) Auf der Fahrt nahmen Herr Dr. Wünschmann und Herr cand. ing. Rebenstorf an den Beobachtungen teil. Die gesamte Auswertung der Beobachtungen (es handelte sich um etwa 900 Messungen) übernahm Herr Dr. Wünschmann, der diese Arbeit mit größter Sorgfalt und Genauigkeit ausführte, wofür ich ihm meinen größten Dank ausspreche.

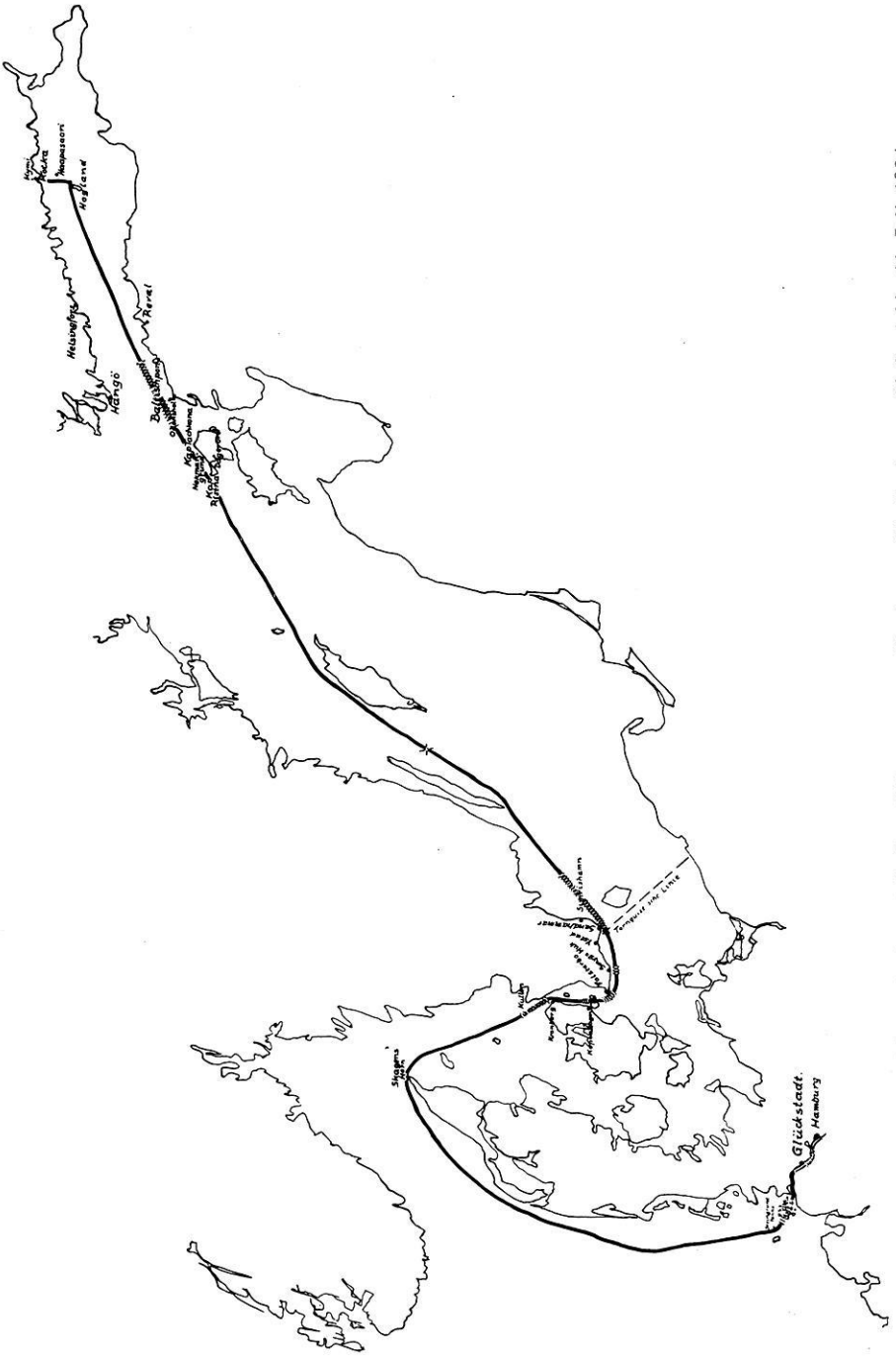


Fig. 4. Messungsfahrt mit dem statischen Schweremesser Hamburg—Finnland vom 26. Juni bis 11. Juli 1934

positiver Schwerestörung festgestellten Abschnitte sind durch kurze Schraffur hervorgehoben).

Beobachtet wurde in der Weise, daß 5 Minuten lang abgelesen und dann eine Pause von 5 Minuten gemacht wurde. Dieses Schema wurde im allgemeinen innegehalten; nur bei der Rückfahrt wurde auf den Wegstrecken (im Sund und auf der Elbe), auf welchen die Meßflüssigkeit in den Kapillaren ziemlich ruhig stand, eine größere Anzahl von Beobachtungen ausgeführt. Die größte Sorgfalt wurde diesmal auf die Bestimmung der Eötvös-Korrektion gelegt. Herr Dr. Wünschmann vom Geodätischen Institut übernahm die Aufgabe, fortlaufend Ort, Geschwindigkeit und Richtung des Schiffes auf das genaueste zu kontrollieren, und dank der peinlichen Sorgfalt, mit der er diese Bestimmungen durchführte, gelang es, die Eötvös-Korrektion durchweg mit einer hinreichenden Genauigkeit (innerhalb von etwa 2 bis 3 Milligal) zu erfassen. Der Aufstellungsort des Apparates war ziemlich günstig: auf dem Bootsdeck, nicht weit von der Mittelsenkrechten des Schiffes. Freilich sind die horizontalen Bewegungen des Aufstellungsortes wegen seiner Höhe beim Schlingern des Schiffes recht groß, aber die vertikale Bewegungskomponente, die am stärksten störend wirkt, geht nicht sehr stark ein; außerdem ist es häufig vorteilhaft, wenn der Beobachter plötzliche Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen des Schiffes überschauen kann.

Es konnten fast während der ganzen Reise Messungen ausgeführt werden, von denen etwa reichlich die Hälfte hinreichend gesicherte Ergebnisse über den Verlauf der Schwerkraft lieferten. Auf dem Hinwege fiel wegen stürmischen Wetters das Stück nördlich von Gotland bis zum Anfang des Finnischen Meerbusens aus; und zwar stieg die Windstärke in den Böen bis auf mehr als 8 (geschätzt vom Steuermann und Kapitän). Das erzeugt ganz beträchtliche Schwankungen. Die Dämpfung des Instruments erwies sich als so stark, daß auch dann noch die Amplituden weiter abgelesen werden konnten, aber schließlich stellten wir doch infolge der geringeren Seefestigkeit der Beobachter die Ablesungen ein. Auf der Rückfahrt war das Schiff ohne Ladung und rollte auch bei geringer Windstärke schon sehr, und zwar besonders, wenn der Wind senkrecht zur Fahrtrichtung stand. Es mußten infolgedessen die Beobachtungen auf der Strecke etwa von der Insel Dagö bis Wisby auf Gotland wieder eingestellt werden; ebenso fiel das Stück vom Skagerrak bis nördlich von Amrum Bank aus.

Als sehr nachteilig erwies sich das Fehlen einer *kardanischen Aufhängung*; zwar hängt das Instrument infolge seines eigenen Gewichts vertikal, aber durch die Bewegungen des Aufhängepunktes gerät es bei unruhiger See in erhebliche Eigenschwingungen, welche doch sehr störend wirken, zumal sich anscheinend Resonanzerscheinungen mit der Bewegung der Flüssigkeitsmenisken bemerkbar machen*).

Auf der Hinfahrt, als die Schwankungen außerhalb der Elbe zunahmen, beging ich den Fehler, das Instrument hinzustellen. Die Neigungen infolge des Schlingerns

*) Die inzwischen eingeführte kardanische Aufhängevorrichtung bewährt sich bedeutend besser.

hoben sich aber nicht, wie erwartet, im Mittel auf, sondern es zeigte sich, daß das Schiff infolge der ungleichmäßigen Entleerung der Öltanks bald längere Zeit hindurch Schlagseite nach der einen, bald nach der anderen Seite hatte. Diese Neigungen gehen dann natürlich in die Messungen ein; infolgedessen vermag ich den Messungen auf der Hinfahrt von Helgoland bis zum Kattgat kein Gewicht beizumessen.

Eine besondere Frage ist die Frage des *Anschlusses an Pendelstationen*, denn wir messen ja nur die Schwerkraftsunterschiede während der Fahrt. Direkte Anschlüsse haben wir überhaupt nicht. Wir kommen nur in die Nähe von Pendelstationen. Der Anschluß ist nun so ausgeführt worden, daß unter Berücksichtigung der zunächst gelegenen Pendelstationen an Land die Schwerkraft für den betreffenden Schiffsort berechnet wurde. Sind dann an dem Meßprofil (z. B. an der Elbe, am Sund, und am Finnischen Meerbusen) eine genügende Zahl benachbarter Stationen (möglichst zu beiden Seiten) vorhanden, so läßt sich der Anschluß annähernd so durchführen, daß die Gesamtheit der einzelnen Anschlußwerte ebenso viel positiv wie negativ abweichen. Es ist also möglich, daß die Gesamtkurve der gemessenen Profilabschnitte als Ganzes etwas nach oben oder unten verschoben werden muß; doch vermute ich, daß es sich nur um geringe Beträge handeln kann. Auf den Verlauf der Anomalien innerhalb der Kurve hat es jedenfalls keinen Einfluß.

Fig. 5 zeigt die *Messungsergebnisse auf der Elbe* unterhalb Hamburgs bis in die Nordsee hinein. Die erste Kurve wurde am 5. Mai auf der Hinfahrt nach Antwerpen, die zweite Kurve auf der Rückfahrt am 10. Mai gemessen, die dritte Kurve auf der Hinfahrt nach Finnland am 28. Juni und die vierte Kurve auf der Rückfahrt am 11. Juli. Man erkennt, daß die Genauigkeit der Messungsergebnisse mit den Erfahrungen, die wir machten, zunahm; besonders bei der Rückkehr von Finnland (Kurve 4), auf welcher alle 2 bis 3 Minuten abgelesen wurde, zeigt sich der Verlauf der Schwerestörung recht sicher. Wenn auch die einzelnen Streuungen — besonders in den ersten beiden Kurven, bei welcher die Eötvös-Korrektion am wenigsten sicher erfaßt wurde — zum Teil noch recht groß sind, (es hat sich doch gezeigt, daß es sicherer ist, noch häufiger, am besten ununterbrochen, zu beobachten, als es bei der ersten Fahrt der Fall gewesen ist), so kann doch der mittlere Verlauf der Schwerestörungen aus der Gesamtheit der Messungen recht sicher entnommen werden. Eine nicht recht erklärbare Abweichung zeigt die zweite Kurve insofern, als der Schwereabfall westlich von Glückstadt hier etwas verschoben erscheint. Zwischen Kurve 3 (Hinfahrt) und Kurve 4 (Rückfahrt) zeigt sich ein systematischer Unterschied, indem sich die Amplitude der Schwerestörung in Kurve 4 als größer erweist. Die Ursache dieses systematischen Unterschieds ist möglicherweise eine Skalenwertsänderung, welche dadurch hervorgerufen worden ist, daß auf der Rückfahrt vor Gotland, als etwas Meßflüssigkeit übergeflossen war und nachgefüllt werden mußte, der Apparat geöffnet wurde, wobei sich die Druckverhältnisse etwas verschoben.

Wir sehen, daß sich das *Gebiet positiver Schwerestörung*, auf welchem Hamburg liegt, sich noch bis Kolmar (südlich von Glückstadt) fortsetzt, um dort scharf ab-

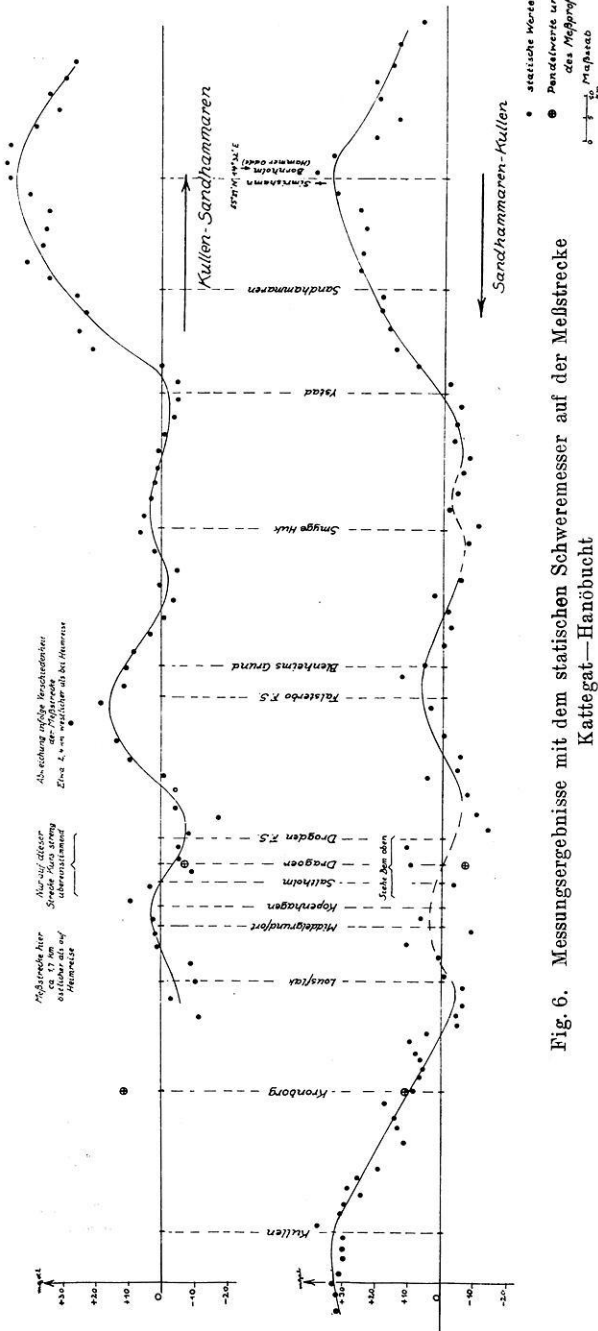


Fig. 6. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Meßstrecke Kattgat—Hanöbucht

zubrechen. Vor der Elbmündung erscheint ein Gebiet positiver Schwere­ störung etwa von nördlich Neuwerk bis vor der Höhe von Steingrund­ tonne (Helgoland). Obwohl hier die Streuung der Meßwerte schon bedeutend stärker wurde, so ist diese Anomalie doch sowohl bei der Hin­ fahrt, als auch bei der Rückfahrt zu erkennen. Ich möchte sie daher als reell ansehen. Das ist auch nicht unwahr­ scheinlich, weil das Gebiet von Norder - Dithmarschen

ebenfalls positiv gestört ist. Da das in der Nähe liegende Helgoland erheb­ lich negativ (— 12 Milligal) gestört ist, so vermute ich in diesem Gebiet be­ trächtliche Schwere­ störungen. In der Fort­ setzung des Profils bis zur Höhe von Amrum­ Bank zeigen die Messungen dann einen im wesent­ lichen normalen Verlauf der Schwerkraft; doch ist dieser Teil nur einmal durchgemessen worden.

Zu dem Anschluß der Messungen in Hamburg ist zu bemerken, daß in der Seewarte zwei Pendel­ messungen ausgeführt worden sind, eine von Sterneck 1892 und eine von Schumann 1899,

von welchen die erstere den Störungswert + 10, die zweite den Wert + 1 Milligal ergibt. Kosmat*) gibt Hamburg in seiner Isanomalenkarte den Störungswert + 1. Das stimmt aber mit den statischen Messungen nicht überein. Diese sind nur mit dem älteren Sterneckschen Pendelwert in Einklang zu bringen (ebenso stimmen die statischen Messungen oberhalb Hamburgs, obwohl der Billhafen noch fast 5 km von der Seewarte entfernt liegt, besser mit dem höheren Sterneckschen als mit dem kleineren Schumannschen Störungswert überein). Ich möchte daher den älteren Sterneckschen Pendelwert als den richtigeren ansehen. Auf jeden Fall ist der Verlauf der Isanomalen der Schwerkraft im Gebiet von Hamburg wesentlich anders, als ihn die Koßmatsche Karte zeigt.

Das in Fig. 6 dargestellte Ergebnis der Messungen vom *Kattegat, durch den Sund, um die Südspitze von Schweden herum bis in die Hanöbucht* läßt sehr interessante Schwerstörungen erkennen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse von der Hin- und der Rückfahrt ist — abgesehen von den kleinen punktiert gezeichneten Abschnitten in der Mitte des Profils, welche schwache positive Anomalien auf der Höhe von Kopenhagen und von Smyge Huk erkennen lassen — augenscheinlich. Sowohl im Norden bei Kullen bzw. im Kattegat, als auch im Süden auf der Höhe von Sandhammar bis in die Hanöbucht ist eine bedeutende positive Schwerstörung**) zu erkennen, außerdem eine kleinere aber deutlich ausgeprägte Anomalie auf der Höhe von Falsterbo. Während die erstere nur einmal durchgemessen wurde, sind die beiden letzteren Anomalien sowohl bei der Hinfahrt als auch bei der Rückfahrt sicher gemessen, so daß die Reproduzierbarkeit der statischen Meßergebnisse außer Zweifel ist.

Fig. 7 läßt eine recht beträchtliche *positive Schwerstörung am Ausgang des Finnischen Meerbusens* etwa westlich von Reval bis östlich von Kap Tachkona erkennen, welche, obwohl sie nur einmal auf der Rückfahrt durchgemessen wurde, als reell angesehen werden muß, zumal nach den finnischen Pendelmessungen die Südwestecke von Finnland ebenfalls als erheblich positiv gestört festgestellt worden ist. Die Messungen wurden schon bei ziemlich bewegter See ausgeführt und westlich von Kap Tachkona wurden die Schwankungen so stark, daß die Beobachtungen eingestellt werden mußten. Der innere Teil des Meßprofils im Finnischen Meerbusen (etwa westlich von Reval bis nach Kotka), welcher sowohl auf der Hin-

*) Flotow, Berroth, Schmehl: Relative Bestimmung der Schwerkraft in Norddeutschland. Veröff. d. Preuß. Geod. Instituts, Neue Folge Nr. 106, Potsdam 1931.

**) Was die Ursache des Anstiegs der Schwere westlich von Sandhammar anbetrifft, so möchte ich kurz bemerken, daß es sich um die sog. *Tornquistische Linie*, d. h. den Westrand der russisch-finnischen Tafel, handelt. — Man kann den Eindruck haben, daß zwischen der Küstenform Südschwedens und den Schwerstörungen gewisse Zusammenhänge bestehen. Es ist jedenfalls auffällig, daß überall dort, wo die Küste vorspringt (Kullen, Falsterboe, Smyge Huk und Sandhammar), die Schwerkraft positiv gestört ist. — Eine gravimetrische Vermessung der Ostsee, die in wenigen Monaten durchgeführt werden könnte, würde für die Erforschung der geologischen Zusammenhänge von der größten Bedeutung sein.

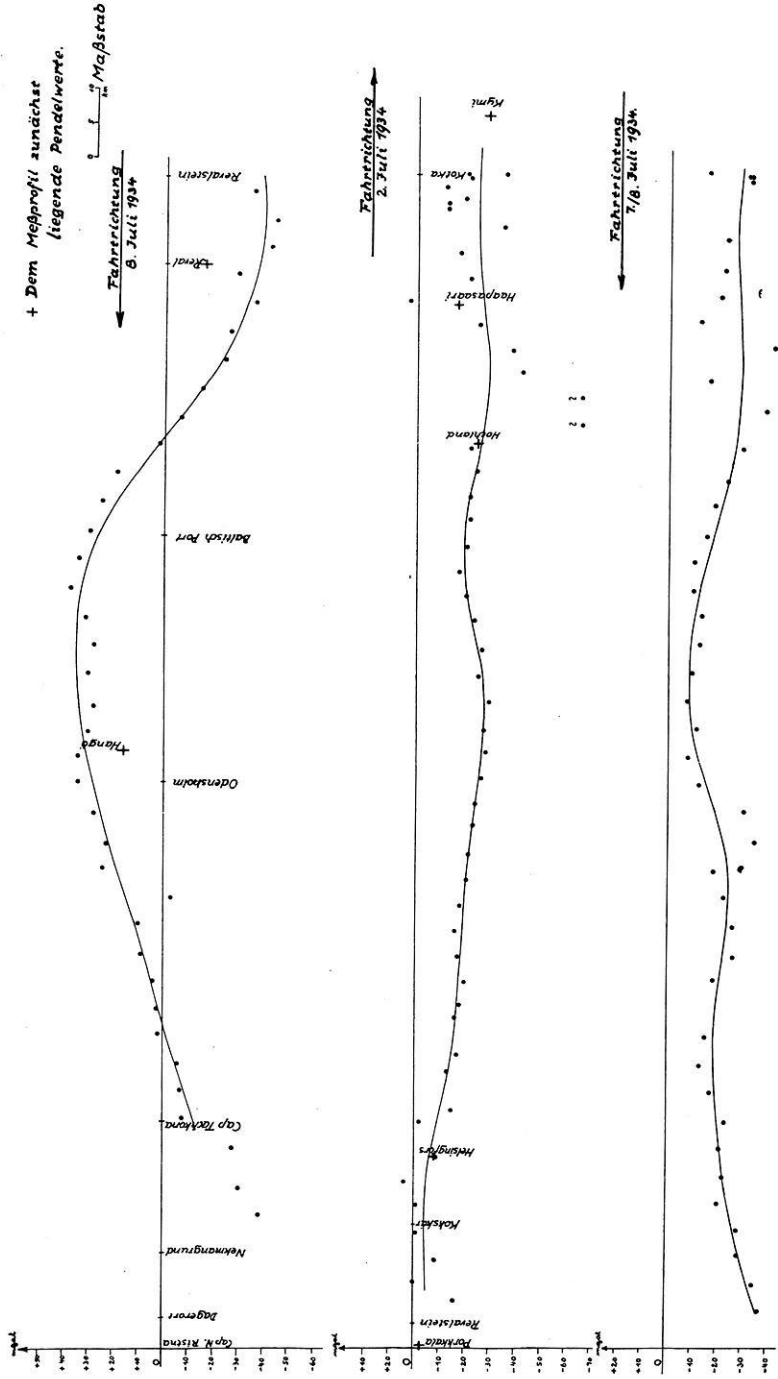


Fig. 7. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser im Finnischen Meerbusen

wie auf der Rückfahrt durchgemessen wurde, zeigt in seinem ganzen Verlauf eine negative Schwerestörung; doch stimmen die bei der Hin- und der Rückfahrt aufgenommenen Kurven nicht völlig überein. In dem letzten Abschnitt von Hochland bis nach Kotka stand der Wind seitlich zur Fahrtrichtung, die Schwankungen waren infolgedessen beträchtlich stärker, was sich auch in den Meßwerten ausprägt.

Außer den in Fig. 5 bis 7 wiedergegebenen Schwerestörungen, welche ich als hinreichend gesichert ansehe, kann man, allerdings mit allem Vorbehalt, aus den Messungskurven noch weitere Schwereanomalien vermuten, so z. B. noch für die an die Strecke Hanöbucht bis Ölands Rev anschließende Strecke bis Wisby auf Gotland, auf welcher die gemessenen positiven Anomalien zu negativen Werten übergehen mit einem Minimum in etwa 57^o nördl. Breite und 17.6^o östl. Länge, das bei Annäherung an Gotland wieder verschwindet. Es ist jedoch nicht unmöglich, daß auf dieser nur einfach gemessenen Strecke die Messungskurve durch einen zeitlichen Gang der Nullage*) oder durch die erheblichen Schwankungen infolge des stärkeren Seegangs beeinflusst worden sind. Ich möchte daher auf die Wiedergabe der übrigen Teile der Messungskurven verzichten, zumal die Messungen doch über kurz oder lang mit einem verbesserten mehrfachen Instrument, das speziell für Seemessungen eingerichtet ist, wiederholt werden.

Im ganzen ist das Ergebnis der Messungsfahrt mit dem statischen Schweremesser Hamburg—Finnland — zumal im Hinblick auf den Charakter als Versuch mit dem jetzigen einfachen Instrument — als sehr befriedigend zu bezeichnen, da es einwandfrei zeigt, daß es möglich ist, mit dem Instrument auch auf hoher See an Bord eines Fracht- oder Passagierschiffes Schwereanomalien mit der für die geophysikalisch-geologische Forschung bei Messungen auf dem Meere hinreichenden Genauigkeit sicher nachzuweisen.

b) Messungen auf festem Lande

Von den Messungen auf festem Lande ergab die erste kurze Messungsfahrt im Frühjahr dieses Jahres längs der Versuchsstrecke Potsdam—Treuenbrietzen als mittleren Fehler eines Messungspunkts einen Wert von knapp ± 2 Milligal. Größere Messungsfahrten fanden dann erst im August nach meiner Rückkehr von der Messungsreise nach Finnland statt, und zwar von *Potsdam über Brandenburg—Tangermünde—Gardelegen—Gifhorn—Celle bis zum Salzhorst von Oldau—Hambühren*. Der Zweck war, die praktische Verwendbarkeit des Instruments im Felde zu erproben, einmal bei einem längeren Überlandtransport, dann auch für eine Detailvermessung bei kurzem Stationsabstand. Dazu eignete sich dieses Profil besonders gut, denn einmal lagen am Wege sehr viele Pendelstationen, an welche die statischen Messungen angeschlossen werden konnten; zweitens wurde das große gravimetrische Störungsgebiet, welches sich aus der Gegend von Magdeburg in Richtung nach

*) Verschiebt sich beim Nachfüllen von Eis die Einstellung der Menisken, so ist das meistens ein Zeichen dafür, daß ein zeitlicher Gang vorhanden gewesen ist. Das ist zuweilen der Fall, wenn man mit dem Nachfüllen von Eis zu lange Zeit gewartet hat.

Nordwesten hin erstreckt (der Flechtinger Höhenzug) überquert; und drittens eignete sich das Gebiet des Salzstocks von Oldau-Hambühren gut für eine enge Detailvermessung, da die örtliche gravimetrische Störung ziemlich groß und sowohl durch die Drehwaagemessungen der Exploration G. m. b. H. als auch durch die Pendelmessungen von Berroth*) gravimetrisch genau erforscht ist.

Das Ergebnis der Messungen zeigt Fig. 8**): Die Strecke Salchau—Öbisfelde wurde nur einmal, der Abschnitt Gifhorn—Celle zweimal, die Strecke Potsdam—Tangerhütte dreimal, die Abschnitte Tangerhütte—Salchau, Vorsfelde—Gifhorn und Celle—Oldau V wurden dagegen viermal durchgemessen; an vereinzeltten Punkten in den verschiedenen Abschnitten, welche bei den Wiederholungsmessungen eingeschoben wurden, ist nur einmal gemessen worden. Insgesamt wurden an 78 Stationen etwa 220 Messungen ausgeführt; die *Maximalleistung betrug 41 Punkte an einem Tage* bei einem mittleren Punktabstand von etwa 3 bis 4 km (im Durchschnitt etwa 30 Punkte). Angeschlossen wurden die Messungen an 14 Pendelstationen aus den Jahren 1924 bis 1926, und zwar nicht nur einmal, sondern mindestens an jedem Punkte 2 bis 4mal, insgesamt fast 50 Anschlüsse. Alle Anschlüsse waren direkt, d. h. der statische Schweremesser hielt jedesmal unmittelbar neben dem Keller oder dem Stall, in welchem die Pendelmessung ausgeführt worden war. Aus diesen zahlreichen Wiederholungen und Anschlüssen ließ sich ein Urteil über die Meßgenauigkeit des statischen Schweremessers ableiten.

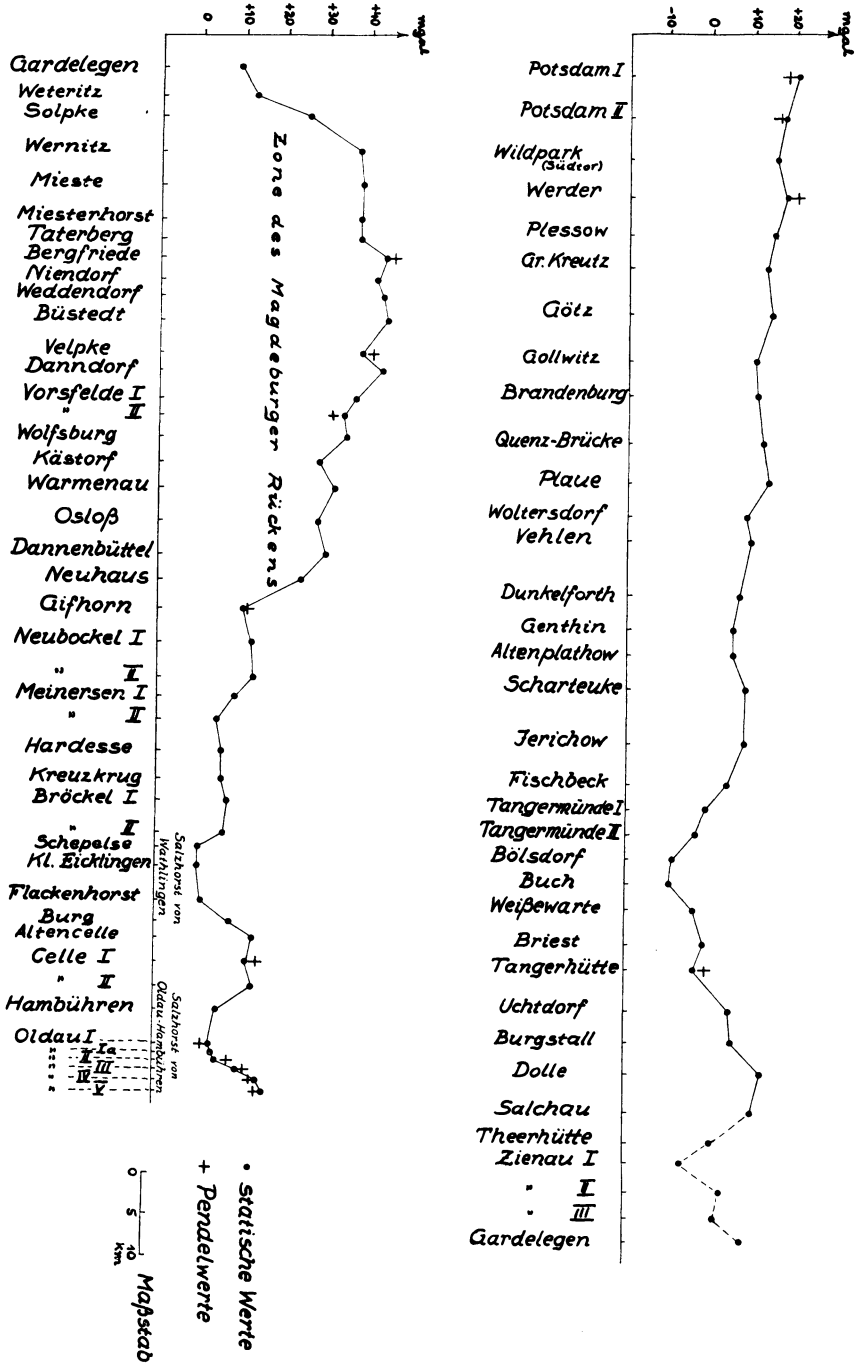
Beobachtet wurde in der Weise, daß an jeder Station sechsmal abgelesen wurde, wobei nach jeder Ablesung, um das Quecksilber und die Meßflüssigkeit aus dem Gleichgewicht zu bringen, das Instrument kurz erschüttert und geneigt wurde.

Als *Anomalien* erkennen wir zunächst das *Gebiet geringerer Schwerkraft in der Gegend zwischen Tangermünde und Tangerhütte*. Es ist zwar nur zweifach durchgemessen worden, ist aber als durchaus reell anzusehen, denn das Meßprofil auf der Elbe im September vorigen Jahres zeigt das gleiche Minimum. Ein zweites zwischen Dolle und Gardelegen liegendes Minimum (es ist kein Minimum in geophysikalischem Sinne, da das Meßprofil in diesem Stück an der Flanke des Magdeburger Rückens entlang läuft) ist weniger gesichert, da es nur einmal durchgemessen wurde; doch halte ich das Vorhandensein dieses Verlaufs der Schwerestörung ebenfalls für sehr wahrscheinlich. Sodann erkennt man die *große Schwereantiklinale zwischen Gardelegen und Gifhorn*, welche von der bereits aus Pendelmessungen bekannten großen positiven Schwerestörung des sogenannten *Flechtinger Höhenzuges* gebildet wird. Weiter kommen in dem Meßprofil *die beiden Schweresyklinale in der Gegend von Oldau und von Eiklingen* zum Ausdruck, welche durch die

*) A. Berroth: Referenzpendelmessungen am Salzstock von Oldau-Hambühren. Zeitschr. f. Geophys. 1927 (III. Jahrg.), S. 3ff.

***) Bei der Betrachtung der Fig. 8 ist zu beachten, daß das Meßprofil keine geradlinige Strecke ist; die Figur zeigt vielmehr nur die Aufeinanderfolge der Meßpunkte im Abstand der jeweiligen Luftlinie.

Fig. 8. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf dem Melprofil Potsdam—Celle. — August 1934



bekannten Salzstöcke von Oldau-Hambühren und von Wathlingen verursacht werden*).

Als *Meßgenauigkeit* des statischen Schweremessers ergab sich aus den mehrfach wiederholten Messungen ein mittlerer Fehler von durchschnittlich ± 1.5 Milligal für eine Meßstation. Vereinzelte Punkte besitzen einen größeren mittleren Fehler, doch lag andererseits der mittlere Fehler bei einer Anzahl von Meßpunkten zwischen ± 0.5 und 1 Milligal. Durch Wiederholung der Messungen verringert sich der mittlere Fehler entsprechend dem Gaußschen Fehlergesetz. Die Schlußfolgerung, zu der ich im vorigen Herbst kam, nämlich, daß bei einfacher Wiederholungsmessung mit einem dreifachen Apparat — oder, was dasselbe ist, bei sechsfacher Wiederholung mit dem jetzigen einfachen Instrument — die Meßgenauigkeit des Pendels von ± 1 Milligal erreicht wird, ist also bestätigt worden. Legen wir für die Berechnung des mittleren Fehlers die Anschlüsse an die 14 Pendelstationen, soweit sie nicht als Anschlußpunkte benutzt wurden, zugrunde, so ergibt sich ein Wert von ± 2 Milligal. Dieser Wert ist sehr erklärlich, denn in ihm steckt außer dem mittleren Fehler der statischen Messungen auch noch der mittlere Fehler der Pendelmessungen, der für die Messungen, welche von Berroth, Schmehl und von Flotow 1923 bis 1925 ausgeführt wurden, zu ± 1.1 bis 1.5 Milligal angegeben wird.

Fassen wir das *Ergebnis der Versuche mit dem statischen Schweremesser auf See und auf dem Lande* zusammen, so ergibt sich folgendes:

Die Entwicklung des Instruments führt notwendigerweise zu *zwei verschiedenen Typen*: Eine für Messungen auf fahrenden Schiffen, eine für Messungen auf festem Lande. Das erstere muß eine starke Dämpfung, geringere Empfindlichkeit und an zweckmäßigsten wohl auch photographische Registrierung besitzen, das letztere ohne oder nur mit geringer Dämpfung sein und mit visueller Ablesung. Die Entwicklung eines seetüchtigen Instruments steht noch in den Anfängen. Die bisherigen Ergebnisse lassen aber erkennen, daß bei einigermaßen ruhiger See die für Messungen auf dem Meere anzustrebende Genauigkeit von ± 3 bis 5 Milligal für den durchschnittlichen Verlauf der Schwerkraft, den man bei ununterbrochener Registrierung erhält, mit einem mehrfachen Apparat erreicht werden kann, vorausgesetzt, daß die Eötvös-Korrektion genau genug erfaßt wird. Wieweit es bei stärker bewegter See der Fall sein wird, muß die weitere Entwicklung zeigen. Die *sprunghaften größeren Abweichungen*, welche sich im vorigen Jahre wiederholt bemerkbar machten, haben sich weitgehend (neuerdings sogar vollständig) be-

*) Bei der sorgfältigen Vermessung des Salzhorstes von Oldau-Hambühren mit der Drehwaage durch die Exploration G. m. b. H. muß den Drehwaageergebnissen wohl die größere Genauigkeit zugesprochen werden. Die Übereinstimmung zwischen den Drehwaage- und den Berrothschen Pendelmessungen war nicht vollkommen; sie ist auch mit den statischen Messungen nicht vorhanden. Jedoch stimmen die Ergebnisse der Drehwaagemessungen etwas besser mit den statischen als mit den Pendelwerten überein. — Ebenso liegt die Station Gifhorn auf einem Salzhorst, und bei Meinersen wird der Rand eines bekannten Salzhorstes gestreift, was beides in den Messungsergebnissen (Fig. 8) zum Ausdruck kommt.

seitigen lassen; praktisch sind sie nicht hinderlich, da sie infolge der häufigen Wiederholungen — bzw. durch die gegenseitige Kontrolle bei einem mehrfachen Instrument — ohne weiteres erkannt und eliminiert werden können.

Noch nicht vollständig beseitigt ist der *zeitliche Gang der Nullage*. Ist der statische Schweremesser keinen heftigen Erschütterungen ausgesetzt, wie z. B. auf Schiffen, so ist ein zeitlicher Gang überhaupt nicht oder nur in ganz geringem Maße vorhanden, vorausgesetzt, daß häufig genug (im Sommer mindestens alle 12 Stunden) Eis nachgefüllt wird. Das ist für Messungen auf See, wenn längere Zeit hindurch keine Anschlußmessungen ausgeführt werden können, sehr wichtig. Dagegen macht sich infolge der Erschütterungen beim Überlandtransport häufig (durchaus nicht immer) ein Gang der Nullage bemerkbar, der zwar im Maximum selten mehr als etwa 4 Milligal pro Stunde beträgt, aber nicht immer für den ganzen Tag linear verläuft, sondern meistens nur für einige Stunden. Um diesen Gang bei den Messungen eliminieren zu können, hat es sich als zweckmäßiger erwiesen, keine langen Profile wie auf den Messungsfahrten nach Celle, sondern höchstens eine Strecke von 4 bis 5 Meßpunkten mehrfach hin und zurück durchzumessen. Aus den Wiederholungen ergibt sich der zeitliche Gang sehr genau und kann dann ohne weiteres in Abzug gebracht werden. *Dadurch erhöht sich die Meßgenauigkeit beträchtlich* — und es hat sich gezeigt, daß man bei einer solchen Meßmethode einen mittleren Fehler von ± 0.5 Milligal ohne Schwierigkeit erreichen kann*).

Es sind in diesem Herbst bereits mehr als 500 Messungen an etwa 150 Stationen ausgeführt worden, so daß eine genügende Erfahrung über die *Feldbrauchbarkeit des statischen Schweremessers* vorhanden ist. Demnach ist das Instrument wegen seiner bekannten rationellen Arbeitsweise vollkommen instande, die umständliche Pendelmethode zu ersetzen bis auf — jedenfalls vorläufig — ein System von Anschlußpunkten, die mit dem Pendel in einem Abstand von etwa 50 bis 100 km besonders sicher vermessen werden müssen. Die angewandte Geophysik, soweit sie sich auf ihre Aufgaben für den praktischen Bergbau beschränkt, kann solche Anschlußpunkte meistens entbehren, da es für ihre Aufgaben häufig nur auf die Anomalien innerhalb eines Störungsgebietes ankommt.

Ferner zeigt das in Fig. 8 wiedergegebene Meßprofil, daß es, um die Untergrundstruktur mittels Schwerkraftmessungen zu erforschen, nötig ist, den Stationsabstand nicht auf 20 bis 40 km anzusetzen, sondern ein engeres Punktnetz von etwa 3 bis 5 km zu wählen, jedenfalls in Gebieten, in welchen Schwerestörungen in solcher Mannigfaltigkeit auftreten, wie im norddeutschen Flachlande. Das Herausarbeiten besonderer Einzelheiten der Struktur des Untergrundes muß natürlich nach wie vor der Drehwaage überlassen bleiben, doch ist es möglich, in ganz kurzer Zeit ein Untersuchungsgebiet mit dem statischen Schweremesser soweit vorzubearbeiten, daß die Anwendung der Drehwaage dadurch wohl um mehr als 50% gegenüber dem bisherigen Umfange ersetzt werden kann.

*) Das im Bau befindliche Instrument enthält vier gegeneinander isolierte statische Schweremesser gleicher Dimension wie bisher, so daß eine Messung an einer Station stets vier voneinander unabhängige Werte ergibt.

Zusammenfassung. Es werden die Messungsergebnisse des Sommers 1934 mit dem einfachen statischen Schweremesser auf fahrenden Schiffen und auf dem festen Lande mitgeteilt: Zunächst eine Wiederholung der Messungen auf dem Flußdampfer von Hamburg bis Spandau, welche im wesentlichen den gleichen Verlauf der Schwerestörungen erkennen läßt wie die Messungsfahrt im September 1933; dann eine vierfache Messungsreihe auf der Unterelbe von Hamburg bis zur Elbmündung, welche zeigt, daß das positiv gestörte Gebiet von Hamburg (— entsprechend der älteren Pendelmessung von Sterneek; der spätere Wert von Schumann muß als unrichtig angesehen werden —) bei Kolmar (südlich von Glückstadt) ziemlich scharf abbricht. Vor der Elbmündung etwa von der Höhe von Neuwerk an bis vor Helgoland ist wieder eine positive Anomalie zu erkennen. Auf der Fahrt nach Finnland und zurück konnten während des größten Teils der Fahrt Messungen ausgeführt werden. Es ergeben sich ausgeprägte positive Störungen im nördlichen Teil des Sunds bzw. im Kattegat, auf der Höhe von Falsterbo und dann besonders deutlich von Sandhammar (Westrand der russisch-finnischen Tafel, Tornquistische Linie) bis in die Hanöbucht. Die Anomalien zeigen sich sowohl in den Messungen auf der Hin- wie auf der Rückfahrt. Eine beträchtliche positive Störung ist am Ausgang des Finnischen Meerbusens, etwa westlich von Reval bis östlich von Kap Tachkona, zu erkennen. Das weitere Meßprofil im Finnischen Meerbusen zeigt im wesentlichen eine gleichmäßig negativ verlaufende Schwere- störung; zwischen Hin- und Rückfahrt zeigen sich hier einige Unterschiede in den Messungsergebnissen. — Von den Messungen auf dem festen Lande (insgesamt wurden in diesem Herbst mehr als 500 Messungen an etwa 150 Stationen ausgeführt) wird das Meßprofil Potsdam—Celle wiedergegeben. Es läßt die bereits bekannte Schwereantiklinale des Flechtinger Höhenzuges und die beiden durch die Salzhorste von Wathlingen und von Oldau-Hambühren verursachten Schwere- synklinalen erkennen, außerdem noch ein weiteres Schwereminimum zwischen Tangermünde und Tangerhütte. Die Meßgenauigkeit an den einzelnen Beobachtungspunkten betrug durchschnittlich etwa ± 1.2 bis 1.5 Milligal; doch hat sich gezeigt, daß man bei häufigeren Wiederholungen, indem man kürzere Meßprofile mehrfach hin und zurück durchmißt, den mittleren Fehler auf etwa $\pm 1/2$ Milligal verringern kann.

Der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, welche die Mittel für die Durchführung der Messungen bereitstellte, bin ich zu großem Dank verpflichtet. (Ein Verzeichnis der einzelnen Meßwerte folgt.)

Literatur

H. Haalek: Zeitschr. f. Geophys. 7, Heft 1/2, 1931; 8, Heft 1 und 5, 1932; 9, Heft 1/2, 1933; 9, Heft 6/8, 1933.
