

## Werk

**Jahr:** 1933

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:9

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0009

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0009](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0009)

**LOG Id:** LOG\_0061

**LOG Titel:** Neue Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser

**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](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

„gestört“. Aber es ist kaum mehr daran zu zweifeln, daß diese „Störung“ der Inselwerte vorwiegend nur eine Folge der Wirkung des bisher nicht beachteten Terms von Bruns ist; Senkungen über den Weltmeeren im Ausmaße von 600 bis 800 m erzeugen nämlich bei Außerachtlassung jenes Terms „Störungen“ in den Inselwerten von 0,198 bis 0,262  $\text{cm sec}^{-2}$ . Aus dieser Erkenntnis heraus durfte Ackerl die Inselwerte nicht fortlassen, ganz abgesehen davon, daß er gegen einen alten naturwissenschaftlichen Erfahrungssatz gesündigt hätte, wenn er nicht alle vorliegenden Beobachtungswerte ohne Ausnahme zur Ableitung seiner Ergebnisse herangezogen hätte. Denn sein Ziel war gewesen, wenigstens die beiläufige Größe und Verteilung der Undulationen festzustellen, aber nicht etwa diese durch eine geeignete Auslese unter den vorliegenden Beobachtungen wegzueskamotieren nur zu dem Zwecke, um die bisherigen Ergebnisse über die Abplattung des Niveausphäroids zu bestätigen. Wenn hierbei Ackerl zu Ergebnissen kam, die von den gegenwärtigen Vorstellungen zum Teil beträchtlich abweichen, so spricht diese Tatsache an und für sich weder gegen die zugrunde liegende Theorie noch gegen die verwendeten Beobachtungswerte, da niemand leugnen kann, daß die bisherigen Ergebnisse auf höchst mangelhafter theoretischer Grundlage gewonnen worden sind. Ich will nur — ohne mich auf weitere Ausführungen einzulassen — daran erinnern, daß die Geodäsie in den letzten 50 Jahren ein Randwertproblem zu lösen versucht hat, ohne sich vorher die hierzu erforderlichen Randwerte zu verschaffen; ich glaube, schon diese Tatsache allein genügt für die Beurteilung der bisherigen Versuche und ihrer Ergebnisse.

---

## Neue Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser

Von **H. Haalek**, Potsdam — (Mit 4 Abbildungen)

Es werden die Versuchsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf einem Elbdampfer während einer Fahrt von Hamburg nach Potsdam mitgeteilt. Die Messungen haben gezeigt, daß es möglich ist, mit Hilfe des statischen Schweremessers die Änderung der Schwerkraft auf einem fahrenden Schiff mit einer hinreichenden Genauigkeit zu registrieren. Der Anschluß an mehr als 14 Pendelstationen ergab im Mittel als mittleren Fehler der statischen Messungen etwa  $\pm 3$  Milligal. Das Vorhandensein einer örtlichen positiven Schwerestörung im Gebiet der Vierlande südlich von Hamburg wird nach den statischen Messungen als sehr wahrscheinlich bezeichnet. Messungen im Gelände längs der Versuchsstrecke Potsdam—Treuenbrietzen, bei welchen das Instrument wie früher auf einem Auto aufgehängt war, ergaben aus den Wiederholungsmessungen ebenfalls einen mittleren Fehler von derselben Größenordnung. Als Ergebnis der damit im wesentlichen zum Abschluß gekommenen Versuche wird festgestellt, daß der barometrische Schweremesser in der Form eines dreifachen Apparats ein für eine allgemeine gravimetrische Vermessung der Länder und Meere geeignetes Instrument bildet.

**1. Messungen auf fahrenden Schiffen.** In der Weiterentwicklung des statischen (barometrischen) Schweremessers wurde in diesem Frühjahr mit Ver-

suchen an Bord eines fahrendes Schiffes begonnen. Dank des Entgegenkommens der Marineleitung konnte die erste Messungsreise auf dem Versuchsboot „Grille“ der Reichsmarine gelegentlich einer Fahrt auf der Ostsee vom Kieler Hafen bis in die Neustädter Bucht am 25. April ausgeführt werden. Die Versuchsbedingungen waren trotz ruhiger See (Windstärke 1 bis steigend auf 4) ungünstig: Es handelt sich um ein recht kleines Schiff (800 Tonnen). Das Instrument konnte wegen seiner großen Dimensionen nicht im Innern des Schiffes (im Schwerpunkt) aufgehängt werden, sondern mußte an der Seite bzw. vorne oben auf der Back aufgestellt werden, also an Punkten, welche bei der Fahrt verhältnismäßig große Bewegungen ausführen. Während der Fahrt zeigte es sich, daß Messungen mit dem statischen Schweremesser ausführbar waren. Zwar schwankten die Flüssigkeitsmenisken ununterbrochen hin und her, doch war eine Schätzung der Mittel-lage im allgemeinen bis zu einer Genauigkeit von etwa 5 bis 10 Milligal möglich, außer wenn die Amplitude der Schwankungen zu groß wurde (bis zu 100 Milligal und mehr). Die Ablesungen erwiesen sich als sicherer, wenn das Schiff in voller Fahrt war, als wenn es ruhig lag. Das Arbeiten der Maschinen störte nicht. Am stärksten waren die Schwankungen, wenn das Instrument frei dem Winde ausgesetzt war, also nicht durch die Bewegungen des Schiffes, sondern direkt durch die Druckwirkung des Windes in Schwankungen versetzt wurde. Verwertbare Messungen konnten, da die Möglichkeit der Kontrollmessungen an Pendelstationen fehlte, nicht erhalten werden. Als Gesamtergebnis dieser ersten Versuchs-messungen wurde aber festgestellt, daß eine Registrierung der Schwerkraft an Bord eines fahrenden Schiffes mit Hilfe des barometrischen Schweremessers die nötige Genauigkeit erreicht, wenn das Instrument im Innern des Schiffes möglichst im Schwerpunkt kardanisch aufgehängt wird.

Um den Schweremesser für Messungen auf Schiffen geeigneter zu machen, war es nach den gemachten Erfahrungen nötig, die Dimensionen des Instrumentes so weit zu verkleinern, daß es ins Innere eines Schiffes an einen geeigneten Auf-hängungsort gebracht werden kann. Es wurde deshalb ein Umbau vorgenommen: Die Höhe wurde verringert, die nach der Seite herausragenden Füße wurden ganz unter das Instrument verlegt und abnehmbare Handgriffe des bequemeren Trans-portes wegen an den Seiten angebracht. Die gesamte Höhe des Instrumentes ist jetzt 1.55 m, sein (ungeänderter) horizontaler Durchmesser 56 cm. Wird der obere Teil der Schutzhülle abgenommen, so läßt sich das Instrument von zwei Mann tragen. Das Gesamtgewicht (in meßbarem Zustande mit Eis und Wasser gefüllt) beträgt etwa 5 Zentner. Der Umbau nahm wegen einiger Schwierigkeiten fast den ganzen Sommer in Anspruch, so daß eine zweite Messungsfahrt sich bis zum September verzögerte. Da auf der Ostsee die Möglichkeit vergleichbarer Pendel-messungen fehlt, wurde eine zweite Messungsfahrt auf einem Elbdampfer von Berlin nach Hamburg in Aussicht genommen, um an den an der Elbe zahlreich vorhandenen Pendelstationen die Meßgenauigkeit des statischen Schwere-messers kontrollieren zu können. Die Messungsfahrt fand vom 8. bis 11. September an Bord des Eilfrachtdampfers „Waldensee“ von Berlin nach Hamburg und vom

13. bis 15. September auf dem Eilfrachtdampfer „Schlieben“ von Hamburg (Billhafen) zurück bis nach Potsdam (Nedlitzer Brücke) statt\*).

Auf der Hinfahrt nach Hamburg wurden verwertbare Messungsergebnisse nicht gewonnen. Der Grund lag in folgendem: Als Meßflüssigkeit war Äther gewählt worden. Es hatte sich nämlich bei den Laboratoriumsversuchen herausgestellt, daß der Meniskus des Äthers in den Meßkapillaren ganz erheblich viel schneller und sicherer in die Gleichgewichtslage sich einstellt als andere Flüssigkeiten, wie z. B. Toluol, Petroleum, Xylol oder dergleichen. Außerdem bleibt (ebenso wie bei Alkohol) bei einem schnelleren Zurückgehen der Flüssigkeit an den Wänden der Kapillaren viel weniger haften als bei den oben genannten Flüssigkeiten. Nachteilig wirkt aber das Verdunsten des Äthers und der daraus sich ergebende Dampfdruck. Zwar geht nur die Differenz der Verdunstung in den beiden Meßkapillaren in die Messungen ein, doch ist eine völlige Symmetrie wohl niemals vorhanden. Die Folge war, daß sich der zeitliche Gang während der Messungen auf der Hinfahrt als so stark, und zudem als nicht ganz gleichmäßig erwies, daß die Messungen der Schwerkraft zu ungenau wurden. Es wurde daher der Aufenthalt in Hamburg dazu benutzt, um Äther herauszunehmen und statt dessen wieder wie früher Toluol als Meßflüssigkeit zu benutzen. Damit wurde auf der Rückfahrt von Hamburg nach Potsdam eine befriedigende Messungsreihe erzielt.

Die Ablesungen erfolgten in der Weise, daß beim Hin- und Herschwanken der Menisken in den Meßkapillaren die mittlere Lage geschätzt wurde. Das ist zuweilen natürlich recht schwierig und unsicher, da die Bewegung der Menisken meistens sehr unregelmäßig verläuft, und man häufig im Zweifel ist, wo die Mittel-lage wohl sein kann. Ausgeglichen wird diese Unsicherheit zum größten Teil aber dadurch, daß man die Schätzung der Mittel-lage häufig wiederholen und dann aus einer Reihe von Schätzungen das Mittel bilden kann.

Die Schwankungen waren bedeutend stärker als erwartet, etwa von derselben Größenordnung wie bei den ersten Versuchen an Bord der „Grille“ auf der Ostsee. Der Grund liegt in folgendem: Zunächst sind die Flußdampfer sehr leicht gebaut und haben nur wenig Tiefgang. Das Vibrieren des Dampfers infolge der Maschinen ist daher außerordentlich viel stärker als auf Seeschiffen. Doch erwies sich dieser Umstand auch auf dieser Messungsfahrt nur in sehr geringem Maße als störend. Die wesentlichste Ursache der Apparatschwankungen waren die Kurs- und Geschwindigkeitsänderungen des Dampfers, welche fast ununterbrochen stattfanden. Wegen des ungewöhnlich niedrigen Wasserstandes der Elbe mußte der Dampfer, um den zahlreichen Sandbänken auszuweichen, fast dauernd den Kurs ändern; beim Passieren einer Untiefe entsteht ein veränderter Sog, der eine Änderung

---

\*) Der schlesischen Dampferkompagnie (Berliner Lloyd), welche durch ihr freundliches Entgegenkommen die Ausführung der Messungsfahrt an Bord ihrer Eilfrachtdampfer ermöglichte, möchte ich an dieser Stelle meinen Dank aussprechen. — An der Messungsfahrt nahmen Herr Dr. Jung und der Mechaniker Dormowicz teil, welche den größten Teil der Beobachtungen und der Auswertung übernahmen.

der Geschwindigkeit bewirkt. Dasselbe ergab sich beim Vorbeifahren eines anderen Fahrzeuges: die von diesem verursachten Wellen bilden erst in zweiter Linie die Ursache von Schwankungen; die wesentlichsten Schwankungen rühren davon her, daß, wenn das entgegenkommende Schiff sich auch noch ein ganzes Stück (etwa 30 bis 40 m) entfernt befindet, infolge der geringen Wassertiefe ein starker Sog entsteht, der eine ganz erhebliche Geschwindigkeitsänderung des Dampfers zur Folge hat.

Aus den einzelnen Schätzungen der Mittellage wurden über je 10 Minuten übergreifend die Mittelwerte gebildet, diese — (nach Abzug einer Konstanten, um nicht zu große Zahlenwerte zu erhalten) — mit dem Skalenwert\*) multipliziert und sodann folgende Korrekturen angebracht:

1. wegen der normalen Höhenänderung,
2. die Bouguersche Korrektur,
3. wegen der normalen Änderung mit der geographischen Breite (nach der Helmertschen Formel von 1901),
4. wegen der Ost-West-Geschwindigkeit des Meßapparates (Eötvös-Korrektur).

Die ersten beiden Korrekturen sind, da die Höhe des Wasserspiegels der Elbe von Hamburg nach Süden zu nicht sehr erheblich zunimmt, nur gering; sie betragen zusammen nur von 0 bis zu 7 Milligal im Maximum. Die normale Abnahme der Schwerkraft von Norden nach Süden beträgt von der Anfangsstation (Hamburg, Billhafen) bis zur Endstation (Potsdam, Nedlitzer Brücke) 94 Milligal. Die letzte Korrektur wegen der Ost-West-Geschwindigkeit des Schiffes ist am wenigsten sicher zu erfassen: Bewegt sich das Schiff auf der Erdkugel mit der Geschwindigkeit  $c$  in Richtung von Westen nach Osten, so muß, um die Messungen von der dadurch bedingten Änderung der Zentrifugalbeschleunigung zu befreien, der Betrag

$$K = 2 cw \cos \varphi$$

hinzugefügt werden, wo  $w$  die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation,  $\varphi$  die geographische Breite bedeuten. Im Mittel betrug die Geschwindigkeit des Dampfers auf der Elbe etwa 7 km, auf der Havel bis zu 12 km in der Stunde; die in die West-Ostrichtung fallende Komponente der Geschwindigkeit ist aber nur im Durchschnitt für einzelne Wegstrecken zu ermitteln, besonders unsicher auf der Elbe wegen der bereits erwähnten, durch die Untiefen bedingten erheblichen Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen des Dampfers. Der Betrag der Eötvös-Korrektur schwankt auf der Elbe innerhalb eines Bereiches von  $-11$  bis  $+17$  Milligal, auf der Havel zwischen  $+8$  und  $+27$  Milligal; ihre Unsicherheit beträgt schätzungsweise etwa  $\pm 3$  bis 6 Milligal, möglicherweise in Einzelfällen wohl auch bis 10 Milligal.

---

\*) Der Skalenwert des Instrumentes betrug  $C = 12.4 \pm 0.2$ , d. h. einem Zentimeter Verschiebung der Menisken entsprach eine Schwereänderung von 12.4 Milligal.

Die so reduzierten Messungsergebnisse während der Rückfahrt sind in den Fig. 1, 3 und 4 mit der Zeit als Ordinate graphisch aufgetragen. Jeder Meßtag wurde für sich betrachtet. Als Anschluß an die Potsdamer Basis der Schwerestörungen wurde das Mittel aus den einzelnen in der Nähe des Meßprofils liegenden 14 Pendelstationen gewählt.

Betrachten wir das Meßprofil des ersten Tages, so ist aus dem Anschluß an die Pendelstationen ein zeitlicher Gang der Nullage nicht festzustellen. Die

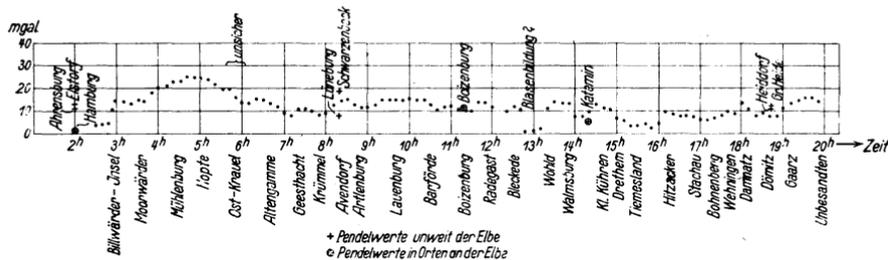


Fig. 1. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Elbe am 13. September 1933, Hamburg-Dömitz

Differenzen zwischen den in der Nähe des Meßprofils liegenden Pendelmessungen und den statischen Messungen sind folgende:

	Pendel- messungen	Statische Messungen
Hamburg . . . . .	+ 1	+ 4?
(Elstorf . . . . .	+ 11)	
(Ahrensburg . . . . .	+ 13)	
(Schwarzenbek . . . . .	+ 19)	
(Lüneburg . . . . .	+ 7)	+ 13
Boizenburg . . . . .	+ 11	+ 11
Katemin . . . . .	+ 5	+ 9
(Heiddorf . . . . .	+ 12)	+ 9
(Gr. Heide . . . . .	+ 11)	

Das würde, indem wir die Pendelwerte als absolut richtig voraussetzen, als mittleren Fehler der statischen Messungen einen Wert von knapp  $\pm 3$  Milligal ergeben.

Über Nacht änderte sich die Nullage um etwa 7 Milligal, welches einer scheinbaren Zunahme der Schwerkraft um etwa 1 bis 1.5 Milligal pro Stunde entspricht.

Betrachten wir die Messungen des zweiten Tages, so ist aus dem Anschluß des Meßprofils an die Pendelstationen, wie Fig. 2 zeigt, ein wenn auch geringer zeitlicher Gang der Nullage des statischen Schweremessers zu erkennen. Er kann in erster Linie als linear aufgefaßt werden und beträgt etwa 1.5 bis 2 Milligal pro Stunde im Sinne einer scheinbaren Zunahme der Schwerkraft. In Fig. 3 sind die

Ergebnisse des zweiten Messungstages — nach Abzug des zeitlichen Ganges der Nullage — graphisch aufgetragen. Die Differenzen der statischen gegen die angeschlossenen Pendelmessungen sind:

	Pendelmessungen	Statische Messungen
Pevestorf . . . . .	+ 17	+ 17
Wittenberge . . . . .	+ 15	+ 13
(Wilsnack . . . . .	+ 18)	+ 13
Werben . . . . .	+ 23	+ 23
(Bertkow . . . . .	+ 3)	+ 9
(Stendal . . . . .	+ 3)	— 1

Daraus würden sich als mittlerer Fehler der statischen Messungen etwa  $\pm 4$  Milligal ergeben.

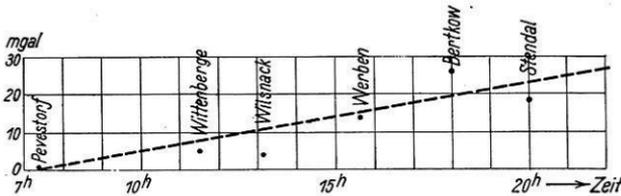


Fig. 2. Zeitlicher Gang der Nullage des statischen Schweremessers am zweiten Messungstage, ermittelt aus den angeschlossenen Pendelstationen

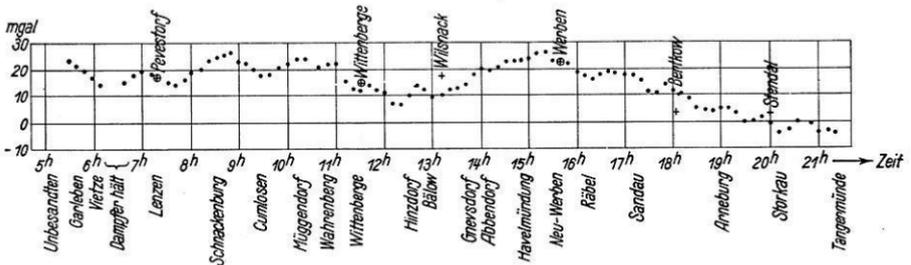


Fig. 3. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Elbe am 14. September 1933. Dömitz-Tangermünde

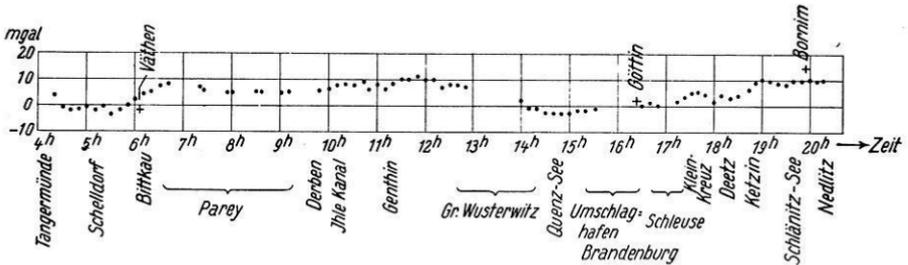


Fig. 4. Messungsergebnisse mit dem statischen Schweremesser auf der Elbe und Havel am 15. September 1933. Tangermünde-Parey-Potsdam

Während der Nacht hatte sich die Nullage des statischen Schweremessers ebenfalls im Sinne einer Zunahme der Schwerkraft (um etwa 1 bis  $\frac{1}{2}$  Milligal pro Stunde) verschoben.

Das Messungsprofil des dritten Tages läßt aus den — allerdings nur sehr wenig vorhandenen und abseits liegenden — Anschlußstationen einen zeitlichen Gang der Nullage nicht erkennen\*). Die Übereinstimmung mit den Pendelmessungen ist:

	Pendel- messungen	Statische Messungen
(Väthen . . . . .)	— 2)	+ 1
(Göttin . . . . .)	+ 2)	0
(Bornim . . . . .)	+ 14)	+ 9

Im Durchschnitt würde sich aus allen 14 Anschlußmessungen zusammen als mittlerer Fehler der statischen Messungen nach der Formel  $\sqrt{\frac{[v v]}{n-1}}$  ein Wert von rund 3 Milligal ergeben.

Die Berechnung des mittleren Fehlers kann naturgemäß nur ungefähr erfolgen, da einmal die Pendelstationen zum Teil ein erhebliches Stück abseits des Meßprofils liegen, andererseits für die statischen Messungen nur das Mittel aus den Ablesungen während einer längeren Wegstrecke genommen werden kann. Bei der Betrachtung der Fig. 4 ist zu beachten, daß die Messungsergebnisse als Funktion der Zeit, nicht als Funktion des Ortes eingetragen sind, so daß die Punkte, an denen der Dampfer einen Aufenthalt hatte, auseinandergezogen sind.

Alle drei Messungsreihen lassen in ihrem Verlauf sowohl sprunghafte als auch allmählichere Unregelmäßigkeiten erkennen, die in den meisten Fällen nicht reell sein können. Die Ursache dieser Abweichungen liegt in erster Linie außerhalb des Apparates in der bereits erwähnten Unsicherheit der Eötvös-Korrektion: Erstreckt sich die Mittelbildung aus den Ablesungen über eine oder mehrere Richtungsänderungen des fahrenden Schiffes, so ist es unmöglich, einen hinreichend genauen Wert für die Korrektion zu finden, besonders da der Ort, für welchen der jeweilige Mittelwert gilt, nicht genau anzugeben ist, einmal weil die Schiffsorte an sich nicht immer so genau lokalisiert wurden (besonders nicht morgens und abends in der Dunkelheit), zweitens die Ablesungen nicht in regelmäßigen Zeitabständen erfolgen konnten und die Mittelbildungen erst später bei der Auswertung der Beobachtungen ausgeführt wurden\*\*). In zweiter Linie

\*) Ein kleiner Gang von vielleicht 0.5 Milligal im Sinne einer scheinbaren Zunahme der Schwerkraft ist schwach zu erkennen.

\*\*\*) Künftig wird sich diese Fehlerquelle wohl fast vollständig beseitigen lassen: Auf offener See sind Kurs und Geschwindigkeit während einer Beobachtung konstante und bekannte Größen, sodaß die Korrektion hinreichend sicher zu ermitteln ist (— bis auf den durch die unbekanntete Meeresströmung verursachten Teil —); aber auch auf Flüssen kann man sie im allgemeinen genügend sicher erfassen, wenn man nur Richtung und Geschwindigkeit des Schiffes während der einzelnen Beobachtungen beachtet (— bei dieser ersten Messungsfahrt war das nicht der Fall, da die Unsicherheit der Eötvös-

kann zuweilen folgende im Apparat liegende Ursache für sprunghafte Abweichungen in der Ablesung möglich sein: Geht bei einer plötzlichen Schwankung der Flüssigkeitsmeniskus in der einen Meßkapillare sehr schnell zurück, so bleibt sehr viel Flüssigkeit an den Wänden haften. Dadurch kann wohl in besonderen Fällen, wenn nicht darauf geachtet wird, ein Fehler in dem Ablesewert bis zu 10 Milligal verursacht werden; diese Abweichung kann längere Zeit einseitig bestehen bleiben. Erfolgt die Schwankung nach der anderen Seite, so findet das schnelle Zurückgehen der Flüssigkeit in der anderen Meßkapillare statt. Zuweilen kommt es vor, daß die an den Wänden haftende Flüssigkeit wieder zusammenläuft und eine Blase bildet. Befindet sich diese am Ende des Meßkapillaren in der Biegung, so wird die Ablesung infolge der veränderten Oberflächenspannung eine ganz wesentlich andere. Mehrfach wurde eine beginnende oder schon vollendete Blasenbildung beobachtet. Vermeiden läßt sich ein solcher Fehler leicht dadurch, daß man das Instrument ein wenig neigt und dann langsam wieder in die vertikale Lage zurückgehen läßt.

Das Meßprofil Hamburg—Parey—Potsdam liegt, wie die Kossmatsche Karte der Schwereanomalien Nordwestdeutschlands\*) erkennen läßt, im wesentlichen in einem Gebiet, welches frei von nennenswerten Schwerestörungen ist. Lediglich der südwestliche Ausläufer der Schwereantiklinale in der Prignitz macht sich in der Gegend der Havelmündung bemerkbar. Diese Anomalie ist aber auch in der Kurve der statischen Messungen (Fig. 3) ganz deutlich und sicher ausgeprägt. Darüber hinaus läßt die Kurve der statischen Messungen — wenn man von den kleinen fehlerhaften Unregelmäßigkeiten absieht — im Gebiet der Vierlande unmittelbar hinter Hamburg, in welchem keine Pendelstationen vorhanden sind, noch eine örtliche Schwerestörung von etwas über  $+20$  Milligal erkennen, welche ich — obgleich der Beginn der Messungen und auch die Strecke bei Ost-Krauel einige unsichere Werte lieferte — doch mit großer Wahrscheinlichkeit als reell ansehen zu können glaube. Geologisch dürfte diese örtliche Schwereanomalie von großem Interesse sein\*\*).

korrektur erst nachträglich bei der Auswertung erkannt wurde —). Man kann auch, wenn man die gravimetrische Vermessung eines Gebiets auf den Wasserwegen ausführen will, so vorgehen, daß das Fahrzeug an jedem Beobachtungspunkt einige Minuten anhält.

\*) Flotow, Berroth, Schmehl, Kossmat: Veröff. d. Preuß. Geodät. Inst. Neue Folge, Nr. 106.

\*\*\*) Betrachtet man die in einiger Entfernung liegenden Pendelwerte, so scheint es, als wenn von dem Gebiet stärkerer positiver Störung im Nordosten etwa von der Gegend von Schwarzenbek ausgehend eine Schwereantiklinale in Form eines schmalen Rückens sich mit südwestlicher Streichrichtung durch das Gebiet der Vierlande bis in die Gegend von Elstorf erstreckt. Da augenscheinlich der Lauf der Elbe in diesem Abschnitt mit der Schwerestörung in irgendwelchem ursächlichen Zusammenhang steht, so liegt die Vermutung nahe, daß das Emporragen des schweren Grundgebirges, welches die positive Schwerestörung verursacht, mit Bewegungsvorgängen verbunden ist, an welchen auch die jüngeren Formationen beteiligt sind. Möglicherweise steht auch das bekannte Erdgasvorkommen von Neuenamme, welches an der südöstlichen Flanke dieser Schwereantiklinale liegt, damit in Beziehung.

**2. Messungen auf dem Lande.** Im Anschluß an die Messungen auf den fahrenden Schiffen wurden am 21. September Geländemessungen\*) ausgeführt, bei welchen der Schweremesser sich wieder hängend auf einem Auto befand. Es wurde das übliche Meßprofil Potsdam—Treuenbrietzen hin und zurück durchgemessen. Bei den Messungen im Gelände hat es sich als vorteilhaft erwiesen, stets die gleichen Meßbedingungen zu schaffen: Es zeigte sich öfters, daß, wenn der Apparat längere Zeit in Ruhe gehangen hat, die Einstellung etwa innerhalb eines Betrages von 5 bis 15 Milligal anders ist, als unmittelbar nach einer längeren Erschütterung. Deswegen ist es zweckmäßig, vor Beginn der Messungen ein Stück zu fahren und von jedem Punkte nach kurzem Aufenthalt gleich zur nächsten Station weiter zu fahren. Die Meßergebnisse waren folgende:

	Mittelwert der Ablesungen		Absolute Schweredifferenz gegen Potsdam in Milligal		
	Hinfahrt	Rückfahrt	Hinfahrt	Rückfahrt	Mittelwert
Potsdam . . . . .	11.94	11.85	0	+ 1	0
Michendorf . . . . .	11.60	11.23	+ 4	+ 8	+ 6
Seddin . . . . .	12.80	12.26	— 11	— 5	— 8
Beelitz . . . . .	12.93	11.55	— 13	+ 4	— 5
Buchholz . . . . .	12.45	12.49	— 7	— 7	— 7
Treuenbrietzen. . . . .	13.45		— 19		— 19

Aus den Wiederholungsmessungen folgt als mittlerer Fehler einer einzelnen statischen Schweremessung  $\pm 5.8$  Milligal. Hervorgerufen wird dieser Wert im wesentlichen durch die Messungen auf Station Beelitz, an welcher sich eine plötzliche Abweichung von 17 Milligal zeigt. Läßt man diesen herausfallenden Wert bei der Berechnung des mittleren Fehlers unberücksichtigt, so würde sich für den mittleren Fehler einer einzelnen Beobachtung nur ein Wert von  $\pm 2.6$  Milligal ergeben. Den vorliegenden Pendelmessungen nach muß der Schwereunterschied gegen Potsdam etwa sein (— nur ungefähr, da die Station der statischen Messung noch etwa 1 bis 2 km von der betreffenden Pendelstation entfernt liegt —):

Michendorf . . . . .	+ 8 Milligal
Treuenbrietzen . . . . .	— 23 „

Eine Wiederholung der Messungen am folgenden Tage zeigte zunächst — ähnlich wie bei den Messungen auf den Dampfern — einen deutlichen zeitlichen Gang der Nullage im Sinne einer scheinbaren Zunahme der Schwerkraft, außerdem mehrere sprunghafte Änderungen, wobei aber die Mittel aus den einzelnen Messungen sich recht gut mit den obigen Mittelwerten deckten. Das Auftreten dieser sprungartigen Abweichungen ist schwer zu erklären. Meiner Vermutung nach kann folgendes die Ursache sein: Bei der jetzigen Ausführung zeigen die von den Quecksilbergefäßen nach oben zur Ablesevorrichtung führenden Rohre in ihrem untersten

\*) An dieser Messungsfahrt nahm Herr Prof. Schmehl teil.

Teile ein sehr geringes Gefälle. Es ist nun denkbar, daß zuweilen ein Quecksilberkugelchen, welches bei den Erschütterungen des Transportes in das Rohr gelangt, nicht wieder zurückfließt, sondern während der Ablesung hier liegen bleibt. Da der Höhenunterschied der beiden Quecksilberhorizonte mit einer Genauigkeit von  $10^{-6}$  seines Betrages gemessen wird, so könnte eine sprunghafte Änderung in der Ablesung der beobachteten Art auf diese Weise erklärt werden.

Die Erscheinung, daß am ersten Messungstage kein zeitlicher Einfluß, am zweiten Tage dagegen ein geringer Gang der Nullage vorhanden ist, der in beiden Fällen denselben Sinn zeigt, ist möglicherweise durch Ungleichmäßigkeiten in der Eishülle zu erklären: Erfolgt das Nachfüllen oben durch den Deckel, so bleibt der vordere Teil, an welchem sich die Ablesevorrichtung befindet, mehr oder weniger eisfrei; es ist daher denkbar, daß dadurch — besonders durch die ins Innere führenden metallischen Verbindungen — eine allmähliche sehr geringe einseitige Erwärmung stattfindet. Es erscheint deswegen besser, das Eisnachfüllen stets nach Abnehmen der oberen Haube — was allerdings bedeutend zeitraubender ist — vorzunehmen, oder den äußeren Schutzmantel künftig so auszuführen, daß stets ein gleichmäßiges Nachfüllen von Eis möglich ist.

**Allgemeine Schlußfolgerungen.** Meine Versuche, den barometrischen Schweremesser zu einem praktisch brauchbaren geophysikalischen Meßinstrument zu entwickeln, sind damit — jedenfalls in den wesentlichsten Grundfragen — abgeschlossen. Daß sich mit der Zeit die Genauigkeit des Instrumentes bei technisch verbesserter Ausführung noch weiter steigern lassen wird, ist wohl als ziemlich sicher anzusehen. Wichtig ist jetzt die Frage, ob die Meßgenauigkeit des Instrumentes in seinem jetzigen Zustande genügt, um es als Feldinstrument für eine gravimetrische Vermessung der Länder und der Meere zu benutzen.

Eine Erhöhung der Sicherheit der Messungen kann auf zweierlei Wegen erreicht werden: Einmal, indem man die Dimensionen des Apparates erhöht; das ist um etwa das Dreifache möglich, ohne daß die äußeren Gesamtdimensionen vergrößert zu werden brauchen. Andererseits, indem man die Empfindlichkeit etwas herabsetzt und statt dessen einen mehrfachen Apparat konstruiert. Das letztere ist ebenfalls ohne Schwierigkeiten möglich, da die wesentlichsten Dimensionen von dem Schutzmantel und der Eishülle verursacht werden. Wählt man als Empfindlichkeit etwa 1 Milligal =  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{2}{3}$  mm Verschiebung der Menisken, so kann man — unter Beibehaltung der jetzigen Gesamtdimensionen — einen dreifachen Apparat konstruieren. Der letztere Weg scheint mir der geeigneteren zu sein, da die einzelnen Instrumente sich dann gegenseitig kontrollieren. Es ist nicht wahrscheinlich, daß drei Instrumente gleichzeitig und im gleichen Sinne einen Sprung zeigen. Einer Messungsreihe hin und zurück würden dann also sechs voneinander unabhängige Messungen an jeder einzelnen Station entsprechen, was eine entsprechende Erhöhung der Meß-

sicherheit bedeutet\*). Auf Grund der mitgeteilten Messungsergebnisse glaube ich, daß der barometrische Schweremesser damit als ein für eine allgemeine gravimetrische Vermessung der Länder und Meere geeignetes Feldinstrument in die Praxis eingeführt werden kann.

### Literatur

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

## Einige Korrelationen zwischen seismischer Bodenunruhe in Hamburg und der Brandung in West- und Nordeuropa. II.

Von **E. Tams**, Hamburg

In Fortsetzung einer früheren Untersuchung wird gezeigt, daß sich für eine lineare Einfachkorrelation zwischen den Tagesmitteln der seismischen Bodenunruhe in Hamburg und denen der Brandung an der norwegischen Küste der Korrelationskoeffizient noch etwas weiter hebt, nämlich auf 0.88, wenn man die zwecks Mitberücksichtigung der Windrichtung eingeführte Gewichtsverteilung verbessert. Sodann wird bei Zurückgreifen auf die Einzeltermine um 7<sup>h</sup> und 18<sup>h</sup> Weltzeit das Material noch einmal unter Zugrundelegung einer linearen Mehrfachkorrelation (in unserem Falle Vierfachkorrelation) durchgerechnet. Es werden die Netto regressionskoeffizienten, der totale Korrelationskoeffizient bzw. Abhängigkeitskoeffizient und die Teilkorrelationskoeffizienten ermittelt. Dieser Weg liefert eine neue Stütze für die Wahrscheinlichkeit, daß im Sinne von Wiechert zwischen Brandung an Steilküsten und Bodenunruhe in beachtlichem Maße auch ein unmittelbarer Zusammenhang besteht. Es lassen sich selbst bei Korrelierung der einzelnen Terminbeobachtungen rund 70% der mittleren quadratischen Variabilität der Bodenunruhe linear aus den Schwankungen der Brandung erklären.

Nach einer in dieser Zeitschrift (**9**, 23—31, 1933) erschienenen ersten Untersuchung von mir über die Beziehungen zwischen der Brandung in West- und Nordeuropa und der seismischen Bodenunruhe in Hamburg während eines durch besonders starke Schwankungen der letzteren charakterisierten 22tägigen Zeitabschnittes im Januar und Februar 1932 ergab sich als von ausschlaggebender Bedeutung allein die Brandung an der norwegischen Küste. Unter Abrundung auf zwei Dezimalstellen fand sich als Korrelationskoeffizient zwischen den Tagesmitteln der Bodenunruhe (abgeleitet aus den Beobachtungen um 7<sup>h</sup> und 18<sup>h</sup> Weltzeit) und den entsprechenden Tagesmitteln der Brandungswirkung des Seegangs (abgeleitet aus den Quadraten der Seegangsschätzungen an neun Stationen) ohne Berücksichtigung der Windrichtung  $h_2 = 0.85 \pm 0.04$  w. F. und mit Berücksichtigung der Windrichtung  $h'_2 = 0.86 \pm 0.04$  w. F. Dieser Unterschied hat zwar

\*) Bei den Messungen über Land wird man möglicherweise noch eine größere Meßgenauigkeit dadurch erreichen, daß man den Schwerkraftsmesser gut gefedert auf ein Schienenauto aufhängt und die gravimetrische Vermessung auf dem Eisenbahnnetz des betreffenden Landes ausführt.