

Werk

Jahr: 1940

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:16

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0016

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0016

LOG Id: LOG_0007

LOG Titel: Bestimmung gezeitlicher Änderungen des Schwerevektors hinsichtlich der Tide M₂ aus gleichzeitigen Horizontalpendelbeobachtungen in Pillnitz, Berchtesgaden und Beuthen

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

Bestimmung zeitlicher Änderungen des Schwerevektors hinsichtlich der Tide M_2 aus gleichzeitigen Horizontalpendelbeobachtungen in Pillnitz, Berchtesgaden und Beuthen*)

Von Gerhard Gnaß. — (Mit 14 Abbildungen)

Im Rahmen vorliegender Arbeit, die sich an die Arbeiten von Tomaschek und Schaffernicht anschließt, sollte die Lotablenkung an verschiedenen Orten gleichzeitig gemessen werden, um ein Bild darüber zu erhalten, ob regional abhängige Unterschiede zwischen der Größe der Lotablenkung bestehen. Überdies kann aus der Lotschwankung zusammen mit den Werten für die Schwankung der vertikalen Schwereintensität der zeitliche Verlauf der Schwerebeschleunigung für alle drei Koordinatenrichtungen $x y z$ ermittelt werden.

1. Meßgeräte und Messungen

Die Fig. 1 zeigt zwei Horizontalpendel in der Ausführungsform nach Tomaschek und Schaffernicht**). Während der Registrierung sind die Pendelgehänge mit luftdicht schließenden eisernen Hauben (10 mm Wandstärke) umgeben, um frei von Störungen durch Luftdruckschwankungen zu sein. Das Pendelgehänge besteht aus einem Aluminiumstab von $0.5 \cdot 0.2 \text{ cm}^2$ Querschnitt und 20 cm Länge (Fig. 2), der einen kleinen Spiegel von 20 mm Durchmesser, zwei Fadenklemmen, ein zylindrisches Pendelgewicht und eine Schneide trägt, die in der Drehachse angebracht sein muß, um die Schwingungszeit bei $i = 90^\circ$ bestimmen zu können. Das Gewicht der Pendelstangen betrug durchschnittlich bei allen Geräten etwa 40 g. Die Schlitze der Fadenklemmen wurden in der Längsrichtung des Pendelbalkens angeordnet, weil anderenfalls während der Registrierung zusätzliche Kippmomente auftreten, die ein sauberes Arbeiten stören. Die Schlitze wurden so geformt, daß die Fäden, an denen der Pendelstab hängt, senkrecht aus der Klemme austreten. Als sehr nützlich hat sich die leichte Verstellbarkeit der Spiegelebene erwiesen. Die Regulierung erfolgt mittels einer Schraube, an die der Metallhalter des Spiegels federnd drückt. Die Schwingungsdauer T_i kann in kurzer Zeit (etwa 2 Stunden) bei einiger Geschicklichkeit mühelos auf 150 s gebracht werden, was bei den benutzten Registrierentfernungen einer Empfindlichkeit von etwa $0.0005''/\text{mm}$ entspricht. Aller-

*) Dresdener Dissertation.

***) Siehe W. Schaffernicht: Ann. d. Phys. 29. 349 (1937).

dings hat es bei einem neu aufgestellten Gerät keinen großen Wert, die Schwingungsdauer gleich so hoch zu treiben, da der elastische Gang der benutzten Fäden bei zu großer Schwingungsdauer T_i am Anfang zu sehr stört. Als Fadenmaterial wurde Phosphorbronzeband mit rechteckigem Querschnitt $0.3 \cdot 0.02 \text{ mm}^2$ verwendet.

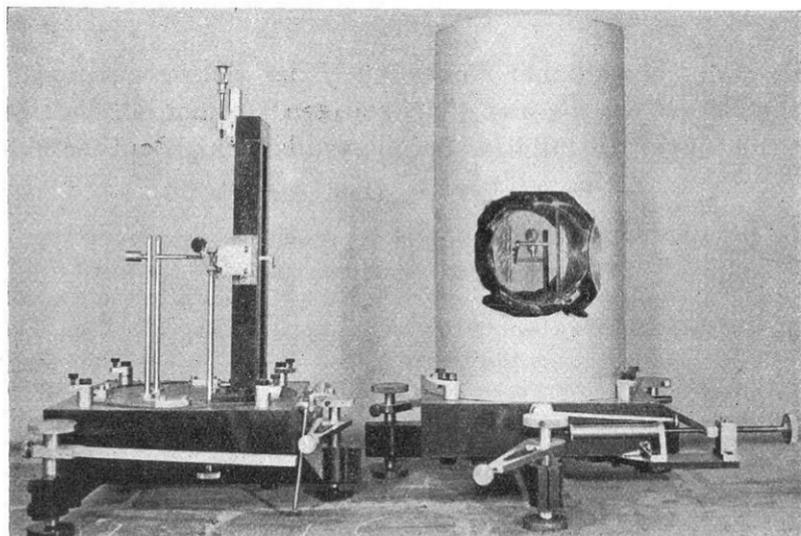


Fig. 1. Horizontalpendel mit Zöllnerscher Aufhängung, links offen, rechts geschlossen

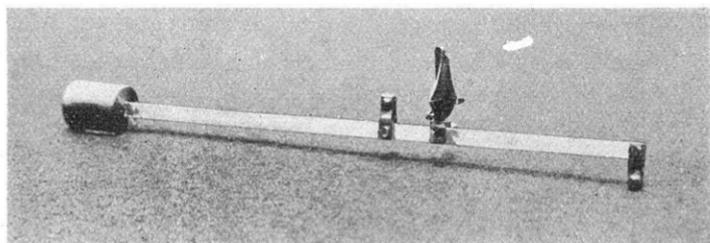


Fig. 2. Pendelgehänge des Horizontalpendels. (Spiegel abgenommen)

Als Beobachtungsorte waren folgende drei Stationen ausersehen:

- | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Pillnitz bei Dresden | $\varphi = 51^{\circ} 1'$ | $\lambda = - 13^{\circ} 53'$, |
| 2. Berchtesgaden | $\varphi = 47^{\circ} 38'$ | $\lambda = - 12^{\circ} 59'$, |
| 3. Beuthen O/S | $\varphi = 50^{\circ} 51'$ | $\lambda = - 36^{\circ} 36'$. |

Da an drei verschiedenen Orten gleichzeitige Beobachtungen ausgeführt werden sollten, waren sechs Horizontalpendel erforderlich.

Die Pillnitzer Station besteht aus einem Felsengewölbe, das 45 m waagrecht im Granit vorgetrieben ist und eine durchschnittliche Breite und Höhe von 4.5 m hat. Der Pendelraum befindet sich etwa 50 m unter der Erdoberfläche. Das Gestein gehört zu einem westlichen Ausläufer des Lausitzer Granitmassivs. Die Aufstellung der beiden Horizontalpendel erfolgte in dem nach außen hin vollkommen abgeschlossenen Raum auf einem gemeinsamen großen Sandsteinsockel, der auf dem gewachsenen Granitgestein fest verankert war. Genügende Temperaturkonstanz wurde während mehrwöchiger Temperaturregistrierung mittels einer empfindlichen Bimetallspirale festgestellt. Die Temperaturänderung je Woche lag unter 0.01°C . Die durchschnittliche Jahrestemperatur betrug etwa 8.8°C . Die Pendel standen in einem vom Registrierwerk vollkommen getrennten Raum, der nur hin und wieder zwecks Justierung der Geräte betreten werden mußte. Durch diese getrennte Aufstellung wurden Temperaturstörungen der Pendel vermieden. Die photographische Registriervorrichtung war in einem zweiten Raum untergebracht. In der Trennwand nach den Instrumenten hin befand sich ein Registrierfenster. Die Aufzeichnungen erfolgten mittels lichtempfindlichen Millimeterpapiers, das auf eine Trommel aufgespannt wurde, die sich in einer Woche einmal herumdrehte. Der Streifenwechsel erfolgte entsprechend alle 7 Tage. Der Vorschub des Papiers betrug in 1 Stunde knapp 0.5 cm. Durch eine genau gehende Stundenkontaktuhr wurde der Registrierstreifen über seine ganze Breite durch einen Schlitz hindurch stündlich etwa 30 s belichtet. Gleichzeitig wurde diese Belichtung so eingerichtet, daß auf dem Registrierstreifen laufend eine Nullmarke entstand, die zum Ablesen der Kurvenordinaten erwünscht ist. Da Verzerrungen des Papiers beim Entwickeln und während der Registrierung selbst nicht ausgeschlossen sind, ist der Vorteil der über die ganze Streifenbreite laufenden Zeitmarke offenbar, weil somit ganz sicher zusammengehörige Punkte von Kurve und Zeit- bzw. Nullmarke abgelesen werden können. Der Pendelinnenraum wie auch Registrierwerk und Stundenkontaktuhr waren mit einem Trockenmittel versehen. Infolge der großen Feuchtigkeit in der Pillnitzer Station mußten alle Abbildungslinsen und Registrierfenster in der Trennwand zwischen Instrumenten- und Beobachtungsraum elektrisch beheizt werden. Die Stromstärke in den Heizdrähten war so bemessen, daß die sich einstellende Temperatur gerade noch über derjenigen des Kellers lag. Für die spätere Auswertung war *der* Umstand günstig, daß die Pendel in N-S- und E-W-Richtung aufgestellt werden konnten. Die Gewichte der Pendelstangen betragen beim N-S-Pendel 37.801 g, beim E-W-Pendel 43.303 g. Der Registrierabstand war bei beiden Geräten 455 cm. Die Schwingungsdauer T_0 bei waagerechter Drehachse betrug bei dem N-S- und E-W-Pendel 0.731 s. Während der Zeit, für die die Ergebnisse der Analysen beigegeben sind, war die mittlere Schwingungszeit in der Gebrauchslage beim N-S-Pendel $T_i = 76.0$ s, bei dem E-W-Pendel $T_i = 91.5$ s. Also hat $\sin i = (T_0/T_i)^2$ für das E-W-Pendel den Wert $0.64 \cdot 10^{-4}$; einer Ordinatenänderung von einem Millimeter auf dem Registrierpapier entsprach eine Neigungsänderung der Pendelachse um $\partial \varphi = 0.00144''$. Entsprechend ergab sich für das N-S-Pendel $\partial \varphi = 0.00210''$.

Unter den in den Analysen aufgeschriebenen Skalenwerten ist $w = 10^3 \cdot \partial q$ zu verstehen, d. h. in unserem Beispiel ist $w = 1.44$ bzw. $w = 2.10$.

Wie schon Schaffernicht bei seinen Messungen beobachtete, ändern sich die Schwingungszeiten T_i laufend nach einer Richtung. In Pillnitz war der T_i -Gang beim E-W-Pendel stärker als beim N-S-Pendel. Im Laufe von $1\frac{1}{4}$ Jahren stieg die Schwingungszeit beim E-W-Pendel von 84 auf 125 s, um dann in wenigen Tagen in Form einer *e*-Kurve nach unendlich zu wandern. Die häufige Bestimmung der Schwingungszeit ist also unerlässlich. Beim N-S-Pendel änderte sich die Schwingungszeit im gleichen Zeitraum von 64 auf 79 s. Allerdings wird der Gang des T_i zum Teil durch die Nachjustierung hervorgerufen, die ab und zu erfolgen muß, weil auch die Nullpunktstage beider Pendel einen Gang zeigte. Infolge der Anordnung der Fußschrauben der Pendelsockel (Fig. 3) entsteht beim Zurückholen des Lichtzeigers in die alte Nulllage mittels der Fußschrauben I und II eine Kippkomponente senkrecht zu der Ebene durch Drehachse und Vertikale. Jede derartige Neigungsänderung bewirkt eine Änderung der Empfindlichkeit und hat einen statischen Pendelausschlag zur Folge. Zwar ist es möglich, die alte Nullpunktstage bei gleicher Empfindlichkeit durch entsprechende Verstellung der beiden Fußschrauben I und II zu bewirken, jedoch müßte immer noch zur Kontrolle nach jeder Justierung T_i bestimmt werden. Die Justierung bei gleichbleibender Empfindlichkeit könnte mit Hilfe eines zum Meßpendel senkrecht aufgehängten, unempfindlicheren Hilfspendels erfolgen. Die Nullpunktänderung betrug im Verlauf von $1\frac{1}{4}$ Jahren beim E-W-Pendel etwa $11''$, beim N-S-Pendel $4''$, und zwar entsprach dem Gang des E-W-Pendels ein Senken des Bodens im Westen und dem Gang des N-S-Pendels ein Senken im Norden. Diese Gänge sind zum Teil

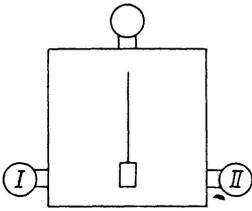


Fig. 3. Schema der Pendelanordnung

an den Registrierkurven (Fig. 7) zu erkennen, die als Beispiele für die Ergebnisse dieser Messungen beigelegt sind (photographisch verkleinert). Daß der Gang der Registrierkurven nicht nur von der elastischen Änderung der Fäden herrührt, sondern auch tatsächlich auf vorhandene Neigungsänderungen des Bodens zurückzuführen ist, wurde mit Hilfe einer hochempfindlichen Registrierlibelle festgestellt (vgl. Fig. 7 und 8). In der Mitte der Fig. 7 sind die Endpunkte der Stundenmarken zugleich die Bilder des Randes der Blase der Registrierlibelle. Der Gang ist deutlich zu verfolgen. Das Wandern der Blase in der Röhrenlibelle, die neben den Pendeln auf dem gleichen Sockel aufgestellt war, wurde optisch auf dem Registrierstreifen mit aufgezeichnet. Die Abbildung erfolgte mit einem langbrennweitigen Achromaten und zwei 90° -Prismen. In der Fig. 8 ist die Registrierlibelle mit den beiden Prismen ohne Gehäuse zu sehen. Die Beleuchtung des Apparates erfolgte mit einer sehr lichtstarken Quecksilberhochdruckdampflampe, die alle Stunde (zugleich als Stundenmarkenlampe) für kurze Zeit aufflamnte. In Fig. 7 ist bei etwa gleicher Empfindlichkeit beider Horizontalpendel

die größere Amplitude des E-W-Pendels zu erkennen (vgl. Pillnitz-Analyse). Weiterhin tritt die Überlagerung einer halbtägigen und gantztägigen Welle sowohl bei dem N-S- als auch bei dem E-W-Pendel deutlich hervor (Fig. 4 und 6). Da die

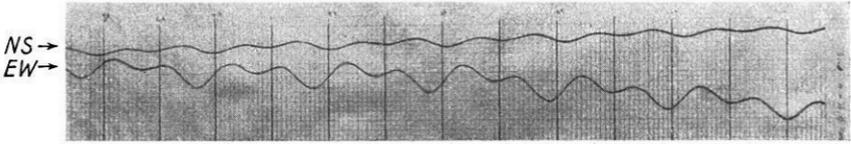


Fig. 4. Beispiel von zwei zu gleicher Zeit in Pillnitz aufgenommenen Registrierkurven in den Richtungen N-S und E-W, sechsfach verkleinert (etwa gleiche Empfindlichkeit beider Pendel)

Der zeitliche Abstand zwischen je zwei starken senkrechten Strichen beträgt zwölf Stunden. Die Lotschwankung in der EW-Richtung ist stärker. Beide Pendel zeigen die Überlagerung einer halbtägigen und gantztägigen Welle

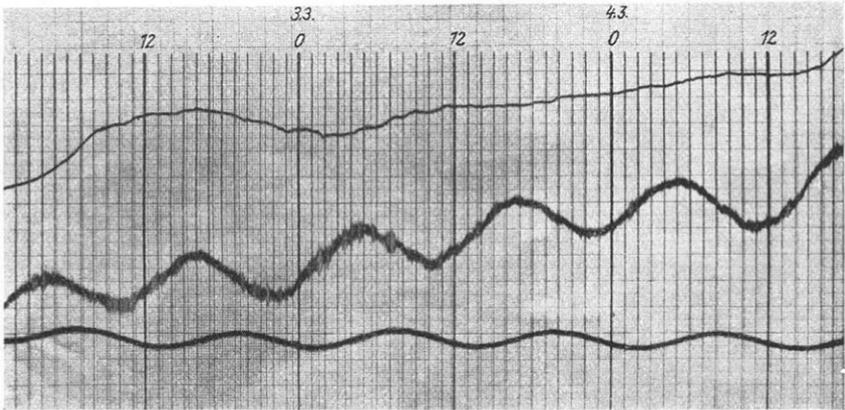


Fig. 5. Beispiel einer durch stärkere mikroseismische Unruhe gestörten Kurve (2.3-fach verkleinert). Die oberste, dünne Kurve ist die Aufzeichnung des Luftdruckes

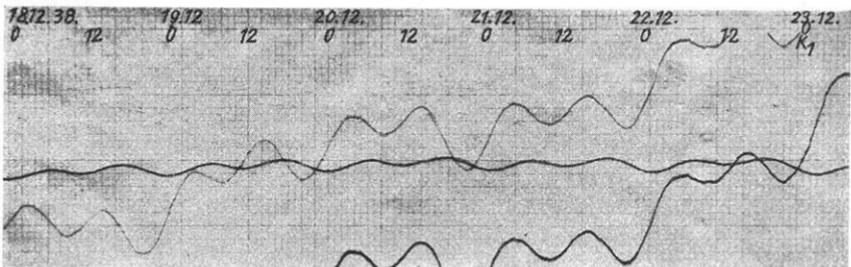


Fig. 6. Die abgebildete Horizontalpendelregistorierkurve zeigt besonders deutlich die Überlagerung einer halbtägigen und gantztägigen Welle (6fach verkleinert)

Nullpunktsänderung des E-W-Pendels zeitweise sehr stark war, wurde die optische Abbildung verdoppelt, d. h. das eine Pendel registrierte mit zwei Lichtzeigern derart, daß, falls der *eine* aus dem Registrierbereich hinauswanderte, der andere hereinkam. So sind die Parallelkurven in den beiden Fig. 6 und 7 zu erklären. Außerdem wurde noch der Luftdruck mitregistriert, um gegebenenfalls in späteren Untersuchungen seinen Einfluß zu beobachten. Erdbebenstörungen, die zum Teil sehr große Amplituden und Eigenschwingungen der Pendel verursachten, hatten auf den Gesamtverlauf der Registrierungen keinen wesentlichen Einfluß. Ebenso bleiben die Pendel bei lokalen Erschütterungen mit kurzer Schwingungsdauer beinahe ungestört. Weit ungünstiger wirken plötzlich auftretende Massen-

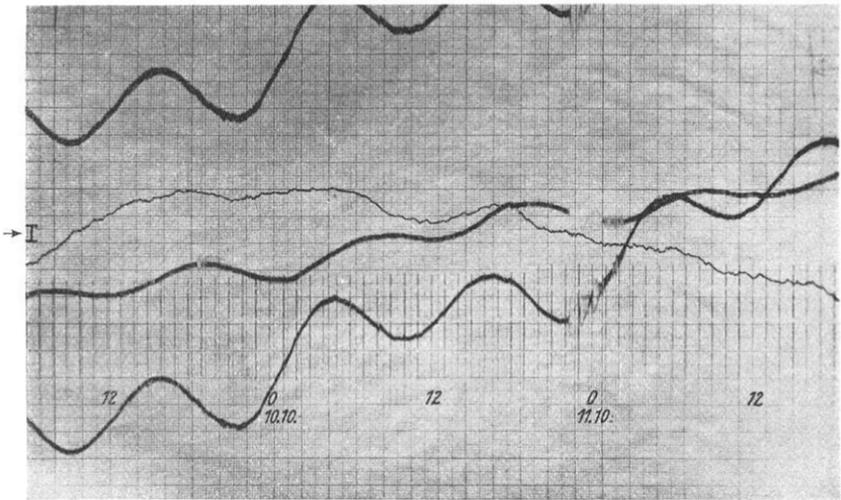


Fig. 7 zeigt ein Stück einer Registrierkurve mit einem starken, von beiden Pendeln aufgezeichneten Erdbeben am 10. Oktober 1938 22^h 20'' (2.2fach verkleinert). Wie in Fig. 6 zeichnet auch hier das eine Pendel infolge doppelter Abbildung zweifach auf. Die dünne Kurve gibt den Luftdruck an

verlagerungen infolge starker Niederschläge wie Regen und Schnee. Einwandfrei wurde in Berchtesgaden zur Zeit der Schneeschmelze ein Neigen des Bergmassivs nach dem Tal der Berchtesgadener Achse hin festgestellt, in dem sich durch die Schneeschmelze große Wassermassen sammelten, so daß eine starke Massenverlagerung stattfand, die zu der erwähnten Kippbewegung führte. Das Tal verläuft in der Nähe der Beobachtungsstation ungefähr in Ost-West-Richtung. Außerdem kann starker Sturm Bodenneigungen hervorrufen. Dies ist bisweilen besonders deutlich in Pillnitz beobachtet worden, wo das Bergmassiv, in dem sich die Beobachtungsstation befand, den auftretenden Luftströmungen eine große Angriffsfläche entgegenstellte. Hin und wieder ist eine besondere seismische Unruhe meist als Folge von Frostwirkungen zu beobachten gewesen. Fig. 5 gibt

hierfür ein Beispiel. Der Gesamtverlauf der Messung wird dadurch nicht weiter gestört.

Eine zweite Beobachtungsstation konnte in einem Beuthener Steinkohlenbergwerk dank des Entgegenkommens von Prof. Mainka und der Bergwerksgesellschaft G. v. Giesches Erben eingerichtet werden. Die Station befindet sich in unmittelbarer Nähe der ehemaligen Reichsgrenze 540 m unter Tage in einem abgedämmten stillliegenden Querschlag. Ehe die Station ausgebaut wurde,

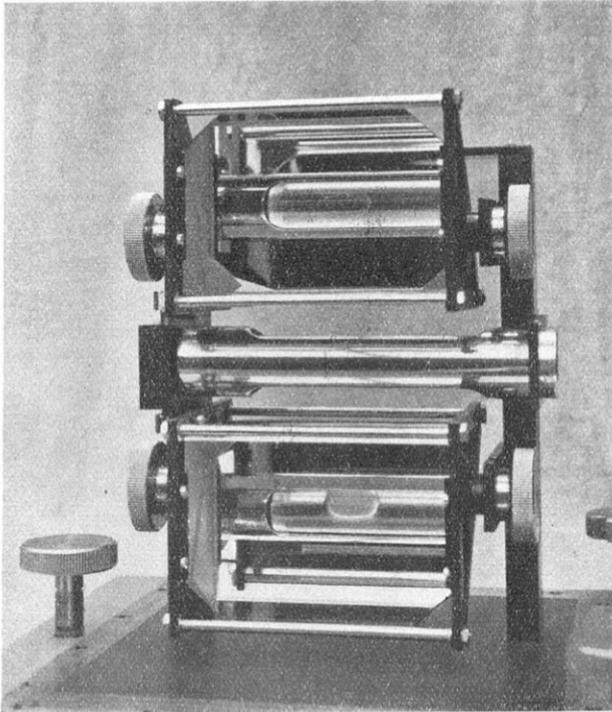


Fig. 8. Registrierlibelle (1.2'' je Skalenteil). Im oberen und unteren Prisma spiegelt sich die Libelle mit Blase und Teilung

waren sorgfältige Temperaturregistrierungen nötig, um eventuelle Temperaturschwankungen zu überprüfen. Im Gegensatz zu Pillnitz war es in der Grube sehr warm; in der später errichteten Kammer betrug die Temperatur im Mittel 29° C. Auch hier wurde der Instrumentenraum vom Registrierraum getrennt. Wieder mußte das Registrierfenster in der mittleren Trennwand elektrisch geheizt werden. In der Umgebung der Beuthener Station bestand die Erdrinde in der Hauptsache aus Sandstein mit zwischengelagerten Kohleflözen. Die Pendel standen auf einem Betonpfeiler, der auf den Natursandstein aufgesetzt worden war. Die Daten für die Beuthener Pendel sind folgende: Das von Süden aus über Westen gerechnete

Azimut betrug für das eine Pendel 180° , für das zweite Pendel 108° . Die Gewichte der Gehänge waren 44.705 g und 45.758 g. Als Registrierentfernung standen für beide Geräte 912 cm zur Verfügung. Die für horizontale Drehachse gemessenen Schwingungszeiten betragen für das erste Pendel $T_0 = 0.7300$ s und für das zweite Pendel $T_0 = 0.7305$ s. Da während der Beobachtungszeit die mittlere Schwingungsdauer in Gebrauchslage 62.0 s für das N-S-Pendel und 54.6 s für das E-W-Pendel betrug, entsprechen einem Registrierausschlag von einem Millimeter folgende Neigungsänderungen der Pendeldrehachsen:

N-S-Pendel	$\partial \varphi = 0.001565''$,
E-W-Pendel	$\partial \varphi = 0.002020''$.

Die Schwingungszeiten der Beuthener Pendel änderten sich im Vergleich zu den Pillnitzer Geräten viel weniger. In einem Zeitraum von 6 Monaten betrug der

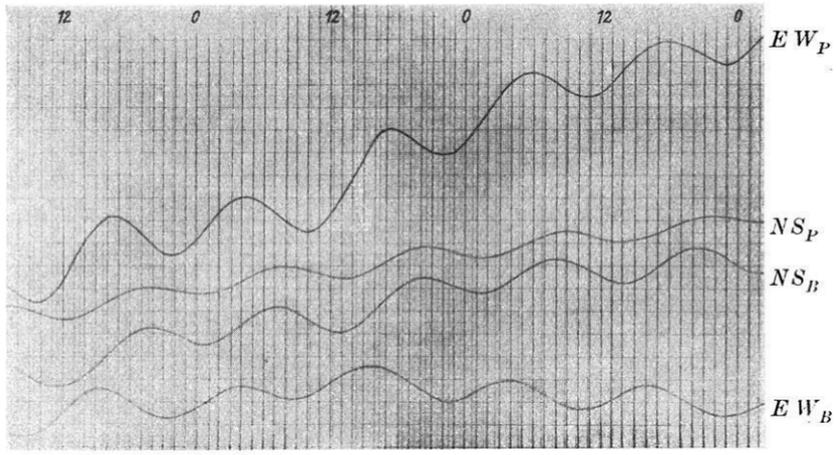


Fig. 9. Parallelregistrierung Pillnitz-Beuthen

T_i -Gang bei dem einen Pendel $2''$, beim anderen beinahe ebensoviel. Trotzdem wurden auch bei diesen Geräten des öfteren die Schwingungszeiten bestimmt. Hin und wieder ruckartig auftretende Nullpunktsschwankungen waren auf die Abbauarbeiten in der Grube zurückzuführen.

Interessant ist die Fig. 9, die einen Ausschnitt aus der Pillnitz-Beuthener Parallelregistrierung zeigt. Die beiden mittleren und äußeren Kurven geben entsprechende Komponenten der Lotschwankungen wieder. Das Bild wurde im Pausverfahren hergestellt.

Schließlich sei noch kurz auf die dritte Station in Berchtesgaden eingegangen. Sie befindet sich in einem Steinsalzbergwerk 124 m unter der Erdoberfläche und 567 m über Normal-Null. Die mittlere Temperatur des Bergwerks lag bei 8° C. Der Registrierraum war verhältnismäßig trocken. Nach bewährtem Grundsatz

waren die Instrumente vom Registrierraum getrennt. Folgende Zahlen seien hier genannt:

N-S-Pendel $T_0 = 0.720$ s,
 $T_i \sim 100$ s,
 Registrierentfernung 561 cm,
 $\vartheta \Phi = 18.3837''$,
 $w = \vartheta \varphi \cdot 10^3 \sim 1.04''$,
 Pendelgewicht 41.72 g.

E-W-Pendel $T_0 = 0.720$ s,
 $T_i \sim 95$ s,
 Registrierentfernung 532 cm,
 $\vartheta \Phi = 19.3858''$,
 $w = \vartheta \varphi \cdot 10^3 \sim 0.95''$,
 Pendelgewicht 40.81 g.

Der Errichtung der einzelnen Beobachtungsstationen gingen langwierige Vorarbeiten voraus, da fast alle Instrumente und Hilfsgeräte wie Stundenkontaktuhren, Registrierwerke, optische Einrichtungen usw. in der Werkstatt des Physikalischen Instituts der Technischen Hochschule Dresden angefertigt bzw. entwickelt und erprobt werden mußten. Bei der optischen Abbildung ist von Bedeutung, daß durch die Verwendung rhodiniertes Oberflächenspiegel die Güte des Bildes auf dem Registrierwerk ganz erheblich verbessert werden konnte. Da die Bildweite der Linsenabbildung bis zu 14 m betrug und als Linsen gewöhnliche Brillengläser Verwendung fanden, war es teilweise schwierig, bei den gegebenen Verhältnissen gute Abbildungen zu erreichen.

2. Zur Auswertung der Registrierkurven

Das Beobachtungsmaterial wurde nach einem von H. Voit entwickelten Verfahren nach Amplitude und Phase des M_2 -Gliedes analysiert. Dieses Verfahren*) hat den Vorteil, daß es bei befriedigender innerer Genauigkeit nur verhältnismäßig kurze Registrierreihen voraussetzt und außerdem ein Minimum an Rechenarbeit im Vergleich mit anderen Methoden erfordert. Die neue Methode ergab im wesentlichen bei gleichem Zahlenmaterial übereinstimmende Ergebnisse mit der Doodsonschen bzw. Darwinschen und Börgenschen Analyse. Zur Bestimmung der Tide M_2 werden im Prinzip nur 2 Tage, der 1. und 10. Tag der Messung, gebraucht, da sich in diesem Falle bei der Voitschen Analyse die anderen halbtägigen Glieder S_2 , N_2 und K_2 herausheben.

Als Beispiel der Auswertung ist in Tabelle 1 und 2 eine Analyse mitgeteilt, in der die E-W-Komponente der Pillnitzer Station berechnet wird. In den

*) Eine Darstellung des Verfahrens siehe in der folgenden Arbeit von H. Voit.

Tabelle 1. Beispiel für die Bearbeitung der Beobachtungen (stündliche Ableseung)
Station Pillnitz, EW

Tag	Stde.	Beob.	2 · A.M.	Diff.	2 · A.M.	Tag	Stde.	Beob.	2 · A.M.	Diff.	2 · A.M.
11. 12.	0	16.5	34.5	- 2.5	- 4.1	20. 12.	0	25.9	47.9	- 0.9	+ 9.7
1937		18.0	37.0	- 1.6	- 1.9	1937		22.0	38.8	+ 10.6	+ 20.8
	2	19.0	38.6	- 0.3	+ 1.5		2	16.8	28.2	+ 10.2	+ 17.1
		19.6	38.9	+ 1.8	+ 5.6			11.4	18.0	+ 6.9	+ 9.7
	4	19.3	37.1	+ 3.8	+ 8.0		4	6.6	11.1	+ 2.8	+ 1.6
		17.8	33.3	+ 4.2	+ 7.7			4.5	8.3	- 1.2	- 6.0
	6	15.5	29.1	+ 3.5	+ 6.6		6	3.8	9.5	- 4.8	- 11.8
		13.6	25.6	+ 3.1	+ 3.9			5.7	14.3	- 7.0	- 15.3
	8	12.0	22.5	+ 0.8	- 1.1		8	8.6	21.3	- 8.3	- 15.4
		10.5	21.7	- 1.9	- 4.9			12.7	29.6	- 7.1	- 11.0
	10	11.2	23.6	- 3.0	- 7.6		10	16.9	36.7	- 3.9	- 4.6
		12.4	26.6	- 4.6	- 9.7			19.8	40.6	- 0.7	+ 1.1
	12	14.2	31.2	- 5.1	- 9.4		12	20.8	41.3	+ 1.8	+ 4.8
		17.0	36.3	- 4.3	- 8.3			20.5	39.5	+ 3.0	+ 6.3
	14	19.3	40.6	- 4.0	- 6.7		14	19.0	36.5	+ 3.3	+ 5.3
		21.3	44.6	- 2.7	- 3.2			17.5	33.2	+ 2.0	+ 0.4
	16	23.3	47.3	- 0.5	+ 1.0		16	15.7	31.2	- 1.6	- 6.0
		24.0	47.8	+ 1.5	+ 4.8			15.5	32.8	- 4.4	- 11.5
	18	23.8	46.3	+ 3.3	+ 7.1		18	17.3	37.2	- 7.1	- 16.5
		22.5	43.0	+ 3.8	+ 7.8			19.9	44.3	- 9.4	- 18.1
	20	20.5	39.2	+ 3.0	+ 4.6		20	24.4	53.7	- 8.7	- 16.3
		18.7	36.2	+ 1.6	+ 1.3			29.3	62.4	- 7.6	- 12.5
	22	17.5	34.6	- 0.3	- 1.9		22	33.1	70.0	- 4.9	- 4.7
		17.1	34.9	- 1.6	- 3.3			36.9	74.9	+ 0.2	+ 4.6
	0	17.8	36.5	- 1.7	- 3.8		0	38.0	74.7	+ 4.4	+ 11.7
		18.7	38.2	- 2.1	- 4.1			36.7	70.3	+ 7.3	+ 15.7
		19.5	40.3	- 2.0				33.6	63.0	+ 8.4	
		20.8	42.3					29.4	54.6		
		21.5						25.2			

Tabelle 2. Beispiel einer harmonischen Analyse
Station Pillnitz, EW (direkt)

11.12.1937	{	+4.1	-1.5	-8.0	-6.6	+1.1	+7.6	+9.4	+6.7	-1.0	-7.1	-4.6	+1.9	-3.3	+5.3	+2.0	
		+13.5	-5.2	-9.0	-13.7	-3.5	+9.5	+61.16	-12.74								
		+27.2	+8.7	-18.5	+27.2	+13.6	+40.8	-9.8	-8.5								
20.12.1937	{	-19.7	-17.1	-1.6	+11.8	+15.4	+4.6	-4.8	-5.3	+6.0	+16.5	+16.3	+4.7	-6.6	+33.4	+26.8	
		-24.5	-22.4	+4.4	+28.3	+31.7	+9.3	-116.56	-76.96								
		-52.8	-54.1	-4.9	+49.2	-24.6	-77.4	-59.0	-51.1								
						+177.72		+0.0229									
						-64.22		+8.6597									
																$\sqrt{74.9909} = 8.660$	
																$\text{tg } \bar{\varphi}^* = +378.15283$	

Tabellen 3 bis 5 sind einige Analysenergebnisse der drei Stationen (Pillnitz, Berchtesgaden und Beuthen) beigelegt, um die Übereinstimmung der sich ergebenden Phasen und Amplituden verfolgen zu können. Die täglichen harmonischen Ana-

Tabelle 3. Analysenergebnisse der Tide M_2 .

	Tag	direkt	Koeffizient · 0.001'' aus der ersten Differenz
Pillnitz E-W	11. 12. 1937	8.660	8.202
	12. 12. 1937	8.366	8.049
	13. 12. 1937	8.516	8.119
	14. 12. 1937	8.217	8.671
	15. 12. 1937	7.366	8.271
	16. 12. 1937	7.567	7.907
	Mittel	8.12 ± 0.48	Mittel 8.20 ± 0.24
N-S	11. 12. 1937	6.166	4.921
	12. 12. 1937	4.839	4.800
	13. 12. 1937	4.915	5.013
	14. 12. 1937	5.380	5.303
	15. 12. 1937	5.286	5.282
	16. 12. 1937	5.530	5.432
Mittel	5.19 ± 0.24	Mittel 5.13 ± 0.23	
Berchtesgaden E-W	9. 2. 1939	7.852	8.366
	11. 2. 1939	7.047	7.141
	14. 2. 1939	8.217	8.076
	Mittel	7.70 ± 0.49	Mittel 7.86 ± 0.52
N-S	5. 2. 1939	4.374	4.655
	9. 2. 1939	4.593	4.576
	12. 2. 1939	4.013	3.947
Mittel	4.33 ± 0.24	Mittel 4.39 ± 0.32	
Beuthen (E-W)*	13. 7. 1938	6.307	6.370
	17. 7. 1938	7.929	7.553
	18. 7. 1938	7.937	7.608
	Mittel	7.39 ± 0.77	Mittel 7.18 ± 0.57
(N-S)*	16. 7. 1938	5.449	4.875
	17. 7. 1938	7.255	6.035
	18. 7. 1938	6.444	6.657
Mittel	6.38 ± 0.74	Mittel 5.26 ± 0.74	

lysen wurden durchweg nach Angaben von J. Bartels (Potsdam) vorgenommen**). Die 12 Ausgangswerte in der Analysentabelle werden aus den stündlich abgelesenen Kurvenordinaten durch folgende Differenzbildung erhalten:

$$\begin{array}{ccccccc}
 (2 + 3); & (4 + 5); & (6 + 7); & \dots & (22 + 23); & (0 + 1). \\
 - (0 + 1); & - (2 + 3); & - (4 + 5); & & - (20 + 21); & - (22 + 23).
 \end{array}$$

*) Wegen der räumlichen Verhältnisse in der Station Beuthen stehen die Pendel dort nicht genau in E-W- und N-S-Richtung, sondern weichen um 18.5°, im Sinne des Uhrzeigers gezählt, davon ab. Die Reduktion ist der Einfachheit halber erst am Mittelwert in Tabelle 6 vorgenommen worden.

***) Es sei Herrn Prof. Bartels an dieser Stelle für sein freundliches Entgegenkommen bei der Einführung in seine Methode herzlichst gedankt.

Gleichzeitig wird durch diese Differenzbildung der Gang der Registrierkurve, falls er noch in den Zahlenwerten enthalten ist, linear herausgenommen. Da jedoch der Gang häufig infolge von Luftdruckschwankungen und Niederschlags-

Tabelle 4. Ergebnisse der Phasenberechnung von M_2

Ort	Pendel	Tag	Analyse direkt		Analyse mit erster Differenz		
			q^*	$q_{red.}$	q^*	$q_{red.}$	
Pillnitz	E-W	11. 12. 1937	+ 89° 51'	+ 44.850	+ 44° 2'	+ 44.033	
		12. 12. 1937	+ 69° 26'	+ 48.817	+ 22° 22'	+ 46.750	
		13. 12. 1937	+ 46° 10'	+ 49.933	+ 4° 13'	+ 52.983	
		14. 12. 1937	+ 19° 52'	+ 48.017	- 25° 30'	+ 47.650	
		15. 12. 1937	+ 1° 20'	+ 53.867	- 53° 11'	+ 44.350	
		16. 12. 1937	- 27° 40'	+ 49.250	+ 88° 41'	+ 30.600	
	N-S	11. 12. 1937	- 5° 34'	- 50.567	- 51° 54'	- 51.900	
		12. 12. 1937	- 29° 41'	- 50.300	- 75° 37'	- 51.233	
		13. 12. 1937	- 52° 54'	- 49.133	+ 77° 40'	- 53.567	
		14. 12. 1937	- 77° 23'	- 49.250	+ 59° 51'	- 47.000	
		15. 12. 1937	+ 82° 41'	- 44.800	+ 37° 15'	- 45.233	
		16. 12. 1937	+ 57° 29'	- 46.617	+ 15° 12'	- 42.900	
	Berchtesgaden	E-W	9. 2. 1939	+ 1° 9'	+ 136.150	- 46° 49'	+ 133.167
			11. 2. 1939	- 44° 13'	+ 128.850	+ 84° 37'	+ 123.300
			14. 2. 1939	+ 30° 51'	+ 136.733	- 14° 20'	+ 136.550
		N-S	5. 2. 1939	- 42° 53'	- 75.700	+ 88° 51'	- 78.947
9. 2. 1939			+ 62° 34'	- 64.900	+ 17° 15'	- 65.217	
12. 2. 1939			- 11° 44'	- 66.067	- 57° 49'	- 67.150	
Beuthen O/S	(E-W)*	13. 7. 1938	- 73° 20'	- 106.150	+ 59° 48'	- 108.017	
		17. 7. 1938	+ 5° 12'	- 122.267	- 34° 58'	- 117.433	
		18. 7. 1938	- 7° 35'	- 110.650	- 57° 12'	- 115.300	
	(N-S)*	16. 7. 1938	- 70° 59'	+ 64.017	+ 81° 46'	+ 81.767	
		17. 7. 1938	+ 86° 24'	+ 65.783	+ 50° 4'	+ 74.450	
		18. 7. 1938	+ 56° 38'	+ 60.400	+ 10° 53'	+ 69.650	

Tabelle 5. Phasenmittel von M_2 für die angegebenen Tage um 0 Uhr

Station	Pendel	Tag	direkt	Aus der ersten Differenz
Pillnitz	E-W	11. 12. 1937	$\varphi = + 49.12^0 \pm 2.68^0$	$\varphi = + 44.39^0 \pm 6.88^0$
	N-S	11. 12. 1937	$\varphi = - 48.45^0 \pm 2.07^0$	$\varphi = - 48.64^0 \pm 2.62^0$
Berchtesgaden	E-W	9. 2. 1939	$\varphi = + 133.91^0 \pm 3.58^0$	$\varphi = + 131.01^0 \pm 5.63^0$
	N-S	5. 2. 1939	$\varphi = - 68.89^0 \pm 4.84^0$	$\varphi = - 70.44^0 \pm 6.07^0$
Beuthen	(E-W)*	13. 7. 1938	$\varphi = - 113.02^0 \pm 6.78^0$	$\varphi = - 113.58^0 \pm 4.03^0$
	(N-S)	16. 7. 1938	$\varphi = + 63.40^0 \pm 2.24^0$	$\varphi = + 75.29^0 \pm 4.98^0$

*) Siehe Anmerkung S. 11.

störungen nicht linear ist, hat sich die aus dem Analysenschema ersichtliche weitere Mittel- und Differenzbildung als sehr vorteilhaft erwiesen, wodurch auch nichtlineare Gänge weitestgehend herausfallen. Die angegebene Art der Analysen hat noch den Vorteil, daß der sich eventuell täglich ändernde Skalenwert w mühelos berücksichtigt werden kann. Die mittlere Streuung bleibt bei allen Auswertungen, falls wenigstens fünf Analysen dazu benutzt werden, stets unter 6%.

3. Ergebnisse der Beobachtungen

Die in Tabelle 2 rechts unten stehende Zahl ist bereits der für den betreffenden Ort und die betreffende Richtung sich ergebende Wert für die Tide M_2 . Die zugehörige Phase ergibt sich aus $\text{tg } \bar{\varphi}^*$.

In Tabelle 4 ist die Berechnung der Phasen tabellarisch zusammengestellt. Da das bei der Analyse vor der Wurzel stehende Wertepaar im wesentlichen $M_2 \cdot \cos \bar{\varphi}^*$ und $M_2 \cdot \sin \bar{\varphi}^*$ bedeutet, wird durch Division sofort $\text{tg } \bar{\varphi}^*$ erhalten, wobei jedoch $\bar{\varphi}^*$ nicht der gesuchte Phasenwinkel direkt ist. Vielmehr muß auf Grund der verschiedenen Differenzbildungen und Mittelbildungen noch eine Phasenkorrektur angebracht werden, die nach Anwendung der Bartelsschen Analyse -45° , nach einer Differenzbildung $+75^\circ$ und nach einer arithmetischen Mittelbildung -15° beträgt. Danach ergibt sich die jeweilige Phase $\varphi_{\text{red.}}$, die die Verschiebung der analysierten M_2 -Welle zu Beginn der Analyse bedeutet. In der Tabelle 4 zur Berechnung der Phasen stehen unter der Spalte „reduziert“ die auf den ersten analysierten Tag 0 Uhr bezogenen Phasen. In Tabelle 5 ist das Mittel aller zu dem gleichen Ort gehörigen Phasenwerte berechnet.

Tabelle 6. Zusammenstellung aller Beobachtungsergebnisse

Ort	Koeffizient		γ	Phase			z
	theor.	beob.		(bezogen auf den 10. 1. 1939 0h)			
	$\cdot 0.001''$	$\cdot 0.001''$		theor.	beob.		
Pillnitz . . .	10.21	8.27 ± 0.36	0.810	$-42^\circ 40'$	$-45^\circ 50' \pm 5^\circ 12'$	$+3^\circ 10'$	
E-W Berchtesgaden	10.94	8.15 ± 0.50	0.745	$-44^\circ 28'$	$-42^\circ 0' \pm 8^\circ 10'$	$-2^\circ 28'$	
Beuthen O/S	10.25	7.47 ± 0.60	0.729	$+2^\circ 46'$	$-11^\circ 6' \pm 3^\circ 57'$	$+13^\circ 52'$	
Pillnitz . . .	7.94	4.95 ± 0.23	0.624	$-132^\circ 40'$	$-142^\circ 4' \pm 3^\circ 1'$	$+9^\circ 24'$	
N-S Berchtesgaden	0.08	4.25 ± 0.55	0.526	$-134^\circ 28'$	$-151^\circ 25' \pm 7^\circ 35'$	$+16^\circ 57'$	
Beuthen O/S .	7.95	5.62 ± 0.42	0.707	$-87^\circ 14'$	$-107^\circ 42' \pm 4^\circ 26'$	$+20^\circ 28'$	

Die Tabelle 6 gibt eine Zusammenstellung der erhaltenen Ergebnisse, in der nicht nur die vorstehend aufgezählten, sondern alle durchgeführten Analysen berücksichtigt sind. Die Größe des M_2 -Gliedes wird in der Einheit $0.001''$ angegeben. γ stellt das für das elastische Verhalten der Erde charakteristische Amplitudenverhältnis (M_2 -gemessen : M_2 -theoretisch) dar, und z bedeutet die Phasendifferenz der beobachteten gegen die berechnete Bewegung. Positives z entspricht einer

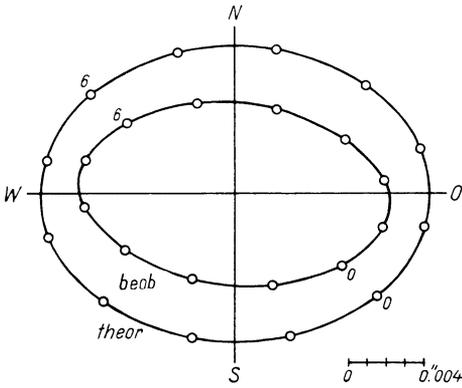


Fig. 10.
Theoretische und beobachtete
Lotschwankung des M_2 -Gliedes
in Pillnitz

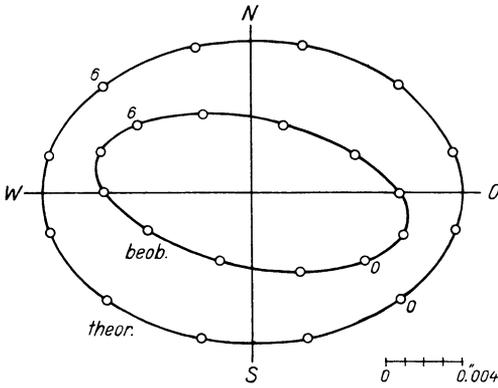


Fig. 11.
Theoretische und beobachtete
Lotschwankung des M_2 -Gliedes
in Berchtesgaden

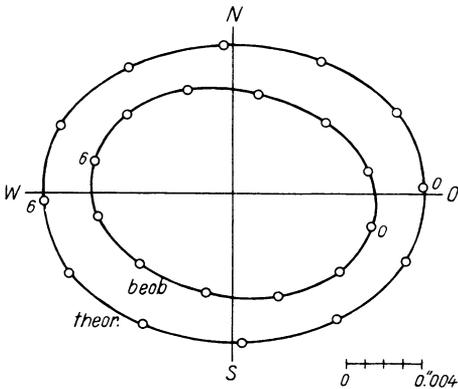


Fig. 12.
Theoretische und beobachtete
Lotschwankung des M_2 -Gliedes
in Beuthen O/S

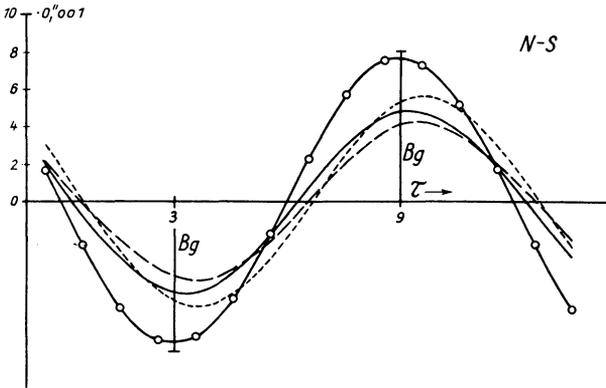


Fig. 13. Theoretische und beobachtete N-S-Komponente der Lotschwankung des M_2 -Gliedes in Pillnitz, Berchtesgaden und Beuthen O/S für gleiche Mond-Ortszeit.
 τ = Mondstunden

- — Theoretische Kurve für Pillnitz bzw. Beuthen O/S. Diejenige für Berchtesgaden ist nur durch die Amplitude Bg angedeutet. Beobachtete Kurven: — Pillnitz/Dresden; - - - - Berchtesgaden; ······ Beuthen O/S

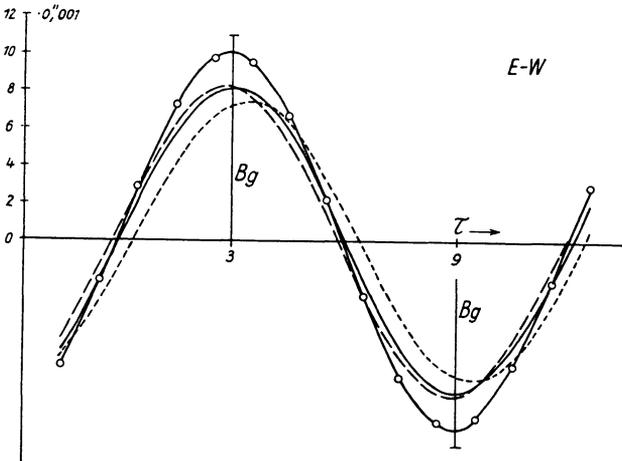


Fig. 14. Theoretische und beobachtete E-W-Komponente der Lotschwankung des M_2 -Gliedes in Pillnitz, Berchtesgaden und Beuthen O/S für gleiche Mond-Ortszeit.
 τ = Mondstunden

- — Theoretische Kurve für Pillnitz bzw. Beuthen O/S. Diejenige für Berchtesgaden ist nur durch die Amplitude Bg angedeutet. Beobachtete Kurven: — Pillnitz; - - - - Berchtesgaden; ······ Beuthen O/S

Verspätung, negatives z einer Verfrühung gegen das fluterzeugende Gestirn. Bemerkenswert ist, daß die γ -Werte für beide Komponenten und für verschiedene Orte verschieden groß sind. Wie zu ersehen ist, liegen alle gemessenen Werte unter den für starre Erde berechneten. Allem Anschein nach hängen die Amplituden stark von dem regionalen Aufbau der Erdkruste ab.

In den Fig. 10, 11, 12 sind die Ergebnisse für jede Station einzeln graphisch dargestellt. Die äußere Kurve gibt die theoretische, die innere die gemessene Lotschwankung der Tide M_2 wieder. Die Fig. 13 und 14 zeigen die N-S- und E-W-Komponenten für gleiche Mond-Ortszeit.

Für weitgehende Unterstützung bei der Ausführung der Arbeit danke ich besonders den Herren Prof. Dr. Tomaschek, der mir die Arbeit vorgeschlagen hat, Dr. Voit, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Heinitzgrube in Beuthen O/S und dem Salzbergwerk Berchtesgaden.

Über die Erzielung möglichst großer innerer und absoluter Genauigkeit bei der Ana- lyse von Horizontalpendel- und Gravimeterbeobachtungen

Von **H. Voit.** — (Mit 6 Abbildungen)

Messungen über die durch Gezeitenkräfte hervorgerufenen Deformationen der festen Erde können dazu dienen, nicht nur über deren elastisches Verhalten, sondern wahrscheinlich auch über einen eventuellen Schollenaufbau der Erdrinde Aufschlüsse zu geben. Dazu ist eine möglichst einwandfreie Bearbeitung des Beobachtungsmaterials notwendig. Die nachfolgende Abhandlung soll in diesem Sinne dazu beitragen, Arbeiten von Tomaschek und Schaffernicht weiterzuführen.

Das unter der Voraussetzung einer vollkommen starren Erde abgeleitete fluterzeugende Potential läßt sich in natürlicher Weise in Kugelfunktionen entwickeln, welche ihrerseits wieder durch harmonische Reihen dargestellt werden können. Die einzelnen Glieder in dieser Gesamtentwicklung, die sogenannten Tiden, sind in bezug auf verschiedene geophysikalische Probleme und hinsichtlich des elastischen Verhaltens der festen Erde im besonderen deshalb von großem Interesse, weil sie — theoretisch genau bekannt — auf Grund ihrer einfachen mathematischen Form vermuten lassen, auch den Beobachtungen entnommen werden zu können. Es kommt also darauf an, aus der Registrierkurve durch eine Art harmonischer Analyse die ihrer Periode nach bekannten einzelnen harmonischen Glieder zu trennen und so ihre Größe und Phase zu ermitteln.