

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_0009

LOG Titel: Über die Erzielung möglichst großer innerer und absoluter Genauigkeit bei der Analyse von Horizontalpendel- und Gravimeterbeobachtungen

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 there 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

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 Analyse 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.

Zur Erreichung dieses Zieles sind bisher Verfahren von Börgen, Darwin und Doodson*) angewendet worden, denen jedoch Mängel anhaften, auf die im folgenden näher eingegangen werden soll. Der am schwersten ins Gewicht fallende Umstand bei den erwähnten Methoden ist der, daß sie durchweg eine lückenlose und ungestörte Registrierung über einen längeren Zeitraum voraussetzen, falls nicht unbefriedigende und ungenaue Überbrückungen oder Ergänzungen vorgenommen werden wollen. Bei Börgen beträgt die zu beobachtende Zeitspanne 1 Jahr (genau 370 Tage), wobei hervorzuheben ist, daß sich dieses Verfahren nur dann lohnen kann, wenn auf das Bekanntsein einer großen Anzahl von Tiden Wert gelegt wird und nicht nur ein paar halb-, ganztägig oder länger periodische Glieder ermittelt werden sollen. Nach der Darwinschen Methode ist es immerhin schon möglich, mit einer Registrierzeit von 3 bis 4 Monaten auszukommen, wenn man lediglich das M_2 -Glied errechnen will. Möchte man aber außerdem noch andere Tiden erhalten, so ist man auch bei diesem Verfahren genötigt, etwa $1\frac{1}{2}$ Jahr Beobachtung in Kauf zu nehmen. Und selbst die neuere Doodsonsche Methode, die hinsichtlich der inneren Genauigkeit (mittlere Streuung bei n -Messungen) nicht mit Börgen oder Darwin wetteifern kann, benötigt eine fortlaufende Aufzeichnung über mindestens 15 Tage.

Praktisch gesehen läßt sich die Forderung nach ununterbrochener und ungestörter Registrierung über mindestens 15 Tage jedoch kaum erfüllen. Die immer wieder zur Ermittlung der Empfindlichkeit unerläßliche Bestimmung der Schwingungsdauer bei Horizontalpendeln und Gravimetern und die Erhaltung der Lichtpunkte im Registrierbereich durch Verstellen der Fußschrauben bedingen allein schon kleine Unterbrechungen. Aber auch ein unvorhergesehenes Aussetzen der Beobachtung ist erfahrungsgemäß häufig. Durch Kipp- und Schubbewegungen des Gesteins oder durch andere Veränderungen des Untergrundes beziehungsweise Sockels, auf dem die Instrumente stehen, zeigen dieselben einen oft recht starken Gang (siehe Fig. 1), wodurch es sehr leicht zum Abwandern der Lichtpunkte aus dem Registrierbereich kommt.

Bei zu großer Empfindlichkeit, die ebenfalls eine Folge des Ganges sein kann, genügen kleine Erdbeben oder Temperaturschwankungen, um ein Umschlagen der Apparate auszulösen. Auf viele andere Möglichkeiten, die eine Unterbrechung der Registrierung zeitigen können, soll hier nicht eingegangen werden; denn selbst wenn es gelingt, durch dauernde Überwachung der Meßinstrumente die Unterbrechungen auf ein Mindestmaß herabzudrücken, bleiben doch noch Störungen übrig, deren Einfluß den etwaiger Unterbrechungen überwiegt. Ändert sich zeitlich der Druck der Luftmasse auf den Erdboden in der Umgebung des Beobachtungs-ortes durch Vorüberziehen eines Hochs oder Tiefs, so gibt die Erde diesen Druckeinwirkungen bis zu einem gewissen Grade nach und die Horizontalpendel regi-

*) Börgen: Ann. d. Hydr. 1884, S. 305 u. 1894, S. 219; Hessen: ebenda 1920, S. 1; A. T. Doodson: Proc. Roy. Soc. London (A) **100**, 305—329 (1922); J. Egedal u. J. E. Fjeldstad: Geofysiske Publikasjoner Vol. XI, Nr. 14 „Observations of tidal motions of the earth's crust made at the geophysical institute Bergen“.

strieren dies. In ähnlicher Weise können sich Winddruck und starke Niederschläge bemerkbar machen*). Das gleiche gilt für Temperaturschwankungen, deren Einfluß noch nicht ganz geklärt ist. Darüber hinaus verfälschen unkontrollierbare Vorgänge, wie elastische Nachwirkungen in den Fäden der Horizontalpendel oder den Federn der Gravimeter die zu beobachtenden Gezeitenerscheinungen.

Hinzu kommen die Schwierigkeiten, die bei der Auswertung des zu analysierenden Intervalls an sich entstehen. Die Registrierung bei Horizontalpendel-

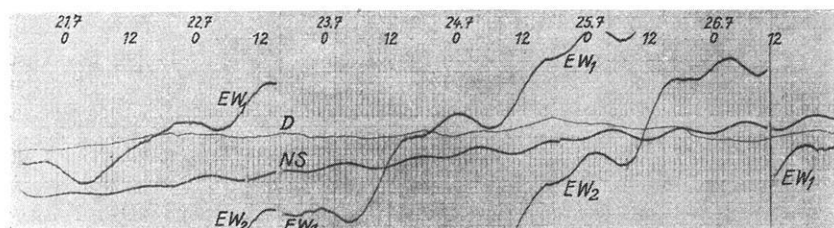


Fig. 1. Beispiel einer Registrierkurve mit verhältnismäßig starkem Gang (Horizontalpendelbeobachtung in Pillnitz bei Dresden).

NS = NS-Komponente; $EW_1 = EW_2 = EW$ -Komponente; D = Luftdruck. Die Parallelführung der EW-Komponente rührt von einem zweiten Lichtpunkt her, der in den Registrierbereich hereinkommt; wenn der andere abwandert — eine Verbesserung, die G. Gnaß**) näher beschreibt

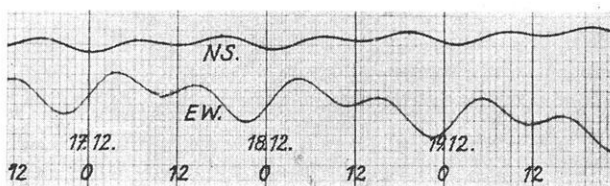


Fig. 1a zeigt im Gegensatz dazu ein nahezu einwandfreies Kurvenstück (Horizontalpendelbeobachtung in Pillnitz)

und Gravimeterbeobachtungen erfolgt optisch auf photographischem Millimeterpapier, wobei sich als Registrierwerk eine durch ein Uhrwerk betriebene Trommel (30 cm Durchmesser) am besten bewährt hat. Die stündliche Markierung der Registrierstreifen bewerkstelligt eine Kontaktuhr.

Mit Hilfe einer Lupe werden die Kurven an den Stundenmarken auf $\pm 1/10$ mm genau abgelesen und die erhaltenen Werte in Tabellen eingetragen. Die Ergänzung

*) Derartige Beobachtungen hat auch neuerdings H. Lettau durchgeführt [H. Lettau: Gerlands Beitr. z. Geophys. 54, Heft 3, 179 (1939), „Lotschwankungen am Gebirgsrand zur Zeit der Schneeschmelze“]. Auf die Auswertung unserer diesbezüglichen Messungen werden wir in einer besonderen Arbeit zurückkommen.

**) G. Gnaß: siehe die vorhergehende Arbeit in dieser Zeitschrift.

fehlender Kurvenstücke kann zeichnerisch, oder rechnerisch durch Mittelbildung aus vorhergegangenen und nachfolgenden Tagen vorgenommen werden, oder indem man die theoretische Kurve in die Lücke einfügt. Die Mittelbildung wäre am ehesten zu empfehlen, weil die Rechenarbeit viel geringer ist als bei der theoretischen Kurve und weil nichts hereingetragen wird, was aus der Kurve erst abgelesen werden soll (siehe Fig. 2).

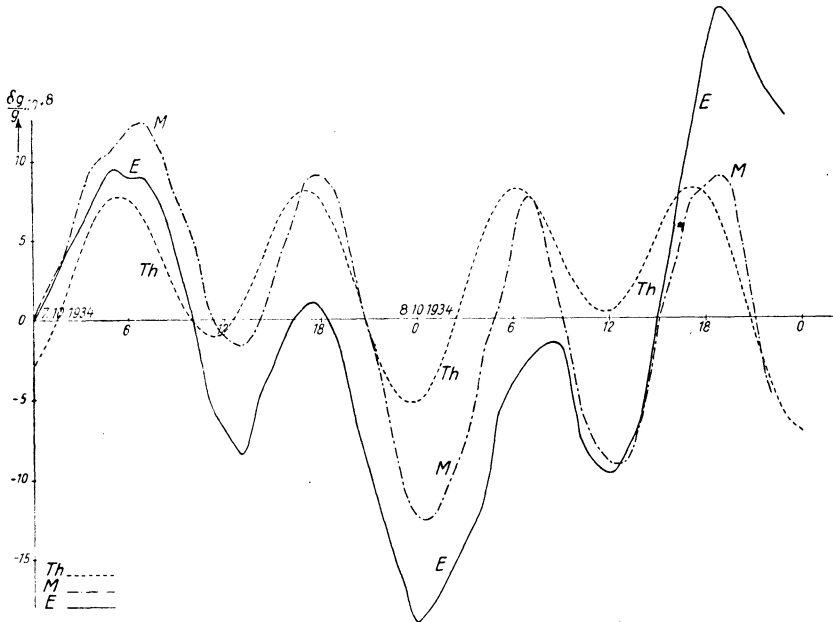


Fig. 2*). Ergänzung einer gedachten Unterbrechung bei einer Gravimeterbeobachtung in Berchtesgaden.

Th = durch die theoretische Kurve unter Berücksichtigung eines linearen Ganges auf gleiche Empfindlichkeit reduziert; M = durch die aus den vorhergegangenen (vom 1. Oktober 0h bis 2. Oktober 24h 1934) und nachfolgenden (vom 14. Oktober 0h bis 15. Oktober 24h 1934) Beobachtungen gemittelte Kurve ebenfalls unter Überlagerung eines linearen Ganges; E = tatsächlich registrierter Verlauf des Kurvenstücks

Auf Grund der aufgezeigten Schwierigkeiten erschien es wünschenswert, eine Analyse zu finden, die einen Verzicht auf fortlaufende und ungestörte Registrierung über einen längeren Zeitraum zuläßt. Dies gelingt unter Ausnutzung der gewöhnlichen Fourierschen Analyse, und es hat sich gezeigt, daß die Berechnung der wichtigsten Sonnen- und Mondglieder schon mit befriedigender Genauigkeit gelingt, wenn Gruppen von je drei voneinander unabhängigen Tagen zur Analyse benutzt werden. Hierzu ist Voraussetzung, daß wenigstens an einigen

*) Die zu obiger Fig. 2 notwendigen Rechnungen wurden von Herrn Robbi ausgeführt.

Tagen verhältnismäßig ungestörte Kurven erzielt werden können. Bei den Untersuchungen mit den Horizontalpendeln und Gravimetern von Tomaschek-Schaffernicht ist dies durchweg der Fall. Man ist somit in der Lage, nur die besten Kurvenstücke zur Auswertung zu benutzen und kann dabei untersuchen, inwieweit sich störende Einflüsse einerseits auf die Registrierkurve und andererseits auf die Analyse selbst auswirken. Wie noch gezeigt werden soll, ist es dadurch möglich, die Registrierkurve auf störende Einflüsse hin zu korrigieren, und so die innere und absolute Genauigkeit der ermittelten Werte systematisch zu verbessern.

Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten Glieder des fluterzeugenden Potentials, die — wie leicht zu ersehen ist — ungefähr halb- oder ungefähr ganztägig sind.

Zeichen	Name	Periode in Stunden
M_2	Haupt-Mond-Glied	12.42
S_2	Haupt-Sonnen-Glied	12.00
N_2	Großes elliptisches Mondglied	12.66
K_2	Lunisolares Glied	11.97
K_1	Lunisolares Glied	23.93
O_1	Mond-Deklinationsglied	25.82
P_1	Sonnen-Deklinationsglied	24.07

Während bei einem großen Zeitabschnitt durch Überlagerung der im Argument nicht ganz übereinstimmenden Glieder eine „Schwebung“ auftritt, wird die Superposition der vorstehenden Glieder bei einem genügend kurzen Intervall — von kleinen zu vernachlässigenden Fehlern abgesehen — aus einer ganztägigen und einer halbtägigen Schwingung bestehen. Wenn man daher die Registrierkurve in einer gegenüber der Periode der „Schwebung“ kleinen Zeitspanne betrachtet, was für einen Tag zutrifft, so sind auch nach der Theorie des fluterzeugenden Potentials die in der Registrierkurve enthaltenen Perioden 24- bzw. 12stündig, wie es zum Ansatz der Fourierschen Analyse sein müßte. Von länger periodischen Gliedern kann wegen der Kleinheit ihrer Koeffizienten in erster Näherung abgesehen werden, zumal sie sich in kurzem Intervall nur als Gang auswirken. Deshalb wird die gewöhnliche harmonische Analyse über einen Zeitraum von 24 Stunden mit befriedigender Genauigkeit das ganz- und halbtägige Superpositionsglied liefern. Die Trennung der einzelnen Tiden kann man dadurch erreichen, daß an zwei weiteren in geeigneten Abständen gewählten Tagen wiederum harmonisch analysiert wird. Man gewinnt auf diese Weise zur Ermittlung der Koeffizienten und Phasen folgende Gleichungen:

1. $A \cdot \cos(x+a) + B \cdot \cos(x+b) + C \cdot \cos(x+c) = H_1 \cdot \cos(x+h_1),$
2. $A \cdot \cos(x+a+a_2) + B \cdot \cos(x+b) + C \cdot \cos(x+c+c_2) = H_2 \cdot \cos(x+h_2),$
3. $A \cdot \cos(x+a+a_3) + B \cdot \cos(x+b) + C \cdot \cos(x+c+c_3) = H_3 \cdot \cos(x+h_3).$

Unter A, B, C, a, b, c sind die Koeffizienten und Phasen der unbekannten Tiden zu verstehen, während $a_1, a_2, a_3, H_1, H_2, H_3, h_1, h_2, h_3$ einestails durch die Wahl der Abstände der 3 Tage untereinander, anderenteils durch die harmonische

Dabei sind unter u_r für $r = 0, \dots, 25$ die stündlich abgelesenen Ordinaten der Registrierkurve zu verstehen. Außerdem ist:

$$\begin{aligned} v_r &= (u_{2r+1} + u_{2r}) - (u_{2r-1} + u_{2r-2}) & \text{für } r = 1, \dots, 12; \\ w_r &= v_r + 6 + v_r^- & \text{für } r = 1, \dots, 6; \\ z_r &= w_r + 3 + w_r & \text{für } r = 1, 2, 3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 11.6 a_2 &= z_1 + \frac{1}{2}(z_2 - z_3) \\ \text{und} \quad 11.6 b_2 &= 0.866(z_2 + z_3); \end{aligned}$$

φ = Phasenwinkel der M_2 -Welle zu Beginn der Analyse.

Die Richtung vom oberen Rand der Registrierstreifen zum unteren zählt bei der Ablesung als positiv. Außerdem dient als Voraussetzung eine Drehung der Registriertrommel in dem Sinne, daß sich bei der Aufnahme die den Pendeln zugewandte Seite nach abwärts bewegt, und daß das Gewicht des NS-Pendels nach Westen zeigt bzw. das des EW-Pendels in Süden steht. (Bei Nichterfüllung einer dieser Voraussetzungen ist die Phase um 180° zu verändern.)

Die täglichen harmonischen Analysen sind nach Angabe von J. Bartels (Potsdam) ausgeführt; diese Methode erweist sich als sehr vorteilhaft. Die Schreib- und Rechenarbeit ist ganz gering, gute Kontrollmöglichkeiten sind vorhanden und durch anfängliche Differenzenbildung wird der Gang in den von der Registrierkurve abgelesenen Ordinaten linear eliminiert.

In den theoretischen Ableitungen sämtlicher Verfahren zur Analyse zeitlicher Schwankungen sind die bereits erwähnten Störungen, welche die Registrierkurve unvermeidlich enthält, nicht berücksichtigt. Da sich diese Störungen bei den verschiedenen Methoden auch verschieden auswirken, läßt sich schwer etwas über die absolute Genauigkeit, mit der die betreffende Tide ermittelt wurde, aussagen. Das vorstehend geschilderte Verfahren, bei dem man für eine Analyse nur 2 bis 3 Tage Registrierung benötigt, bietet dagegen — wie schon angedeutet — die Möglichkeit, auf störende Einflüsse hin zu korrigieren. Betrachtet man auf Grund der mitregistrierten Störungsfunktionen, wie Luftdruck- und Temperaturschwankungen, die Ergebnisse, die bei einer Reihe von Einzelanalysen am stärksten vom arithmetischen Mittel abweichen, so läßt sich schon grob erkennen, welche der verfälschenden Faktoren die größte Rolle spielen. Ein empirisch angenommenes Korrektionsgesetz, das so gewählt ist, daß es in erster Linie die herausfallenden Werte verbessert, kann daraufhin geprüft werden, ob es auch im übrigen günstigen Einfluß zeigt. Man erreicht so eine schrittweise Ausmerzung der unerwünschten Einwirkungen.

Fig. 3 zeigt, wie sich eine besonders starke Druckschwankung auf die WE-Komponente auswirkt.

Die NS-Komponente ist von dem Druckabfall kaum betroffen. Es handelt sich offenbar um ein Gewitter, das in ziemlich genauer EW-Richtung über dem Beobachtungsort vorbeizog. Daß keine im Beobachtungsraum hervorgerufene adiabatische Abkühlung vorliegt, erkennt man daraus, daß die Kurve der betroffenen Komponente sprunghaft nach oben verschoben erscheint und nicht nach einigen Stunden wieder in die Schwingungsbewegung um die alte „Achse“ zurück-

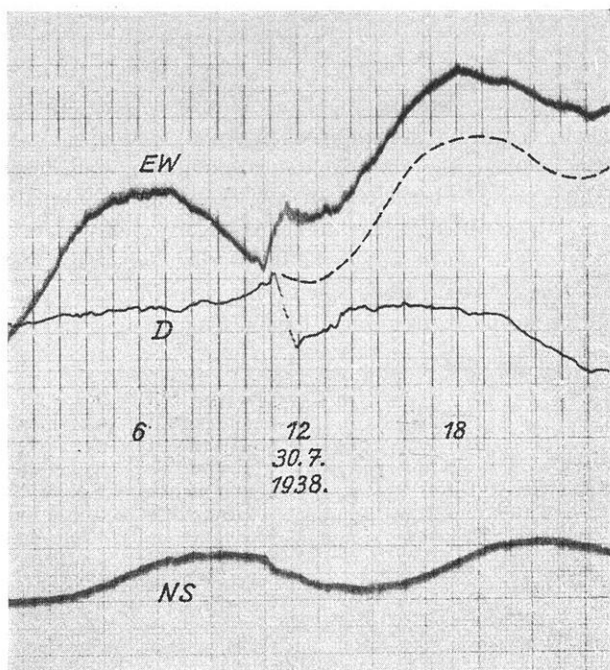


Fig. 3. Auswirkung einer Luftdruckschwankung auf die Registrierkurve (Horizontalpendelbeobachtung in Pillnitz).

NS = NS-Komponente; EW = EW-Komponente; D = Luftdruck. Das augenscheinliche Vorseilen der EW-Komponente ist allein optisch begründet

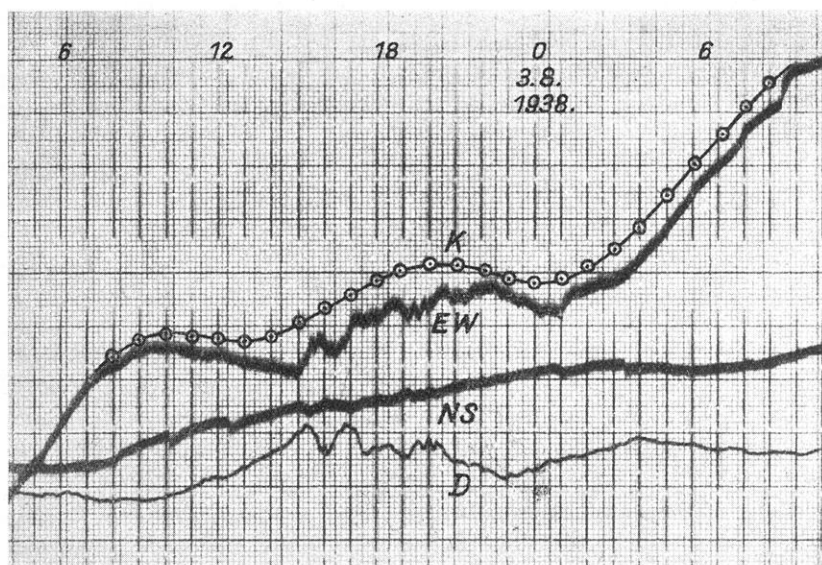


Fig. 4. Korrektur einer durch Luftdruckschwankungen gestörten Kurve (Horizontalpendelbeobachtung in Pillnitz).

NS = NS-Komponente; EW = EW-Komponente; D = Luftdruck; K = korrigierte EW-Komponente

kehrt. In erster Näherung wird man als Korrektionsgesetz ein lineares annehmen. Da aber in einem Zeitraum von einigen Tagen die Druckschwankungen sehr beträchtlich sein können, ist damit nicht auszukommen, weil der Kurve starke und unregelmäßige Gänge überlagert würden. Die wahren Verhältnisse werden sicherlich schon gut getroffen, wenn durch das Korrektionsgesetz zwar sprunghafte Änderungen vollkommen ausgeschaltet werden, aber ein lineares Steigen und Fallen des Druckes keine Rolle spielt. Bei dem folgenden Tabellenschema, das als Beispiel für solche Korrekturen dienen mag, ist dies erreicht.

Tag	Stunde	Wert vom Registrier- streifen ab- gelesen	Erste Diffe- renz des Druckes	Zweite Differenz des Druckes absolut ge- nommen	Zweites arith- metisches Mit- tel der zweiten (absolut ge- nommenen) Druckdiffe- renz, multipli- ziert mit der ersten Druck- differenz	Zahlen der vorher- gehenden Spalte bis zur jewei- ligen Zeile aufsum- miert	Wert (aus der dritten Spalte) ver- mindert um diese Summe

Wie gut sich dieses Vorgehen bewährt, ist aus Fig. 4 zu ersehen. Es kann übrigens nach Bedarf beliebig verfeinert werden.

Bei sieben Analysen der EW-Komponente des M_2 -Gliedes in Pillnitz betrug in der Zeit vom 18. Juli bis 25. Juli 1938 die mittlere Streuung 10.3% des erhaltenen Wertes. Nach der Druckkorrektion ging bei im Mittel gleichbleibendem Wert die Streuung auf 7.2% zurück. Mit diesem Ergebnis könnte man sich zufrieden geben, wenn die Tiden, z. B. das M_2 -Glied, an ein und demselben Ort zu verschiedenen Zeiten von der Analyse mit gleichbleibendem Wert geliefert würden. Merkwürdigerweise haben Messungen in Pillnitz, Berchtesgaden und Beuthen eine solche jahreszeitliche Konstanz nicht immer gezeigt. Z. B. wurde in Pillnitz in der Zeit vom 18. Juli bis 25. Juli 1938 für die EW-Komponente von M_2 ein Wert von $9.78 \pm 1.01 \cdot 10^{-3''}$, in der Zeit vom 10. Dezember bis 17. Dezember 1937 aber ein Wert von $8.07 \pm 0.46 \cdot 10^{-3'}$ ermittelt. Bei der Prüfung dieses auffälligen Ergebnisses nach der Methode von Doodson ergaben sich für die obenerwähnten Zeiten mit der bei Doodson notwendigen Verlängerung die Werte 10.45 bzw. $8.12 \cdot 10^{-3''}$. Der Grund für diese „jahreszeitliche Schwankung“ ist in Unregelmäßigkeiten des Ganges gefunden worden. Ein linearer Gang ist durch Differenzenbildung exakt herauszunehmen, ein unregelmäßiger wird nach mehrmaliger Anwendung derselben zumindest stark gemildert sein (siehe Fig. 5).

Praktisch ist die mehrmalige Differenzenbildung nur in Verbindung mit arithmetischer Mittelbildung möglich, weil erstere eine glatte Kurve voraussetzt. Die Verwendung von Differenzen bei der harmonischen Analyse wurde von

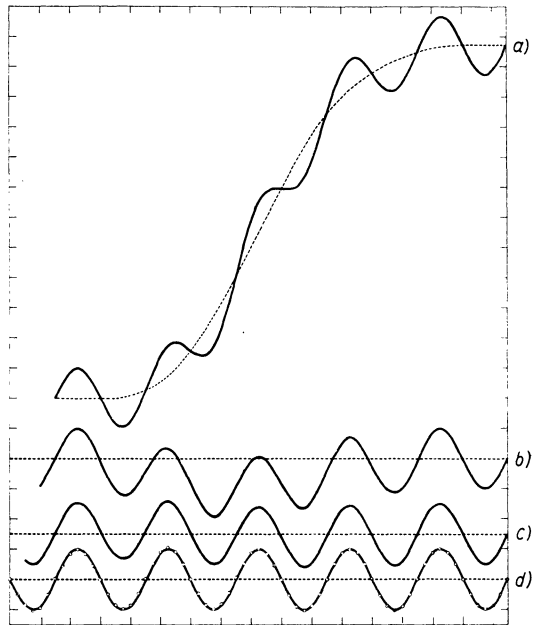
J. Bartels [Potsdam*)] beschrieben, und danach ist die Phase der analysierten Differenzkurve um 90° zu vermindern, und die Koeffizienten der n -ten harmonischen Glieder sind mit $q_n = \frac{1}{2 \sin\left(\frac{n \Delta x}{2}\right)}$ zu multiplizieren. Δx bedeutet dabei

die Differenz zweier aufeinanderfolgender Abszissenwerte. Bei der arithmetischen Mittelbildung bleibt die Phase erhalten und zu den n -ten harmonischen Koeffizienten tritt als Faktor $q_n = \frac{1}{2 \cos\left(\frac{n \Delta x}{2}\right)}$ ^{**)} hinzu. Die Anwendung dieser Gang-

korrekturen auf obiges Beispiel einer „jahreszeitlichen Schwankung“ hatte

Fig. 5.

- a) Reine Sinuslinie, die um eine angenommene „Achse“ schwingt;
- b) 1. Differenzengang der Überlagerungskurve, in Phase und Amplitude vergleichbar reduziert;
- c) 2. Differenzengang;
- d) reine Sinuslinie, von der die Punkte des 3. Differenzenganges kaum abweichen



folgendes Ergebnis. Bei Bildung der ersten und zweiten Differenz betrug M_2 im Sommer $8.69 \pm 0.90 \cdot 10^{-3''}$, im Winter $8.33 \pm 0.27 \cdot 10^{-3''}$. Bei Hinzunahme

*) J. Bartels: Gerlands Beitr. z. Geophys. **28**, 1–10 (1930).

**) Zur Vereinfachung des rechnerischen Verfahrens wird man nicht das arithmetische Mittel, sondern die Summe bilden. Dementsprechend wäre der Faktor

$$q_n = \frac{1}{2 \cos\left(\frac{n \Delta x}{2}\right)}$$

auch der dritten Differenz ergab sich für M_2 ein Wert von $8.27 \pm 0.52 \cdot 10^{-3''}$ bzw. $8.15 \pm 0.21 \cdot 10^{-3''}$. Über die Phase sei lediglich bemerkt, daß sie keine „jahreszeitlichen Schwankungen“ aufweist und auch durch Druck- und Gangkorrekturen nur im Rahmen der mittleren Streuung verändert wird.

Wie man sieht, kann selbst bei gestörtesten Kurvenstücken eine befriedigende innere Genauigkeit erzielt werden, und die Annahme ist berechtigt, daß der absolute Werte innerhalb der angegebenen mittleren Streuung liegt.

Die Größe der inneren Genauigkeit erhält am besten ein Vergleich mit Börden, dem bisher genauesten Verfahren (2.8% mittlere Streuung bei der gleichen Anzahl von Analysen gegenüber 2.6% bei der geschilderten Methode). Die Frage, ob zwei „benachbarte“ Analysen voneinander abhängig sind, kann offen bleiben, weil eine solche Abhängigkeit infolge der festgestellten Auswirkungen der Gänge auch bestehen kann, wenn der Berechnung ein großer Zeitraum zugrunde gelegt wird. In seiner Arbeit über die „Bestimmung gezeitlicher Änderungen des Schwerevektors ...“) errechnete G. Gnaß das M_2 -Glieder bei Horizontalpendelbeobachtungen in Pillnitz, Berchtesgaden und Beuthen bereits nach dieser Methode. Das Ergebnis dieser Berechnung findet sich in Tabelle 6, S. 13 der vorhergehenden Arbeit von G. Gnaß.

Daß die anfänglich zu vermutende Verschiedenheit der Amplitudenwerte an ein und demselben Ort zu verschiedenen Jahreszeiten durch richtige Berücksichtigung der störenden Einflüsse verschwindet, zeigt nachstehende Aufstellung. (Die weniger gute Übereinstimmung bei Berchtesgaden und Beuthen rührt daher, daß der Gang nur bis zur zweiten Differenz herausgenommen wurde.)

Zweifellos muß aus den vorstehenden Tabellen auf beträchtliche örtliche Verschiedenheiten des elastischen Verhaltens der festen Erde geschlossen werden.

Tabelle 1

Komponente	Ort	Zeit	Koeffizient $\cdot 10^{-3''}$	Phase bezogen auf den 10. Jan. 1939
EW	Pillnitz	10. 12. 1937	8.15 ± 0.21	$- 44^0 21' \pm 4^0 56'$
		18. 7. 1938	8.27 ± 0.52	$- 47^0 19' \pm 5^0 29'$
	Berchtesgaden . . .	15. 2. 1939	7.83 ± 0.56	$- 36^0 12' \pm 3^0 47'$
		19. 3. 1939	8.47 ± 0.44	$- 47^0 48' \pm 12^0 34'$
	Beuthen	1. 5. 1939	7.73 ± 0.73	$- 10^0 45' \pm 4^0 22'$
		20. 8. 1939	7.21 ± 0.47	$- 11^0 27' \pm 3^0 5'$
NS	Pillnitz	10. 12. 1937	5.07 ± 0.21	$- 139^0 24' \pm 2^0 50'$
		18. 7. 1938	4.76 ± 0.24	$- 144^0 44' \pm 3^0 12'$
	Berchtesgaden . . .	15. 2. 1939	4.24 ± 0.55	$- 154^0 2' \pm 6^0 37'$
		19. 3. 1939	4.27 ± 0.54	$- 148^0 48' \pm 8^0 34'$
	Beuthen	1. 5. 1939	5.92 ± 0.36	$- 108^0 25' \pm 3^0 5'$
		19. 7. 1939	5.24 ± 0.51	$- 106^0 59' \pm 5^0 48'$

Unter dem in der Zeitspalte angeführten Datum ist jeweils die Mitte einer Zeit, die 5 bis 7 Analysen umspannt, zu verstehen. Koeffizienten und Phasen geben die Mittelwerte dieser Analysen an.

*) G. Gnaß: Siehe die vorhergehende Arbeit in dieser Zeitschrift.

Eine Prüfung der Tomaschekschen Vermutung, daß regionale Zusammenhänge bestehen, erfordert die Messung des M_2 -Gliedes und anderer Tiden an möglichst vielen Orten. Eine „Wanderstation“, die höchstensfalls einige Wochen an ein und demselben Ort registriert, würde die Klärung dieser Frage wesentlich vereinfachen und rascher zum Ziele führen. Die Rentabilität einer solchen Station ist nach der entwickelten Analyse und den geschilderten Korrektionsverfahren gewährleistet.

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß die bisher mit der Interpolation der Skalenwerte, die manchmal notwendig ist, verbundene Fehlerquelle dadurch beseitigt werden kann, daß bei jeder Komponente der Horizontalpendel ein dazu senkrechtes unempfindliches Hilfspendel eingebaut wird, das den Skalenwert mitregistriert.

An dieser Stelle möchte ich noch herzlich danken Herrn Professor Dr. R. Tomaschek für anregendes und förderndes Interesse, sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Durchführung der Arbeit ermöglichte.

München, Physikalisches Institut, den 1. Oktober 1939.

Die Bestimmung der Apparatkonstanten bei astasierten Gravimetern

(Bemerkung zur Abhandlung von A. Graf*), „Über die Bestimmung der Gravimeterkonstante bei einem frei hängenden Federsystem“)

Von **Gustaf Ising**, Djursholm b. Stockholm

Die Behauptung Grafs, daß die laboratoriumsmäßige Eichung von *astasierten* Gravimetern aus prinzipiellen Gründen nur mit sehr beschränkter Genauigkeit ausgeführt werden könne, wird durch Hinweis auf einen allgemeinen Ausdruck für die Empfindlichkeit astasierter Geräte als irrig zurückgewiesen. Als experimenteller Beleg für die erreichte Eichgenauigkeit (etwa $\frac{1}{2}\%$) bei dem vom Verfasser angegebenen Gravimeter mit einem astasierten, beinahe vertikal stehenden Pendel wird dann das Ergebnis einiger im Jahre 1938 mit zwei Gravimetern ausgeführten Messungen zwischen Stockholm und Kopenhagen mitgeteilt.

In der zitierten Abhandlung teilt Herr A. Graf bemerkenswerte Erfahrungen über Instrumente mit einem frei hängenden Federsystem mit und zeigt im besonderen, wie deren Skalenwert „auf physikalischem Wege“, d. h. durch Laboratoriumsversuche an einem einzelnen Ort, mit einer Genauigkeit von etwa $\frac{10}{1000}$ bestimmbar ist. Er macht aber, nachdem diese Genauigkeit des Eichwertes eines Gravimeters für gewisse Zwecke (regionale Landesvermessungen) als

*) Zeitschr. f. Geophys. **15**, 49 (1939).