

## **Werk**

**Jahr:** 1941

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:17

**Werk Id:** PPN101433392X\_0017

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X\\_0017|LOG\\_0013](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0017|LOG_0013)

## **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)

und ist auf der gleichen Seite nach Übertragung in die geographischen Koordinatenwerte durch den Druck noch besonders hervorgehoben.

Es bestand für mich nicht das geringste Bedenken, diesen Epizentralwert von P. Caloi (+ 32.9; + 11.6) \*\*\*) als Ausgangspunkt meiner Ausgleichungen zu nehmen. So wie Herr P. Caloi selbst in seiner Veröffentlichung alle weiteren Entfernungen auf dieses Epizentrum bezogen hat, habe ich es auch bei meinen Ausgleichungen durchgeführt. Das besagt deutlich die Erklärung, die am Anfang der Ausgleichsdaten auf S. 290 \*\*) steht: „Der Nullpunkt des Koordinatensystems wurde zunächst erst auf den Wert, der von P. Caloi für das Epizentrum gefunden war, verschoben. Es war der Punkt:

$$(x_0) = + 32.9 \text{ km}, \quad (y_0) = + 11.6 \text{ km}''.$$

Die Klammern zur besseren Hervorhebung dieses Probewertes gegenüber dem Korrektionswert S. 291:  $x_0 = - 1.1 \text{ km}$ ,  $y_0 = + 0.5 \text{ km}$  sind in meiner zweiten Ausgleichsarbeit nicht eingesetzt worden. Eine Nachrechnung hätte jedoch ebenso wie der begleitende und erklärende Text jeden Zweifel über die Bedeutung jener Werte beheben können, die außerdem von Herrn Caloi selbst stammen.

Die Werte:  $- 1.1 \text{ km}$  und  $+ 0.5 \text{ km}$  geben die Differenz des von P. Caloi und mir gefundenen Epizentrums an. Die Übereinstimmung ist also so ausgezeichnet, wie sie in Anbetracht der Meßdaten überhaupt nur sein kann.

Es ist zu bedauern, daß zur Aufklärung dieser vermuteten Diskrepanz in der Lage der Epizentra weder der Weg einer persönlichen Anfrage, noch der einer genauen Nachprüfung meiner Rechnungen gewählt worden ist.

Eine Diskussion der mehr oder weniger großen Herdtiefe halte ich wegen des aus meinen Rechnungen sich ergebenden Fehlerbereiches von  $\pm 27 \text{ km}$  hier noch nicht für angebracht.

Bei einem Feldtruppenteil. Januar 1941.

---

## **Erfahrungen bei Störungen von Schwerependel durch Fernbeben**

Von **H. Gockel**, Göttingen. — (Mit 4 Abbildungen.)

Es werden Messungen von Amplituden- und Gangstörungen bei vier Schuler-Pendeln für mehrere Erdbeben mitgeteilt. Eine theoretische Darstellung der Störungsmöglichkeiten zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen.

*1. Einleitung.* In den letzten Jahren sind in Europa mehrere größere Erdbeben registriert worden, deren Einfluß auf den Gang von vier Schuler-Pendeln näher untersucht wurde. Die Pendel schwingen seit Jahren ununterbrochen und dienen der Präzisions-Zeitmessung. Der Pendelkörper besteht aus Invarstahl und trägt Stahlschneiden, die auf horizontal ausgerichteten Achatsteinen ruhen. Jedes Pendel ist thermostatisch geschützt und schwingt in einer Wasserstoff-

atmosphäre von 100 mm Druck. Die Pendel sind auf Minimum-Prinzip abgestimmt, die Dauer einer Vollschiwingung beträgt 2 Sekunden. Der Pendelantrieb erfolgt in jeder Sekunde elektromagnetisch in Verbindung mit einer Photozellensteuerung und Verstärkeranlage. Eine andere Berührung des Pendelkörpers als durch die Auflage, Stahlschneiden-Achat, besteht nicht. Pendel 1 und 2 sind in der Univ.-Sternwarte Göttingen aufgestellt und dort an einem starken Pfeiler befestigt, der das große Fernrohr der Sternwarte getragen hat. Pendel 3 und 4 stehen im Uhrenkeller der Fa. Riefler, Nesselwang/Allgäu, und sind dort unmittelbar an einer Felswand aufgehängt. Eine gegenseitige Schwingungsbeeinflussung ist sowohl in Göttingen wie in Nesselwang ausgeschlossen. Genaue Angaben über den Aufbau der Pendeluhrn sind in einer früheren Arbeit gemacht worden \*). Dort werden

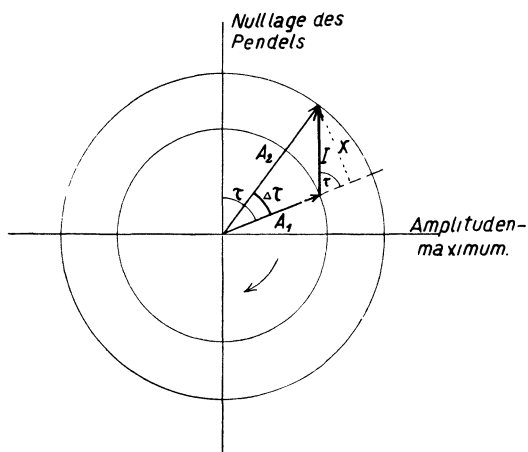


Fig. 1. Zur Berechnung der Phasenstörung

auch Angaben über die Konstanz des Schwingungsbogens und den Uhrgang mitgeteilt. Die Amplituden der Pendel waren bei allen Messungen dieser Arbeit konstant bis auf  $\pm 0.06$  Bogenminuten. Die mittleren Fehler des täglichen Ganges eines Pendels betragen etwa  $\pm 5 \cdot 10^{-3}$  sec/dies. gegenüber den Quarzuhren des Geodätischen Institutes Potsdam. Die hohe Genauigkeit der Amplitude und des Uhranges erlaubt es, über die Einwirkung der Erdbeben auf Amplitude und Uhrgang genaue Angaben zu machen.

2. *Theorie.* Jedes Erdbeben kann ein Schwerkpendel theoretisch in Amplitude und Uhrgang stören. Praktisch haben sich bisher bei den Schuler-Pendeln nur sehr starke Fernbeben störend ausgewirkt. Es kann sowohl eine Amplitudenvergrößerung wie ein Amplitudenabfall eintreten, je nach der Phase, die das

\*) H. Gockel u. M. Schuler: Zeitschr. f. Phys. **109**, 433 (1938).

Pendel zur Zeit des Eintreffens der Bebenwelle hat. Die Amplitudenänderung ruft sekundär einen Gangfehler hervor, da sich die Schwingungszeit eines Pendels nach einer elliptischen Funktion mit der Amplitude ändert. Es ist dabei von besonderem Interesse, daß der Gangfehler nur als eine *einmalige Änderung des Uhrstandes* zum Ausdruck kommt, denn nach der Störung stellt sich die alte Pendelamplitude wieder langsam ein und damit auch der alte Uhrgang. Die Zeit, die das Pendel zur Wiederherstellung der Normalamplitude braucht, richtet sich neben dem Grad der Störung nach der Halbwertzeit der Schwingung des ohne Antrieb ausschlagenden Pendels; sie betrug bei den bisher beobachteten Beben etwa 20 Stunden. Ein weiterer Gangfehler entsteht dadurch, daß während des Bebens ein Phasensprung des Pendels auftritt. Auch dies macht sich als einmaliger Sprung des Uhrstandes bemerkbar. Amplitudenänderung und Phasensprung sind voneinander abhängig und werden in ihrer Größe von der Phase bestimmt, die das Pendel zur Zeit des Eintreffens der Bebenwelle bzw. ihrer stärksten Beschleunigung hat.

Fig. 1 zeigt eine Darstellung in der komplexen Ebene. Alle Störimpulse, die das Pendel treffen, seien in einem einzigen Impuls I zusammengefaßt. Das Pendel möge zu dieser Zeit die Phasenlage  $\tau$  haben. In Wirklichkeit wird das Pendel über den gesamten Zeitraum der Bebenstörung hinweg durch viele kleine Störimpulse beeinflusst, und auch die Phasenlage wechselt entsprechend. Durch den Impuls I möge die Amplitude des Pendels von  $A_1$  auf  $A_2$  geändert werden. Dann ist  $\Delta \tau$  die Phasenstörung, die gleichzeitig mit der Amplitudenänderung auftritt.

Es ist:

$$I^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2 A_1 \cdot A_2 \cdot \cos \Delta \tau \dots \dots \dots (1)$$

und:

$$\sin \Delta \tau = \frac{x}{A_2},$$

$$\sin \tau = \frac{x}{I},$$

daraus folgt:

$$A_2 \cdot \sin \Delta \tau = I \cdot \sin \tau,$$

$$I = \frac{A_2 \cdot \sin \Delta \tau}{\sin \tau} \dots \dots \dots (2)$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) lassen sich die Amplitudenstörung  $A_2 - A_1$  und die Phasenstörung  $\Delta \tau$  berechnen, wenn  $I, \tau$  und die Normalamplitude des Pendels bekannt sind.

Die Darstellung zeigt außerdem, daß Amplitudenvergrößerungen und Amplitudenverkleinerungen gleich häufig vorkommen können, je nach der Richtung des Impulses  $I$  und der Phasenlage  $\tau$  des Pendels. Ebenso kann der Phasensprung nach der positiven wie negativen Seite erfolgen. Eine große Phasenstörung ist immer mit kleiner Amplitudenänderung und eine kleine Phasenstörung mit großer Amplitudenänderung verbunden.

Dieses Ergebnis hat schon Gebelein in einer Arbeit über Störungen von Pendeluhrn durch Bodenerschütterungen mitgeteilt \*). Er gibt dort für den Phasenfehler durch Erschütterungen die Gleichung an:

$$\psi \simeq \lambda \cdot \sin \gamma \dots \dots \dots (3)$$

( $\gamma$  = Phase des Pendels bei Einsatz der Störung,  $\lambda = I/\varphi$ , wobei  $I$  die Größe der Störung angibt,  $\varphi$  = Amplitude des Pendels).

$I$  ist gleich dem Verhältnis des Ausschlages der Störbewegung zur reduzierten Pendellänge mal einem Faktor, der von der Dauer der Störung und dem Verhältnis der Frequenzen abhängt.

Die von Gebelein angegebene Gleichung (3) ist mit der Gleichung (2) identisch, wenn man  $\Delta \tau \simeq \sin \Delta \tau$  setzt, was für kleine  $\Delta \tau$  zulässig ist.

Es wird dann:

$$\Delta \tau \simeq \frac{I}{A_2} \cdot \sin \tau.$$

Und dies ist die Gleichung (3), nur mit anderer Bezeichnung der Größen.

3. Messungen. M. Schuler und G. Th. Gengler haben vor Jahren eine Amplitudenänderung durch Erdbeben bei einer Schuler-Pendeluhr beobachtet \*\*).

Tabelle 1. Amplitudenänderungen der Pendel durch Erdbeben

Beben	Pendel 1	Pendel 2	Pendel 3	Pendel 4	Maximale Beschleunigung			
	(NS) Ampl. ~ 37'	(OW) Ampl. ~ 57'	(OW) Ampl. ~ 41'	(NS) Ampl. ~ 46'	des Bodens in cm/sec <sup>2</sup>			
					NS	OW	Z	
20. 5. 31 0331 h.	- 0.25'*							
7. 6. 31 0126 h.	- 0.40'*	Pendel noch nicht im Betrieb						
10. 8. 31 2227 h.	- 0.80'*							
8. 11. 31 0415 h.	0'	- 0.25'	0'	- 1.0'	0.02	0.02	0.01	
10. 11. 38 2130 h.	+ 0.40'*	+ 0.55'	- 0.50'	0'	0.01	0.02	0.02	
27. 12. 39 0102 h.	0'	+ 0.46'	- 0.40'	+ 1.0'	0.07	0.07	0.06	
10. 11. 40 0242 h.	+ 0.90'	+ 0.48'	Pendel außer Betrieb		0.04	0.06	0.02	

Amplituden in Bogenminuten.

\* Messungen von G. Th. Gengler, Pendelamplitude ~ 88'.

Es wurde damals nur ein Amplitudenabfall, niemals ein Anstieg der Pendelamplitude gemessen. Dies konnte zu dem falschen Schluß verleiten, daß das

\*) H. Gebelein: Zeitschr. f. Geophys. 9, 137 (1933).

\*\*\*) M. Schuler: AN 243, 301 (1931); G. Th. Gengler: AN 247, 185 (1933).

Pendel bei Erdbeben oder starken Erschütterungen mit seinen Stahlschneiden auf der Unterlage rutscht und daher ein Energieverlust mit Amplitudenabfall eintritt. Die neueren Beobachtungen zeigen, daß dies nicht der Fall ist, es wurden mehrere Fälle mit Amplitudenanstieg der Pendel beobachtet.

In der Tabelle 1 sind alle bisherigen Messungen von Amplitudenänderungen der Schuler-Pendel zusammengestellt. Alle hier nicht aufgeführten Erdbeben der letzten Jahre brachten keine Pendelstörung. Im Kopf der Tabelle finden wir Angaben über die Schwingungsrichtung und Normalamplitude der Pendel. Spalte 1 gibt den Jahrestag der Erdbeben mit der Uhrzeit an, zu der die Bebenwelle in Göttingen eingetroffen ist. Alle Zeitangaben sind MEZ. Die Geophysikali-

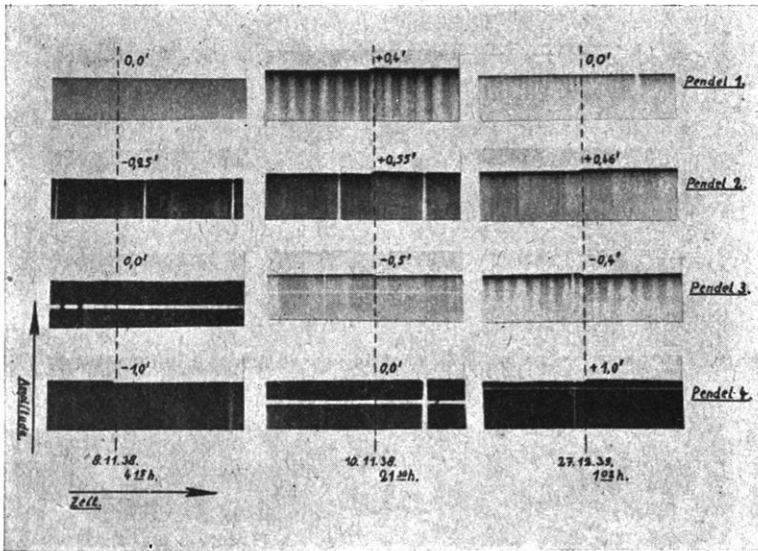


Fig. 2. Amplitudenstörungen verschiedener Pendel durch Erdbeben

schen Daten der Erdbeben verdanke ich Herrn Prof. Angenheister, dem ich auch an dieser Stelle für die Überlassung der Seismographenfilme danke. In den folgenden vier Spalten der Tabelle 1 sind die Amplitudenänderungen der vier Pendel in Bogenminuten angegeben. Es kommen bei insgesamt 17 beobachteten Bebenstörungen vier Fälle vor, bei denen die Pendelamplitude ungestört blieb, sechs Fälle mit Amplitudenanstieg und sieben Fälle mit Amplitudenabfall. Diese regelmäßige Verteilung von Anstieg und Abfall der Amplitude zeigt eine schöne Übereinstimmung mit der Theorie. Ein Gleiten der Schneiden auf der Unterlage ist demnach ausgeschlossen, da hierdurch immer ein Energieverlust mit Amplitudenabfall eintritt. Die größten Störungen, die gemessen wurden, betragen 1 Bogenminute, das ist bei einer Normalamplitude von 46 Bogenminuten eine Änderung von etwa 2%. In der letzten Spalte der Tabelle 1 sind die durch die

Bebenwelle hervorgerufenen maximalen Bodenbeschleunigungen in Göttingen angegeben. Diese Werte sind Näherungswerte und sollen nur einen Überblick über die Stärke der verschiedenen Beben geben.

Fig. 2 zeigt die Amplitudenfilme, mit denen die Amplitudenstörungen bei drei verschiedenen Beben registriert wurden. Die Beben machen sich als eine kleine Zacke in der Registrierung bemerkbar. Die ungestörten Registrierfilme zeigen deutlich, daß auch nicht die geringste Änderung der Pendelamplitude erfolgt ist. Im allgemeinen sprang bei Einsatz des Bebens die Amplitude in kurzer Zeit auf einen anderen Wert und ging nach dem Beben wieder langsam zurück auf Normalamplitude. Im Gegensatz hierzu wurde bei dem letzten Beben am 10. 11. 40 eine während des ganzen Bebens andauernde Änderung der Amplitude

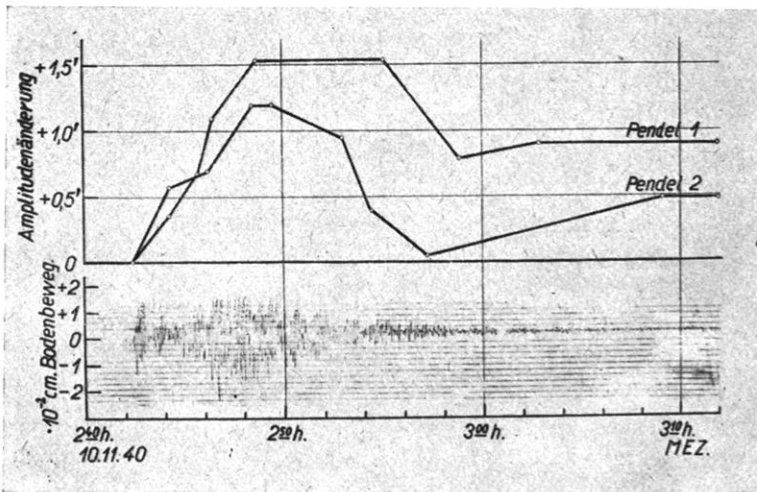


Fig. 3. Amplitudenstörung und Bodenbewegung bei dem Erdbeben am 10. 11. 40

bei zwei Pendeln beobachtet. Dies ist so zu erklären, daß sich mehrere Frequenzen des Bebens so überlagert haben, daß eine Schwebung in der Größe der Schwingungszeit des Pendels entstanden ist, die die Pendel während des ganzen Bebens, etwa 20 Minuten lang, störte.

Diese Amplitudenänderungen der in Göttingen aufgestellten Pendel 1 und 2 zeigt die Fig. 3. Darunter ist der Registrierfilm des Vertikal-Seismographen des Geophysikalischen Institutes Göttingen geklebt. Es fällt zunächst der gleichartige Verlauf der Amplitudenänderung bei beiden Pendeln auf. Eine Berechnung der Phasenverschiebung der beiden Pendel gegeneinander zur Zeit des Erdbebens ergab  $34^\circ$ , d. h. beide Pendel hatten zur Zeit des Eintreffens der Bebenwellen etwa die gleiche Phasenlage, daher auch die gleichartige Amplitudenänderung. Auch dieser Fall zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Theorie. Da die Pendel in Nord-Süd und Ost-West schwingen und die Amplitude gleichartig gestört wurde,

ist anzunehmen, daß die Komponenten der Bebenwelle in NS und OW etwa gleich groß waren. Fig. 3 zeigt, wie der erste Amplitudenanstieg durch den Vorläufer der Bebenwelle hervorgerufen wurde, der zweite Amplitudenanstieg fällt mit dem Einsatz des Hauptbebens zusammen. Dann sackt die Amplitude wieder ab und steigt langsam wieder an. Die gesamte Störung dauert über 20 Minuten. Bei beiden Pendeln verbleibt am Schluß des Bebens eine Reststörung der Amplitude, die in den nächsten Stunden mit der Einstellung der Normalamplitude langsam wieder verschwindet.

Jede Amplitudenstörung verursacht sekundär einen *Gangfehler* der Pendel denn die Schwingungszeit eines Pendels ändert sich nach der elliptischen Funktion mit der Amplitude. Der durch Amplitudenfehler hervorgerufene sekundäre Gangfehler ist aber nur ein Teil des gesamten auftretenden Gangfehlers, der andere Teil ist der oben berechnete Phasenfehler  $\Delta \tau$ . Beide Gangfehler können beträchtliche Werte erreichen, können sich summieren oder auch abschwächen, je nach ihrem Vorzeichen. Die Gangfehler sind als einmalige Störung des Uhrstandes aufzufassen, denn nach dem Beben stellt sich die alte Pendelamplitude wieder ein und damit auch der alte Uhrgang. Eine Dauerstörung des Uhrganges wurde niemals beobachtet.

Tabelle 2. Gangstörungen der Pendel durch Erdbeben

Beben	Phasen- verschiebung Pendel 1 gegen Pendel 2	Normal- amplitude	Amplituden- änderung	Standstörung (gesamt) sec	Standstörung verursacht durch	
					Amplituden- änderung sec	Phasen- sprung sec
8. 11. 38	+ 20°	37,3'	0'	0	0	0
Pendel 1						
Pendel 2		55,0'	- 0,25'	- 0,013	- 0,013	0
10. 11. 38	+ 42°	37,3'	+ 0,40'	0	+ 0,014	- 0,014
Pendel 1						
Pendel 2		55,0'	+ 0,55'	0	+ 0,029	- 0,029
27. 12. 39	- 100°	37,5'	0'	0	0	0
Pendel 1						
Pendel 2		57,0'	+ 0,46'	+ 0,054	+ 0,024	+ 0,030
10. 11. 40	- 34°	37,5'	+ 0,90'	+ 0,020	+ 0,031	- 0,011
Pendel 1						
Pendel 2		59,0'	+ 0,48'	+ 0,015	+ 0,025	- 0,010

Amplituden in Bogenminuten.

Uhrstand — bedeutet Uhr läuft schneller, + Uhr läuft langsamer.

Eine Gangstörung der Schuler-Pendel durch Erdbeben konnte bei den alten Messungen von Schuler und Gengler \*) noch nicht festgestellt werden. Dagegen hat J. Jackson bei einem Erdbeben am 7. 6. 31 für zwei Shortuhren in Greenwich eine Änderung des Uhrstandes der beiden Uhren gegeneinander um

\*) M. Schuler: AN **243**, 301 (1931); G. Th. Gengler: AN **247**, 185 (1933).



0,015 sec festgestellt \*). Die hier mitgeteilten Beobachtungen zeigen Störstörungen in der gleichen Größenordnung. Die Beobachtungsergebnisse sind in der Tabelle 2 aufgeführt. In der Spalte 2 stehen die zur Zeit der Erdbeben vorhandenen Phasenverschiebungen der Pendelschwingungen 1 und 2 gegeneinander.

Spalte 4 gibt noch einmal die Amplitudenänderungen an und Spalte 6 die daraus nach der elliptischen Funktion berechneten Änderungen des Uhrstandes. In Spalte 5 sind die gemessenen Gesamtstörungen des Uhrstandes eingetragen. Zieht man die durch Amplitudenänderung hervorgerufenen Standfehler von der Gesamtstörung des Uhrstandes ab, so bekommt man die Standfehler, die durch den Phasensprung  $\Delta\tau$  hervorgerufen sind. Diese Werte sind in Spalte 7 eingetragen. Die Ermittlung der Gesamtstörung des Uhrstandes erfolgte nach der Fig. 4.

In Fig. 4 sind für vier verschiedene Erdbeben die relativen Uhrstände der Pendel 1 und 2 gegen die Quarzuhr des Geodätischen Institutes Potsdam dargestellt. Die Uhrstände der beiden Pendel wurden täglich mit Hilfe eines Oszillographen mit dem drahtlosen Zeitsignal von Rugby verglichen und registriert. Bringt man an den Zeitsignalen die von Potsdam herausgegebenen Korrekturen an, so bekommt man den Anschluß an die Potsdamer Quarzuhr. Diese Uhrstände wurden auf Null reduziert und sind in der Fig. 4 durch die dicken durchgezogenen Geraden dargestellt.

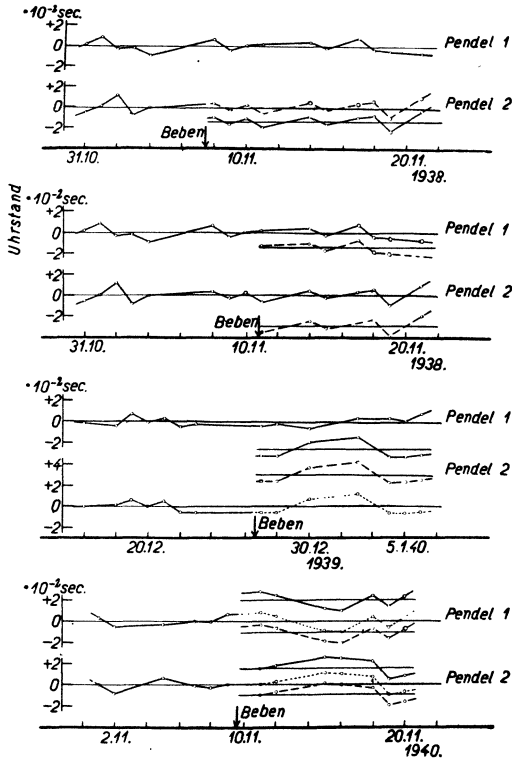


Fig. 4. Uhrstand der Pendel 1 und 2 gegen Quarzuhr des Geod. Inst. Potsdam bei vier Erdbeben

- wirklich gemessene Uhrstände.
- Uhrstände nach Korrektur der Amplitudenstörung.
- Uhrstände nach Ausgleichung des gesamten Standfehlers.
- + bedeutet, Uhr läuft langsamer, — Uhr läuft schneller.

Ich will im folgenden die Wirkung der einzelnen Beben auf die Uhrstände näher diskutieren. Das Beben vom 8. 11. 38 ist auf den Uhrstand des Pendels 1

\*) J. Jackson: Mitteilungen in der Royal Astron. Society London, Juli 1931.

ohne Einfluß geblieben. Auch die Pendelamplitude wurde nicht gestört, das Pendel blieb also von der Bebenstörung völlig unberührt. Bei Pendel 2 macht sich eine Gesamtstörung des Uhrstandes von  $-0.013$  sec bemerkbar. In diesem Falle betrug die Amplitudenstörung  $-0.25'$ . Die hierfür nach der elliptischen Funktion berechnete Standstörung beträgt  $-0.013$  sec. Das ist aber gerade der Wert der gesamten Störung des Uhrstandes, also ist in diesem Falle kein Phasenfehler des Pendels aufgetreten, sondern die Standabweichung ist allein sekundär durch den Amplitudenfehler verursacht.

Bei Pendel 1 und dem Beben vom 10. 11. 38 haben wir gerade den umgekehrten Fall. Das Pendel ist scheinbar ungestört geblieben, denn der Uhrstand zeigt keine Gesamtstörung. Die Meßpunkte in der Fig. 4 pendeln regelmäßig um den Wert Null. In Wirklichkeit haben sich aber Standfehler durch Amplitudenstörung und Phasenfehler gegenseitig aufgehoben. Die Pendelamplitude wurde um  $+0.40'$  geändert, das entspricht einer Standabweichung von  $+0.014$  sec, die durch den Phasensprung von  $-0.014$  sec eliminiert wurde. Die gleichen Verhältnisse haben wir bei Pendel 2 und dem Beben vom 10. 11. 38. Auch hier heben sich Standfehler durch Amplitudenstörung und Phasensprung gegenseitig auf.

Pendel 1 blieb beim Beben vom 27. 12. 39 wieder völlig ungestört, dagegen tritt bei Pendel 2 ein erheblicher Sprung des Uhrstandes auf, da sich in diesem Falle Phasensprung und Standfehler durch Amplitudenstörung summieren.

Das Beben vom 10. 11. 40 bringt schließlich bei beiden Pendeln den Fall, daß Phasensprung und Standfehler durch Amplitudenstörung wohl verschiedene Vorzeichen haben, sich aber nicht aufheben, so daß noch ein Restfehler im Gesamtuhrstand erscheint. Dieser Fall bestätigt auch die Theorie, daß relativ große Amplitudenfehler mit kleinen Phasensprüngen verbunden sind. Es treten nur Phasenfehler von  $0.011$  sec bzw.  $0.010$  sec auf, während die Amplitudenabweichungen  $0.90'$  bzw.  $0.48'$  betragen.

Die Verschiedenartigkeit, mit der sich die Bebenstörungen auf die Phase der Pendel ausgewirkt haben, zeigt auch in diesem Falle, daß ebenso wie bei den Amplitudenänderungen alle Größen und Vorzeichen der Phasensprünge vorkommen können.

Nach den oben angegebenen Gleichungen (1) und (2) lassen sich die Phasenlagen  $\tau$  berechnen, unter denen die Pendel von der Bebenwelle bzw. ihrer größten Beschleunigung getroffen wurden, denn die Amplitudenstörung  $A_2 - A_1$ , der Phasensprung  $\Delta\tau$  und die Normalamplitude  $A_1$  sind bekannt. Für das Beben vom 10. 11. 38 ergibt die Rechnung

$$\begin{array}{ll} \text{für Pendel 1} & \tau = 81^\circ \\ \text{für Pendel 2} & \tau = 63,5^\circ \\ \text{Phasenverschiebung Pendel 1 gegen 2} & = 17,5^\circ \end{array}$$

Praktisch hatten die Pendel zur Zeit des Bebens eine Phasenverschiebung gegeneinander von  $42^\circ$ .

Für das Beben vom 10. 11. 40 ergibt die Rechnung

für Pendel 1 .....	$\tau = 57,5^{\circ}$
für Pendel 2 .....	$\tau = 74,8^{\circ}$
Phasenverschiebung Pendel 1 gegen 2 .....	$= - 17,3^{\circ}$

Die zur Zeit des Bebens wirklich vorhandene Phasenverschiebung der Pendel gegeneinander betrug  $- 34^{\circ}$ .

Man sieht, daß die errechneten Phasenverschiebungen in der Größenordnung mit den wirklich vorhandenen Phasenverschiebungen übereinstimmen, und daß die oben angegebene theoretische Darstellung die Verhältnisse ziemlich gut wiedergibt. Eine genaue Übereinstimmung der Werte kann man bei diesen Messungen nicht verlangen, da die beiden Pendel in verschiedenen Ebenen schwingen. Es müßten dann schon die Komponenten der Bebenwelle in NS und OW völlig gleich sein. Auf jeden Fall ist es aber möglich, Aussagen über die Auswirkung einer Bebenstörung auf Pendelamplitude und Phase zu machen, wenn man die Art der Störung bei einem Nachbarpendel kennt.

*4. Zusammenfassung.* Es zeigten sich bei vier Schuler-Pendeln bei den starken Fernbeben der letzten Jahre Amplitudenstörungen bis zu 1 Bogenminute und Störungen des Uhrstandes bis zu 0.054 sec. Vorzeichen und Größe der Störungen sind gleichmäßig verteilt. Eine theoretische Darstellung der Störungsmöglichkeiten steht in Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Unter gewissen Voraussetzungen lassen sich Aussagen über die Art und Größe der entstehenden Amplituden- und Gangfehler machen. In allen Fällen, wo nur die gesamte Erdbebenstörung betrachtet wird, kann man stets die Einwirkung des Bebens auf das Pendel in einen einzigen Störimpuls zusammenfassen. Denn gemessen ist dann nur die Störung der Amplitude und des Uhrstandes am Schluß des Bebens. Diese beiden Störungen lassen sich aber durch einen einzigen Störimpuls richtig wiedergeben. Alle Erdbeben haben nur einen einmaligen Sprung des Uhrstandes der Pendel hervorgerufen, nach dem Beben stellt sich der alte Uhrgang wieder ein. Eine bleibende Änderung des Uhrganges oder der Amplitude wurde niemals beobachtet.

Es ist mir ein Bedürfnis, Herrn Professor Schuler für die Anteilnahme und die Unterstützung dieser Arbeit besonders zu danken. Nur so war es möglich, die Untersuchungen in wenigen Urlaubswochen während des Krieges zum Abschluß zu bringen.