

Werk

Jahr: 1935

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:11

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0011

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

LOG Id: LOG_0065

LOG Titel: Die Wirkungsweise eines Klinographen bei der Aufzeichnung von Neigungswellen

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

Die Wirkungsweise eines Klinographen bei der Aufzeichnung von Neigungswellen

Von **Gerhard Schmerwitz** in Jena — (Mit 5 Abbildungen)

Die Voraussetzungen, welche von W. Schlüter für die Versuche zum Nachweis der bei Erdbebenwellen auftretenden Bodenneigungen gemacht worden sind, treffen nicht zu. Die endliche Größe der Schneidenkrümmung, die Astasierung und die Empfindlichkeit verursachen eine je nach ihrer Wahl ganz verschiedene Neigung des Systems. Unter Berücksichtigung aller störenden Einflüsse werden neue Bedingungen abgeleitet und genaue Anweisungen gegeben, die für einen direkten Nachweis der Bodenneigungen erforderlich sind.

Instrumentelle Untersuchungen über den Anteil der bei Erdbebenwellen auftretenden periodischen Bodenneigungen sind, soweit die verfügbare Literatur ein Urteil zuläßt, bisher nur in wenigen Fällen*) angestellt worden. Diese Beobachtungen, die von G. Angenheister mit dem Fernrohr bei einem starken Nahbeben, sowie von W. Schlüter und B. Galitzin mit dem von ersterem konstruierten Klinograph ausgeführt wurden, stellten nur eine Grenze fest, bis zu welcher Neigungen unter den gegebenen Umständen nicht auftraten.

Von Berlage**) wird das Ergebnis der empfindlichsten Versuche dieser Art ohne Rücksicht auf eine Kritik von Galitzin***) dahin zusammengefaßt, daß „Schlüter den Nachweis erbracht hat, daß die Neigungen so klein sind, daß der Klinograph sie nicht aufzeichnete“.

Bei dem Klinograph liegen die Schwierigkeiten für einen direkten Nachweis in der sicheren Ausschließung der Überlagerung von Horizontalverschiebungen und in den relativ zu diesen Störungen sehr geringen Neigungsbeträgen.

Die Größenordnung der zu erwartenden Neigungen kann bei Oberflächenwellen aus der Aufzeichnung der Vertikalkomponente abgeschätzt werden. Bei einer V -Komponente von 1 mm, einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 3.25 km/sec und $T = 20$ sec erreicht die gegen die Horizontale gemessene Amplitude nur etwa 0.02" (sec).

Die Aufgabe, die damals der Klinograph zu lösen hatte, teilte sich in zwei Abschnitte: 1. Den experimentellen Nachweis zu führen, daß die Aufzeichnung

*) W. Schlüter: Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen. Gerlands Beitr. z. Geophys. 5, 314—359 (1903); B. Galitzin: Vorlesungen über Seismometrie, S. 390—401; G. Angenheister: Beobachtungen an pazifischen Beben. Nachrichten von der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen 1921.

**) H. P. Berlage, Handb. d. Geophys., Bd. 4, Erdbeben, S. 320. Verlag Bornträger Berlin.

***) l. c. S. 210.

der langen Wellen auf den Seismogrammen nur durch Translationsbewegungen der Apparate verursacht wird. 2. Den direkten Nachweis für die Größenordnung der wirklich auftretenden Neigungen zu liefern.

Unter der Annahme, daß die Wirkungen der Oberflächenwellen auf ein Horizontalseismometer ausschließlich durch die Neigungsänderungen hervorgerufen werden, müßten mit einem Klinograph bei einem mittelstarken Erdbeben Neigungsbeträge von etwa $1''$ meßbar sein. In dem zweiten Fall sind jedoch nur Amplituden von etwa $0.02''$ zu erwarten, die gerade an der Leistungsgrenze des Schlüterschen Klinographen liegen.

Die rechnerischen sowohl wie die instrumentellen Voraussetzungen, welche den Klinographenversuchen damals zugrunde gelegt wurden, erwiesen sich bei genauerer Prüfung als nicht zutreffend. Das ergab vor allem eine Anwendung der in jüngster Zeit bei Waagen- und Schneidenuntersuchungen gesammelten Erkenntnisse.

Da die Schlüterschen Messungen zu den Grundlagen für die Beurteilung des Neigungsanteils bei Erdbebenwellen gehören, stellt sich somit die Notwendigkeit zu einer Neudurchrechnung des vorliegenden Problems heraus. Von den umfangreichen, sorgfältig und gewissenhaft ausgeführten und veröffentlichten Untersuchungen Schlüters befaßt sich die folgende Darstellung nur mit dem Anteil, der den Neigungswellen gewidmet ist. Wie zu erwarten war, konnte dabei das Hauptergebnis (der 1. Abschnitt) auch durch die neuen Voraussetzungen keine Veränderungen erfahren. Zur Sicherheit dieses Nachweises und vor allem zur Klärung der zweiten Frage über die Größe des Neigungsanteils bei langen Wellen wird es sich als notwendig erweisen, die experimentellen Untersuchungen wieder aufzunehmen.

A. Die grundlegenden statischen Beziehungen

Der Klinograph ist ein gleicharmiger Hebelwaagebalken mit einer einzigen Schneide, der Mittelschneide. Zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit befindet sich noch an einem Ende eine mit 0.02 mm-Platindrähten befestigte Spiegelaufhängung, die, wie sich im Verlauf der Versuche herausgestellt hat, außer zur Vergrößerung auch noch zu Astasierungszwecken verwendbar war. Der Grundgedanke des Klinographen ist folgender gewesen: Der Schwerpunkt wird in die als mathematische Gerade vorausgesetzte Schneide verlegt, sodaß Horizontalkräfte keine Drehmomente hervorrufen können und der Balken im absoluten Raum gegenüber Neigungen des Bodens fest stehen bleibt. Man würde somit in dem Differenzwinkel unmittelbar den Neigungswinkel der Erdbebenwellen messen können. Diese Folgerung war nicht richtig, da die Voraussetzung nicht zutraf. Wie schon an anderen Beispielen*) nachgewiesen worden ist, darf bei einem Präzisionsinstrument der Begriff: Drehachse und der konkrete Gegenstand: Schneide miteinander nicht gleichgesetzt werden. Bei hohen Empfindlich-

*) Zeitschr. f. Geophys. 8, 439—445 (1932); Phys. Zeitschr. 33, 234—239 (1932).

keiten spielt der Krümmungsradius der Schneide die ausschlaggebende Rolle. In dem vorliegenden Fall bewirkt dieser Einfluß, daß der Waagebalken die Neigung des Erdbodens je nach dem Verhältnis der Schneidenkrümmung zum Schwerpunktsabstand mit einer zwischen den Grenzen -1 und $+\infty$ liegenden Vergrößerung wiedergeben kann.

1. *Die Neigungsempfindlichkeit ohne Astasierung.* Da die Ableitung der Neigungsempfindlichkeit am zweckmäßigsten schrittweise vorgenommen wird, soll von der Federkraft des Spiegelsystems zunächst abgesehen werden. In den Fig. 1 und 2 bedeutet ρ den Krümmungsradius der Schneide, d den Abstand des Schwerpunktes S von der Berührungsstelle A (nach oben positiv gezählt), ϑ die Neigung der Auflagefläche bzw. der Erdoberfläche gegen die Ruhelage, φ die Neigung des Waagebalkens gegen die gleiche Ruhelage und ε den veränderlichen Winkel zwischen Balken und Erdoberfläche $= \varphi - \vartheta$. Wird der Boden um den Winkel ϑ geneigt, so rollt das System (von dem hier nur der Krüm-

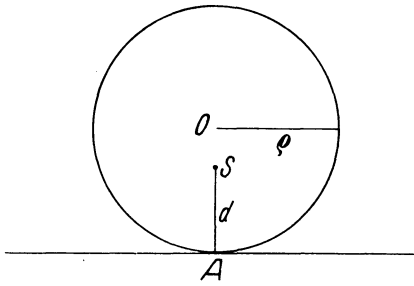


Fig. 1

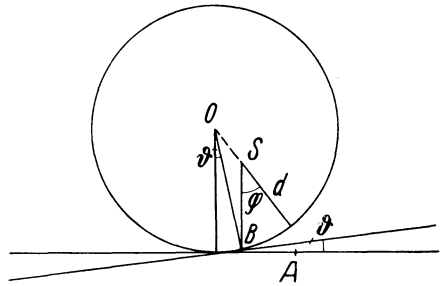


Fig. 2

mungskreis gezeichnet ist) um den Winkel φ so weit, bis von der Schwerkraft kein Drehmoment mehr ausgeübt werden kann. S muß in der neuen Ruhelage wieder über dem veränderten Berührungspunkt B liegen. Aus dem Dreieck OSB ergibt sich die Beziehung:

$$\frac{\rho}{\sin \varphi} = \frac{\rho - d}{\sin \vartheta}.$$

Oder für kleine Winkel, die hier nur in Frage kommen:

$$\frac{\varphi}{\vartheta} = \frac{\rho}{\rho - d}.$$

Meßbar ist im Fall einer Erdbebenwelle jedoch nur die Differenz: $\varepsilon = \varphi - \vartheta$, da Ableseskala, Stativ usw. um den gleichen Winkel mitgedreht werden. Die gesuchte Beziehung lautet demnach:

$$\frac{\varepsilon}{\vartheta} = \frac{d}{\rho - d} \dots \dots \dots (1)$$

Ein Vergleich der Einwirkung von Neigungen und horizontalen Verschiebungen mit dem nach der Annahme von Schlüter sich ergebenden Vorgang führt schon jetzt zu folgendem Unterschied: Der Fall, daß horizontale Kräfte kein Drehmoment auf das System ausüben, tritt nur ein, wenn der Schwerpunkt in der Krafttrichtung liegt, also $d = 0$ ist. Gegen Neigungen ist dann aber das System statisch vollkommen unempfindlich, da $\varphi = \vartheta$ wird. Das System geht genau mit den Bodenneigungen mit und Differenzen könnten, statisch gesehen, nicht nachgewiesen werden. Demgegenüber müßte nach der Betrachtung von Schlüter, da das System im Raum ruht, der Neigungswinkel des Bodens sich

als negativer Drehwinkel des Systems bemerkbar machen. Daß letzteres in Wirklichkeit bei einem Klinographenbalken nicht zutrifft, wird durch den folgenden Versuch nachgewiesen.

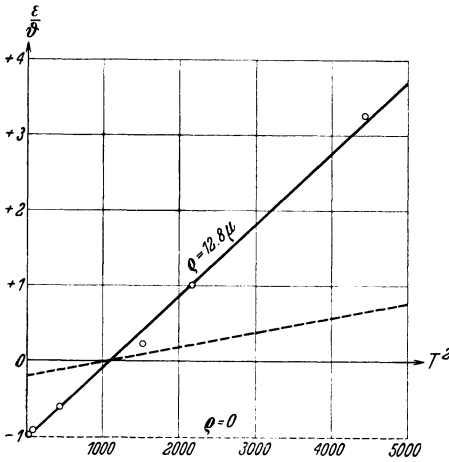


Fig. 3

Die Abhängigkeit der Klinographenneigung von der Empfindlichkeit, dem Krümmungsradius und der Astasierung

- ($q = 0$). Von Schlüter vorausgesetzter Verlauf. (Theoretischer Grenzfall)
- o o o o o Gemessene Werte. (Praktischer Verlauf)
- Verlauf bei einer Astasierung 4 : 1

höchster Empfindlichkeit, wo das System als Klinograph Verwendung findet, konstant bleiben. In der Fig. 3 wird diese Voraussetzung durch die Parallele zur Abszisse bei der Ordinate -1 dargestellt.

In Wirklichkeit werden die Verhältnisse durch eine bereits früher*) abgeleitete Formel wiedergegeben, welche (für diesen Zweck etwas umgestellt) lautet:

$$\frac{\varphi}{\vartheta} = \frac{\alpha \cdot M \cdot \varrho}{P \cdot l}.$$

*) Zeitschr. f. Instrumentenkde. 52, 2 (1932).

2. Experimentelles Beispiel. Bei einem Präzisionswaagebalken wurden bei verschiedenen Schwerpunktsabständen die veränderlichen Winkelverhältnisse gemessen. In Fig. 3 sind demzufolge die Drehwinkel des Systems bezogen auf den Einheitswinkel der Bodenneigung als Ordinate und die mit T^2 bzw. $1/d$ proportionalen Empfindlichkeiten als Abszisse aufgetragen. Nach der Annahme von Schlüter müßte das System bei einer Bodenneigung um $+\vartheta$ eine gegen die Ruhelage gemessene Drehung von $-\vartheta$ ausführen. Dieses Drehungsverhältnis -1 würde bei allen Schwerpunktsabständen bis zu denen bei

Falls die Neigungen, wie hier, nur relativ zur bewegten Oberfläche gemessen werden können, schreibt man zweckmäßiger:

$$\frac{\varepsilon}{\vartheta} = \frac{\alpha \cdot M \cdot \rho}{P \cdot l} - 1.$$

Da die Empfindlichkeit proportional T^2 ist:

$$\frac{\varepsilon}{\vartheta} = c \cdot \rho \cdot T^2 - 1 \dots \dots \dots (2)$$

Das Neigungsverhältnis, in Abhängigkeit von T^2 aufgetragen, muß gegen die Abszisse geneigte Gerade ergeben, deren Steigung, von einem weiteren Faktor abgesehen, proportional der Scheidenkrümmung ρ ist. Wie die durch die gemessenen Punkte bestätigte Beziehung (2) zeigt, tritt eine Parallele zur Abszisse im Abstand -1 nur in dem theoretisch denkbaren Grenzfall $\rho = 0$ auf, der in der Praxis nicht herstellbar ist. Im Vergleich mit dem bei diesem Beispiel ermittelten Schneidenradius von 12.8μ muß die Steigung bei dem Klinograph (ohne Astasierung) dem Krümmungsradius entsprechend etwa zehnmal größer gewesen sein.

Diese Darstellung gibt auch eine genaue Anleitung dafür, wie der Schwerpunkt einzustellen ist, damit der als Klinograph verwendete Balken frei von der Einwirkung horizontaler Beschleunigungen ist. Gemäß der Formel (1) ist hierfür nur der Schnittpunkt mit der Abszisse zu verwenden. Dabei fällt die Unabhängigkeit gegen Bodenverschiebungen genau mit der statischen Unempfindlichkeit gegenüber Neigungen zusammen. Somit lassen sich auch die hier nachgewiesenen, oberhalb der Abszisse liegenden, beliebig starken Vergrößerungen nicht verwenden, weil dann wieder die Horizontalkräfte zur Auswirkung kommen können.

Solange der Schwerpunkt unterhalb des Berührungspunktes A bleibt, d also mit negativem Vorzeichen einzusetzen ist, ist die Drehung des Systems, gegen den bewegten Boden gemessen, negativ, d. h. entgegengesetzt. Mit dem Durchgang von S durch den Punkt A wechselt die Drehung des Systems das Vorzeichen. Sie verläuft dann mit beliebig starken Vergrößerungen in dem gleichen Sinn wie die ankommende Neigung.

3. *Berücksichtigung der Astasierung.* Durch die Einwirkung der astasierenden Direktionskraft F werden die Verhältnisse noch etwas abgeändert. Diese Kraft kann man sich etwa in einer Feder vorstellen, welche mit einem gegenüber ρ und d sehr großen Hebelarm angreift. Die Rechnung führt dann zu der folgenden Beziehung zwischen ε , φ und ϑ :

$$\frac{\varphi}{\vartheta} = \frac{\rho + \frac{F}{M \cdot g}}{\rho - d + \frac{F}{M \cdot g}}$$

Oder

$$\frac{\varepsilon}{\vartheta} = \frac{d}{\varrho - d + \frac{F}{M \cdot g}} \dots \dots \dots (3)$$

Die Ableitung läßt sich, wenn man von der vorhergehenden ausgeht, ohne Schwierigkeiten durchführen und soll aus Raumersparnis unterbleiben.

Um die Einwirkung der astasierenden Direktionskraft F besser zu übersehen, wird die rechte Seite umgeformt:

$$\frac{\varepsilon}{\vartheta} = \frac{d}{\varrho - d} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{M \cdot g \cdot (\varrho - d)}{F}} \right)$$

Wenn das Zusatzmoment F klein gegen das des Waagebalkens $M \cdot g \cdot (\varrho - d)$ ist, bleiben die Beziehungen die gleichen wie vorher. Ist hingegen F groß, so wird der Verlauf der Geraden so abgeändert, daß sämtliche Ordinaten in Abhängigkeit vom Verhältnis der beiden Momente zu verkleinern sind. D. h. deutlicher: Die Geraden müssen um den Schnittpunkt mit der Abszisse zu geringeren Steigungen gedreht werden. Bei einem Verhältnis der Momente z. B. von 4:1 müßte jede Ordinate um ein Fünftel gekürzt werden (siehe Fig. 3). Bei relativ großen Astasierungskräften kann der Verlauf der Geraden so weit mit der Abszissenachse zusammenfallen, daß praktisch über den gesamten Bereich Neigungsunempfindlichkeit herrscht. Ein Grenzfall, der auch unmittelbar der Anschauung entspricht.

B. Die Bewegungsgleichungen eines schneidengelagerten Systems (Klinographen) bei Boden­neigung und Bodenverschiebung

1. *Ableitung.* Ein abschließendes Urteil über die Wirkungsweise des Klinographen kann erst die Berücksichtigung der dynamischen Vorgänge ergeben. Hierfür ist in den Fig. 4 und 5 wiederum nur der Krümmungskreis mit dem Radius ϱ gezeichnet. Die Lage des Schwerpunktes S befinde sich im Abstand d von der Berührungsstelle A mit der Unterlage. d nach oben positiv. Für kleine Ausschläge, die hier den Betrag von einer Minute kaum überschreiten, darf ϱ als konstant angesehen werden.

Tritt jetzt eine horizontal gerichtete Erdbewegung in der in Fig. 4 eingezeichneten Richtung von der Größe x auf, so wirkt sich diese, von der Erde aus gesehen, auf S als eine Beschleunigung in der entgegengesetzten Richtung aus. Die Bewegungsgleichung lautet dann nach dem d'Alembertschen Prinzip:

$$M(k^2 + d^2) \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + M \cdot g \cdot (\varrho - d) \cdot \varepsilon + F \cdot \varepsilon + w \cdot \frac{d \varepsilon}{dt} = - \frac{d^2 x}{dt^2} \cdot d \cdot M.$$

Oder:

$$\frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + \frac{w}{M(k^2 + d^2)} \cdot \frac{d \varepsilon}{dt} + \frac{g \cdot (\varrho - d)}{k^2 + d^2} \cdot \varepsilon + \frac{F}{M(k^2 + d^2)} \cdot \varepsilon = - \frac{d^2 x}{dt^2} \cdot \frac{d}{k^2 + d^2} \quad (4)$$

Hierin bedeutet ε , das im vorliegenden Fall $= \varphi$ ist, den Winkelausschlag des starren Balkensystems, M die Masse, w die Dämpfungskonstante, k den Trägheitsradius, bezogen auf den Schwerpunkt S , und F die Direktionskraft, die von einer beliebigen elastischen oder mechanischen Astasierung herrührt.

Bei einer Neigungswelle, die mit einer Drehung des Bodens um den Winkel $+\vartheta$ beginnt (Fig. 5), dreht sich das System in dem gleichen Sinn wie in Fig. 4. Liegt S unterhalb von A , so wechselt in beiden Fällen das Vorzeichen gleichzeitig. Fallen die Horizontalverschiebungen jedoch nicht, wie in den Figuren angenommen ist, in die Richtung zum Wellenberg, sondern zum Wellental, dann verlaufen die dem Klinograph aufgeprägten Bewegungen entgegengesetzt. Sie können sich also in ungünstigen Fällen in ihrer Wirkung sogar aufheben, was bei Rayleighwellen (siehe z. B. die Darstellung von Gutenberg, Handbuch der Geophysik, Bd. IV, S. 85) auch zutrifft.

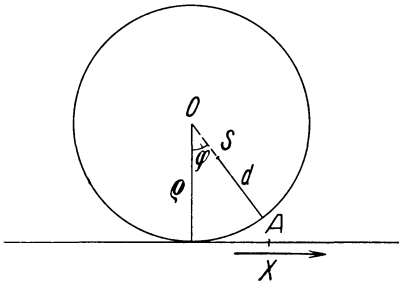


Fig. 4

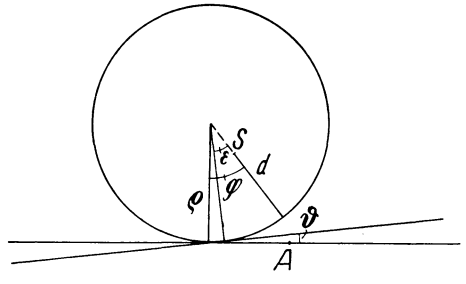


Fig. 5

Bei der Ableitung der Bewegungsgleichung für Neigungen ist zu bedenken, daß sich mit der Drehung des Bodens auch die Nullage verändert. Bezeichnet φ die Drehung des Systems gegenüber der Ausgangsstellung, ε die Drehung relativ zum bewegten Erdboden, ϑ die Neigung des Bodens gegen die Ruhelage, so lauten die Gleichungen:

$$M \cdot (k^2 + d^2) \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + M \cdot g(\rho - d) \cdot \left(\varphi - \frac{\rho}{\rho - d} \cdot \vartheta \right) + F \cdot (\varphi - \vartheta) + w \cdot \frac{d(\varphi - \vartheta)}{dt} = 0$$

oder

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{g \cdot (\rho - d)}{k^2 + d^2} \cdot \varphi + \frac{F}{M(k^2 + d^2)} \cdot \varphi + \frac{w}{M(k^2 + d^2)} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \\ = \left(\frac{g \cdot \rho}{k^2 + d^2} + \frac{F}{M(k^2 + d^2)} \right) \cdot \vartheta + \frac{w}{M(k^2 + d^2)} \cdot \frac{d\vartheta}{dt} \end{aligned}$$

Da φ einer direkten Messung nicht zugänglich ist, wird $\varphi = \vartheta + \varepsilon$ eingeführt.

$$\frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + \frac{w}{M(k^2 + d^2)} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{g \cdot (\rho - d) + \frac{F}{M}}{k^2 + d^2} \cdot \varepsilon = - \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} + \frac{g \cdot d}{k^2 + d^2} \cdot \vartheta \dots (5)$$

Für die Lösung von (4) und (5) werden die üblichen Abkürzungen verwendet.

$$2h = \frac{w}{M(k^2 + d^2)}; \quad n^2 = \frac{g \cdot (d - d) + \frac{F}{M}}{k^2 + d^2}.$$

Die in der Richtung der Bewegungsebene des Systems ankommende Oberflächenwelle setzt sich aus dem Neigungs- und Translationsanteil

$$\vartheta = A \cdot \sin \omega \cdot t; \quad x = B \cdot \sin \omega (t + \gamma)$$

zusammen. In γ ist der gegenseitigen Phasenverschiebung Rechnung getragen, für die bei Rayleighwellen, wie soeben erwähnt, nur der Wert π in Frage kommt.

Mit

$$\frac{d^2 \vartheta}{dt^2} = -A \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

und

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -B \omega^2 \cdot \sin \omega (t + \gamma)$$

lauten die Gleichungen in beiden Fällen:

Für Horizontalverschiebung

$$\frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + 2h \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + n^2 \cdot \varepsilon = B \cdot \frac{d}{k^2 + d^2} \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega (t + \gamma).$$

Für Neigung

$$\frac{d^2 \varepsilon}{dt^2} + 2h \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + n^2 \cdot \varepsilon = A \cdot \left(\omega^2 + \frac{g \cdot d}{k^2 + d^2} \right) \sin \omega \cdot t.$$

In der Theorie der Differentialgleichungen sind die Lösungen vorbereitet, welche für die ähnlich wie hier liegenden bekannten Fälle der Seismometrie auch in den meisten Handbüchern der Geophysik ausführlich dargestellt sind. Sie haben die Form (mit den Indizes v und n für Horizontalverschiebung und Neigung):

$$\varepsilon_v = B \cdot \frac{\omega^2 \cdot \frac{d}{k^2 + d^2}}{\sqrt{(n^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2}} \cdot \sin \omega (t - \tau_0 + \gamma) + e^{-ht} \cdot P \cdot \sin (\sqrt{n^2 - h^2} \cdot t + \delta),$$

$$\varepsilon_n = A \cdot \frac{\omega^2 + \frac{g \cdot d}{k^2 + d^2}}{\sqrt{(n^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2}} \cdot \sin \omega (t - \tau_0) + e^{-ht} \cdot P \cdot \sin (\sqrt{n^2 - h^2} \cdot t + \delta).$$

Hier ist durch

$$\text{tang } \omega \tau_0 = \frac{2h \cdot \omega}{n^2 - \omega^2}$$

die Phasenverschiebung festgelegt. P und δ sind beliebig, $\omega = 2\pi/T$ die Kreisfrequenz der ankommenden Welle, $n = 2\pi/T_0$ die des Klinographensystems

ohne Dämpfung. Falls, wie üblich, auch noch die Relaxationszeit $\tau = 1/h$ eingeführt wird, so erhält man für die Amplituden allein unter Vernachlässigung des Exponentialgliedes folgende Werte:

$$(\varepsilon)_v = B \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1\right)^2 + \left(\frac{T_0}{\pi \tau}\right)^2 \cdot \frac{T^2}{T_0^2}}} \cdot \frac{d}{k^2 + d^2} \dots \dots \dots (6)$$

$$(\varepsilon)_n = A \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1\right)^2 + \left(\frac{T_0}{\pi \tau}\right)^2 \cdot \frac{T^2}{T_0^2}}} \cdot \left(1 + \frac{d}{\varrho - d + \frac{F}{M \cdot g} \cdot \frac{T^2}{T_0^2}}\right) \dots (7)$$

Sämtliche Größen sind hierbei im CGS-System gemessen, ε und A im Bogenmaß.

2. *Vergleich mit den Untersuchungen von Schlüter.* Bei Schlüter (S. 351) lautet die seinen Voraussetzungen entsprechende Formel in der hier eingeführten Bezeichnungsweise für Neigungen

$$(\varepsilon)_{kl} = A \cdot \frac{1 - \frac{T^2}{T_{kl}^2}}{\sqrt{\left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1\right)^2 + \left(\frac{T_0}{\pi \tau}\right)^2 \cdot \frac{T^2}{T_0^2}}}$$

wobei T_{kl} die Schwingungsdauer des Systems ohne Astasierung bedeutet. Durch Vergleich mit der neuen Berechnung soll im folgenden nachgeprüft werden, wie weit aus den damaligen Registrierungen des Klinographen der Nachweis, der die Einwirkung von Neigungen bei langen Oberflächenwellen ausschloß, noch als einwandfrei angesehen werden kann.

Hierfür lassen sich die erforderlichen Angaben, dank der sorgfältigen Darstellung in der Schlüterschen Arbeit, sehr weitgehend ermitteln. Das betrifft insbesondere die dort nicht direkt auftretenden Größen: d , $k^2 + d^2$, $\frac{F}{M \cdot g}$ und ϱ . Zu beachten ist, daß die Größe $\varrho - d$ gleichbedeutend ist mit dem Schwerpunktsabstand nach der Auffassung von Schlüter! Die Zahlenwerte dieser Größen lauten zusammengestellt:

$$\varrho - d = 0.004 \text{ cm (S. 375)}; \quad \frac{F}{M \cdot g} = 0.47 \text{ cm,}$$

$$k^2 + d^2 = 4.68 \cdot 10^3 \text{ cm}^2; \quad d = 0.007 \text{ cm (wahrscheinlichster Wert).}$$

Die Abschätzung von ϱ ergibt sich auf Grund der Schneidenbelastung p von 15 kg auf etwa 50 mm Schneidenlänge für Achat nach der für diese Berechnungsweise bestätigten*) Theorie von Hertz

$$\varrho \cong \frac{2p}{\pi \cdot \Theta \cdot Z^2},$$

*) Zeitschr. f. Instrumentenkde. 52, 11 (1932).

wobei Θ eine Elastizitätskonstante und Z die Belastungsgrenze des Materials bedeutet. Die Zahlenwerte führen zu einer unteren Grenze: $\varrho \geq 0.0106$ cm. Für die Berechnung soll etwa der untere Grenzwert $\varrho = 0.011$ cm zugrunde gelegt werden (obgleich auch wesentlich höhere Werte zunächst nicht ausgeschlossen sein könnten).

Den Wert $\frac{F}{M \cdot g}$ findet man aus der Schwingungszeit

$$T_0^2 = (2\pi)^2 \cdot \frac{k^2 + d^2}{\left(\varrho - d + \frac{F}{M \cdot g}\right) \cdot g}$$

Da die Astasierungskraft die Schwingungszeit von 217 sec bis auf $T_0 = 20$ sec heruntergesetzt hat, ergibt sich der große Wert $\frac{F}{M \cdot g} = 0.47$ cm. Dieser Betrag ist so erheblich, daß die Zurückführung auf die elastischen Kräfte der beiden nur 0.02 mm starken Platinfäden des Spiegelsystems unmittelbar zu Bedenken Anlaß geben muß. Auf Grund von Ableitungen, die für Hebelwaagen*) durchgeführt sind, kann selbst bei der 153fachen Hebelvergrößerung für $\frac{F}{M \cdot g}$ ein Wert von höchstens 0.001 cm durch elastische Kräfte verursacht werden. Wie das Zustandekommen des hohen Betrages dennoch zu erklären ist, wird am Schluß der Arbeit behandelt.

Das endgültige Ergebnis an Hand der Betrachtung von Fig. 3 und dem obigen Zahlenwert für das Astasierungsverhältnis zeigt, daß der Klinograph gegen Neigungen statisch unempfindlich gewesen ist. Er befand sich somit gegenüber Neigungen in dem gleichen Zustand wie ein als Seismometer verwendetes Pendel gegenüber Horizontalverschiebungen, wobei dieses sowohl statisch wie im Grenzfall sehr langsamer Verschiebungen auch unempfindlich ist. In beiden Fällen können nur kürzere und in der Gegend der Eigenschwingung liegende Perioden infolge des dynamischen Vergrößerungsfaktors aufgezeichnet werden. In dieser Hinsicht lag die Eigenschwingung des Klinographen von Schlüter für die Aufzeichnung der langen Wellen nicht sehr günstig, wie an dem weiter unten durchgerechneten Beispiel gezeigt wird.

Die neue Ableitung unterscheidet sich nur in dem Aufbau des Zählers von der alten. Dieser lautet nach der neuen Darstellung [Formel (7)]: $1 + 0.015 T^2/T_0^2$ gegenüber dem Wert von $1 - 0.0085 \cdot T^2/T_0^2$ nach der Berechnung von Schlüter. Da die Differenz im höchsten Falle ($T = 38$ sec) etwa 8.5% beträgt, würden die in dem Beispiel S. 358 aus den Horizontalpendelwerten berechneten Klinographenausschläge um nicht mehr als diesen Betrag zu vergrößern sein.

Somit können die von Schlüter ausgeführten Registrierungen trotz der nicht zutreffenden Voraussetzungen doch noch als ein experimenteller Nachweis

*) Gerlands Beitr. z. angew. Geophys. 4, 293 (1934).

dafür angesehen werden, daß nur die Horizontalkomponente der langen Wellen die Seismometer in Bewegung setzt. Alle weiteren Rechnungen und Folgerungen hinsichtlich der Neigungswellen werden jedoch, wie in den nächsten Kapiteln gezeigt wird, nicht bestätigt.

3. Die Voraussetzungen für einen direkten Nachweis der bei langen Wellen auftretenden Bodenreibungen. Hierfür sind besonders zwei Punkte zu beachten:

1. Die Einwirkung der Horizontalverschiebungen muß mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. D. h. das Verhältnis $\varepsilon_n/\varepsilon_v$ muß so groß als möglich gewählt werden.

2. Da die langen Oberflächenwellen in der Richtung vom Herd zum Instrument in einer langgestreckten Front ankommen, ist die Amplitude der Neigungen mit dem \cos des Azimuts des Herdes gegen die Schwingungsrichtung des Balkens gemessen zu multiplizieren.

Für eine einwandfreie Beobachtung ist daher die Aufstellung von zwei zueinander senkrecht schwingenden Klinographen erforderlich.

In dem Beispiel S. 356, auf das die Aussagen von Schlüter gestützt wurden, lag der Herd in der Yakutat Bay in Alaska mit einem Azimut von etwa 74.5° , gegen den in Ost-West-Richtung schwingenden Klinograph gemessen. Hierdurch werden die zu erwartenden Werte schon um den Faktor 0.27 kleiner, als angenommen ist.

Zu 1. Das Verhältnis lautet im Falle eines Klinographen

$$\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_v} = \left(\frac{k^2 + d^2}{d} + \frac{g \cdot T^2}{(2\pi)^2} \right) \cdot \frac{A}{B}$$

Die Astasierungskraft tritt hierin nicht auf. Die Einwirkung des Krümmungsradius steckt indirekt in der Größe von d . Wenn die bei Stationsberichten meist gebrauchten Maße μ und sec statt cm und Bogenmaß verwendet werden, so ist zu schreiben

$$\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_v} = \left(\frac{k^2 + d^2}{d} + \frac{g \cdot T^2}{(2\pi)^2} \right) \cdot \frac{1}{20.6} \cdot \frac{A''}{B_{(\mu)}} \dots \dots \dots (8)$$

Das nach den entsprechenden Berechnungen von K. Jung*) zu ermittelnde Verhältnis würde für ein Horizontalpendel lauten

$$\left(\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_v} \right)_{\text{Horiz.}} = \frac{g \cdot T^2}{(2\pi)^2} \cdot \frac{1}{20.6} \cdot \frac{A''}{B_{(\mu)}}$$

Der Vorteil des Klinographen vor dem Horizontalpendel liegt in dem Glied $\frac{k^2 + d^2}{d}$. Dieses gibt (gegenüber den nicht willkürlich wählbaren Faktoren

bei dem Horizontalpendel) die Möglichkeit zu einer den Anforderungen entsprechenden Wahl der Apparatkonstanten. Hierfür ist die Berechnung der Einwirkung des Schneideradius nicht zu umgehen gewesen.

*) Wien-Harms, Handb. d. Experimentalphysik XXV, 2, S. 332.

Ohne Kenntnis dieser Wirkung war Schlüter bemüht, das Ziel durch Hochlegen des Schwerpunktes, d. h. Erhöhung der Schwingungsdauer (ohne Astasierung) zu erreichen. Auf Grund des Betrages S. 357 von 0.004 cm errechnet sich diese zu etwa 3.5 Minuten. Während infolge der Voraussetzung $\rho = 0.011$ cm nur der einzige Wert von 2.0 Minuten richtig gewesen ist.

Bei der Schwerpunktslage von 0.007 cm oberhalb der Berührungslinie von Schneide und Ebene muß nach der Formel (6) eine Einwirkung der Horizontalkomponente vorhanden gewesen sein. In der Tabelle 1 ist diese entsprechend dem von Schlüter angeführten Beispiel hier (für zwei verschiedene ρ -Werte) zusammengestellt. In der dritten Reihe sind die mit dem Klinograph meßbaren Neigungsausschläge verzeichnet. Ihre Berechnung wird an den folgenden beiden Beispielen für die längsten Wellen erläutert.

Tabelle 1. Zum Vergleich der Einwirkung der Horizontalkomponente mit den reinen Neigungsausschlägen bei dem Klinograph von Schlüter

	$T = 4$	8	10	14	38 sec
Horizontalkomponente, falls $\rho = 0.01 \text{ cm}$	0.0006	0.0007	0.003	0.04	0.2 mm
(Horizontalkomponente, falls $\rho = 0.05 \text{ cm}$)	0.004	0.005	0.02	0.24	1.2 „)
Neigungsausschlag in beiden Fällen . . .	0.001	0.001	0.003	0.01	0.02 „)

Unter der Voraussetzung einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit von etwa 3.8 km/sec für Wellen von $T = 38 \text{ sec}$ und der aus den Daten direkt berechneten Vertikalkomponente von 4.5 mm, erhält man eine Maximalneigung von $0.037''$; für $T = 14 \text{ sec}$, $v = 3.2 \text{ km/sec}$ und eine Vertikalkomponente von 0.19 mm eine Maximalneigung von $0.005''$. Unter Berücksichtigung der dynamischen Vergrößerung nach (7) und des Azimuts des Bebenherdes berechnet sich der Ausschlag für die beiden langen Oberflächenwellen dann nur noch zu 0.015 bzw. 0.01 mm auf dem Registrierstreifen. Das sind erheblich kleinere Werte als diejenigen, die sich aus der Einwirkung der Horizontalkomponente ergeben.

C. Welchen Anforderungen muß ein Klinograph genügen, damit die etwa zu erwartenden Neigungen von $0.02''$ bei Wellenperioden von 15 bis 40 sec sicher nachgewiesen werden können?

Hierzu wird zunächst nach der Beziehung (8)

$$\frac{\epsilon_n}{\epsilon_v} = \left(\frac{k^2 + d^2}{d} + \frac{g \cdot T^2}{(2\pi)^2} \right) \cdot \frac{1}{20.6} \cdot \frac{A''}{B_{(\mu)}} \dots \dots \dots (8)$$

ermittelt, mit welcher Sicherheit der Neigungswert ungestört von der Horizontalkomponente erhalten werden kann. Für die Neigung ist ein Nachweis von etwa $\pm 0.001''$ Genauigkeit erforderlich. Die Horizontalverschiebung B kann etwa mit maximal 1 mm abgeschätzt werden. Um diese unerwünschte Überlagerung möglichst auszuschließen, soll die Forderung gestellt werden, daß sie 5 % der Neigungsamplitude nicht überschreitet (d. h. $\epsilon_n/\epsilon_v = 20 : 1$). Mit

diesen Werten ergibt sich nach (8) für den Klammerausdruck eine Mindestforderung von $\frac{20 \cdot 20.6 \cdot 1000}{0.001} \sim 4 \cdot 10^8$. Das zweite Glied in der Klammer mit T^2 hat keinen wesentlichen Einfluß.

Für $k^2 + d^2$ bildet der Wert von etwa $5 \cdot 10^3$ bei 2 m Gesamtlänge des Klinographen schon den erreichbaren Höchstwert. Somit muß der Schwerpunktsabstand d mit einer Sicherheit von mindestens 10^{-5} cm an die Berührungslinie von Schneide und Ebene herangebracht werden. Diese hohe Anforderung kann aus zwei Skalenablesungen mit dem Fernrohr genau genug erreicht werden, so daß der Wert die geforderte Grenze unter den gegebenen Umständen nicht überschreitet. Die Beziehung hierfür liefert die Gleichung

$$\frac{\varphi}{\vartheta} = \frac{\varrho}{\varrho - d} \sim 1 + \frac{d}{\varrho}.$$

Zur praktischen Durchführung wird der Klinograph auf eine mit einer Fußschraube versehenen Platte gestellt. Die Astasierung wird ausgeschaltet. Ein vertikal über oder unter der Schneide befindliches Laufgewicht wird solange verstellt, bis der Winkel der Plattendrehung ϑ mit dem Winkel der Klinographendrehung φ gleich ist. Schon bei Drehungen um 1 bis 2^0 kann durch Feinverstellung erreicht werden, daß das Verhältnis der Winkel bis auf $1^0/_{00}$ Genauigkeit gleich 1 wird. Wenn die Schneide einen Radius von 0.01 cm besitzt, so erhält man den oben geforderten Grenzwert für $d = \pm 0.00001$ cm. Eine Verkleinerung von ϱ würde zwar diese Einstellung etwas leichter machen, erweist sich aber wegen der damit verbundenen notwendigen Massenverringerng des Klinographenbalkens auf Grund der Ausführungen im folgenden Kapitel als unzweckmäßig.

D. Äußere Einflüsse

1. *Das Spiegelsystem und die Vergrößerung.* Schon bei der 153fachen Vergrößerung durch das Spiegelsystem in den Versuchen von Schlüter lagen infolge der ungünstigen Wahl der Abmessungen weitere störende Einflüsse, die wesentlich höher als die gesuchten Neigungsbeträge waren. Diese lassen sich auch bei 1000facher Vergrößerung unter Beachtung der folgenden Angaben vermeiden.

Außer den bereits erläuterten Buchstaben werden hier verwendet: m die Masse des Registrierspiegelsystems ($= 27.7$ g bei dem Versuch von Schlüter), b der Abstand des Schwerpunktes dieses Systems von der festen Drehachse ($= 0.005$ cm), $l_0 : l$ das Verhältnis der beiden Hebelarme Klinographenbalken : Spiegelsystem ($= 153$) $\cdot \varrho_2$ der Krümmungsradius der festen Spiegelspitze, ϱ_1 von der beweglichen ist in der betreffenden Formel gegen die wesentlich größere Länge l zu vernachlässigen. h ist der noch zu berechnende Abstand des Schwerpunktes des Spiegelsystems von der Verbindungslinie der beiden Drehachsen (nach oben positiv).

2. *Erklärung der hohen Astasierung.* Falls h über oder unter der Drehachsenverbindungslinie liegt, treten mit dem Winkel wachsende Drehmomente auf, durch die sich direkt folgende Größe für die Astasierung berechnen läßt:

$$\frac{F}{M \cdot g} = (\varrho_2 - h) \cdot \left(\frac{l_0}{l}\right)^2 \cdot \frac{m}{M}.$$

Um den früher für die Astasierung ermittelten Betrag von 0.47 cm zu erklären, ist für $\varrho_2 - h$ nur die geringe Verlagerung des Schwerpunktes um 0.011 cm erforderlich gewesen! Gemäß der abgeleiteten Beziehung ist es möglich, diesen durch Annäherung von h an ϱ_2 erheblich kleiner zu machen. Eine Festlegung des Wertes von h , die auch dieser Anforderung genügt, wird jedoch erst durch die folgende Ableitung gegeben. In der dann noch frei bleibenden Wahl des Wertes von ϱ_2 hat man die Möglichkeit, die Astasierungskraft und damit die Schwingungsdauer zu verändern.

3. *Die Einwirkung horizontaler Beschleunigung,* die durch das Spiegelsystem noch hineingetragen wird, kann nur dann unwirksam sein, wenn die hierdurch an dem Balkenende hervorgerufene Kraft X_2 nicht größer als die bereits für den Klinograph allein festgelegte Kraft X_1 ist. (Die Möglichkeit, in beiden Fällen größere Kräfte zuzulassen, die sich theoretisch bei entsprechender Anordnung kompensieren können, soll wegen der praktischen Undurchführbarkeit nicht behandelt werden.) Die Ableitung führt dann zu der Bedingung

$$1 \leq \frac{X_1}{X_2} = \frac{M}{m} \cdot \frac{l}{l_0} \cdot \frac{d}{h}.$$

Diese Beziehung gilt streng nur, wenn beide Hebelarme l_0 und l in der gleichen Richtung liegen. Falls sie rechtwinklig zueinander stehen (wie bei Schlüter), gilt sie als angenäherte Abschätzung insofern, als die Maximalbeträge der beiden horizontalen Komponenten gleich groß angenommen werden dürfen.

Werden die aufgeführten Werte des Klinographen eingesetzt, so ist der für h zulässige Höchstwert hier nur: $3.5 \cdot d$. Daher muß dieses kleine Spiegelsystem, falls die Abmessungen nicht günstiger gewählt werden können, genau so sorgfältig eingestellt werden, wie es etwa für den Hauptbalken vorher erläutert worden ist. Andernfalls tritt, wie in diesem Beispiel, eine Einwirkung der zum Balken senkrechten Komponente und damit die bereits erwähnte Möglichkeit zu einer Interferenz beider auf. Hiermit würde erklärt werden können, daß die in der Tabelle 1 berechneten Registrierausschläge zum Teil kompensiert worden sind.

4. *Die Einwirkung vertikaler Beschleunigung.* Der Schwerpunkt des Klinographen muß zur Kompensation des an dem entgegengesetzten Hebelarm angreifenden Spiegelsystems seitlich von der Mittelschneide gelegen haben (im Beispiel: 0.0014 cm). Die hierdurch auf den Balken wirkenden vertikalen Kräfte heben sich mit den entgegengesetzt gerichteten und immer gleich großen Momenten des Spiegelsystems, wie die Rechnung zeigt, genau heraus. Hierdurch können daher keine Störungen auftreten.

5. Die Bemühungen von Galitzin um den Nachweis der Neigungswellen führten aus dem gleichen Grund zu denselben Schwierigkeiten wie bei Schlüter, was sehr deutlich in der Abhandlung*) auf S. 198 zum Ausdruck kommt. Die Unsicherheit in der Klinographeneinstellung, für die bei Schlüter auf S. 427 eine Andeutung zu finden ist, wird in einer kurzen Bemerkung von E. Wiechert**) erwähnt. Demzufolge wurde, da die hier abgeleitete Vorschrift für die Einstellung des Klinographen nicht bekannt war, der Schwerpunkt des Balkens solange verschoben, bis auf den Registrierungen keine Ausschläge mehr auftraten! Da das, außer durch die richtige Einstellung, ebensogut durch irgendeine Kompensation erreicht worden sein konnte, erfährt die Beweiskraft der damaligen Registrierungen eine nicht unerhebliche Einschränkung.

E. Der Vorteil der galvanometrischen Registrierung

Die Schwierigkeiten, die bei einer mechanischen Hebelübersetzung auftreten, fallen bei der schon von Galitzin hierfür verwendeten galvanometrischen Registrierung fort. Da bei der Anwendung von den gleichen Voraussetzungen wie bei Schlüter ausgegangen wurde, muß die dort versuchte indirekte Ableitung der galvanometrischen Bewegungsgleichung unter dem neuen Gesichtspunkt berichtigt werden. Für die Neigungsamplitude A und die durch das Galvanometer vergrößert wiedergegebene Winkelbewegung $(\varepsilon)_{\text{galv.}}$ wird folgende Beziehung unter den neuen Voraussetzungen abgeleitet:

$$(\varepsilon)_{\text{galv.}} = A \cdot \frac{k_g \cdot T_0}{2\pi} \cdot \left(1 + \frac{d}{\rho - d + \frac{F}{M \cdot g}} \cdot u^2 \right) \cdot \frac{u}{(1 + u^2)^2}.$$

Hierin bedeutet, außer den bereits erklärten Bezeichnungen, k_g den von Galitzin eingeführten Übertragungsfaktor und u das Verhältnis T/T_0 . Die Tabelle 2 zeigt, daß sich bereits bei einer Wahl $k_g = 100$ und $T_0 = 25$ sec die für den Nachweis erforderliche Vergrößerung erreichen läßt.

Tabelle 2. Vergrößerung bei galvanometrischer Registrierung. $k_g = 100$, $T_0 = 25$ sec

T (sec):	10	15	20	25	30	35	40
Vergrößerung	1180	1950	2380	2500	2410	2240	2020

Mit den vorliegenden Ausführungen werden die rechnerischen Vorbereitungen abgeschlossen, durch welche für die Seismik neue, instrumentell gesicherte Meßergebnisse in Aussicht gestellt werden können, falls die hierfür erforderlichen Mittel zu einer experimentellen Durchführung zur Verfügung stehen.

*) B. Galitzin: Über die Methoden zur Beobachtung von Neigungswellen. Sonderdruck, St. Petersburg 1905, S. 134—144.

**) E. Wiechert: „Das Institut für Geophysik der Universität Göttingen.“ Sonderdruck aus der Festschrift 1906. Verlag Teubner, Leipzig.

Zusammenfassung. Es wird nachgewiesen, daß die Voraussetzungen, welche von W. Schlüter den Registrierungen mit dem Klinographen zugrunde gelegt worden waren, nicht zutreffen. Der Schwerpunkt wurde nicht, wie zu fordern gewesen ist, genau in den Berührungspunkt von Schneide und Ebene, sondern ohne Berücksichtigung der Schneidenkrümmung darüber verlegt. Hierdurch traten Einflüsse der Horizontalkomponente auf, die fünf bis zehnmal größer waren als die zu erwartenden Neigungsausschläge. Da auch die Aufhängung des Spiegelsystems nicht günstig gewählt war und außerdem bei der Berechnung der Intensität der Oberflächenwellen das Azimut, bezogen auf den Kinographenbalken, nicht berücksichtigt ist, sind die Ableitungen neu durchgeführt worden. Unter Beachtung aller auf den Balken und das Spiegelsystem einwirkenden Kräfte werden die Bedingungen genau formuliert, die zu erfüllen sind, um die Boden- neigungen bei Erdbebenwellen unabhängig von Störungen mit der erforderlichen Sicherheit von etwa 0.001 Winkelsekunde zu messen. Der erbrachte Nachweis, daß die Bewegung der Seismographen hauptsächlich durch Horizontalver- schiebungen und nicht durch Neigungsänderungen verursacht wird, bleibt durch die neuen Rechnungen unberührt.

Jena, August 1935.

Verhalten der Luftdämpfung und Bestimmung des Dämpfungs- grades bei Seismographen und Erschütterungsmessern

Von Kurt Werner, Göttingen — (Mit 12 Abbildungen)

Ein ungedämpfter Seismograph gibt die Zeit des ersten Einsatzes einer Boden- erschütterung richtig wieder. Die Aufzeichnung des weiteren Verlaufs der Be- wegung wird dadurch beeinträchtigt, daß der Apparat seine eigene Schwingung der erzwingenden Bodenbewegung überlagert. Erst durch Einführung einer Dämpfung ist die Möglichkeit gegeben, die wahre Form der Bodenbewegung in einfacher Weise aus dem Seismogramm abzuleiten.

Das Wort „Dämpfung“ wird in mehrfachem Sinne verwendet. Um Un- klarheiten vorzubeugen, seien die verschiedenen Bedeutungen, wie sie im folgenden gebraucht werden, kurz erläutert. 1. Als physikalischer Begriff bezeichnet „Dämpfung“ in der allgemeinsten Bedeutung die Erscheinung des Abklingens einer Bewegung infolge der Energiezerstreuung im Sinne des „zweiten Hauptsatzes“. 2. Als Teil eines Instrumentes hat die Dämpfung die Aufgabe, durch wirksam geleitete Energievernichtung unerwünschte Bewegungen abzuschwächen. Ins- besondere am Registrierinstrument ist die Dämpfungsvorrichtung dazu da, Eigen- schwingungen zu unterdrücken, damit die Aufzeichnung des Bewegungsvorgangs nicht entstellt wird. 3. Mathematische Fassung findet der Dämpfungsvorgang in den Dämpfungsgliedern der Bewegungsgleichung. Diese mathematischen Aus- drücke werden mitunter kurz „Dämpfung“ genannt. 4. Für eine der Geschwindig-