

## Werk

**Jahr:** 1937

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:13

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

**Werk Id:** PPN101433392X\_0013

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0013](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0013)

**LOG Id:** LOG\_0045

**LOG Titel:** Ein neuer mechanischer Beschleunigungsmesser

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Ein neuer mechanischer Beschleunigungsmesser\*)

Von **H. Martin**, Jena. — (Mit 10 Abbildungen)

Es wird ein neuer mechanischer Beschleunigungsmesser beschrieben, der auf einem Schütteltisch eigener Konstruktion geprüft wurde. Einige Ergebnisse, die mit dem Beschleunigungsmesser gewonnen wurden, werden mitgeteilt.

*Inhalt.* Einleitung. — Der Schütteltisch. — Der Beschleunigungsmesser. — Die Dämpfung. — Ergebnisse.

*Einleitung.* Zum Zwecke der Beurteilung von Verkehrserschütterungen hat es sich als notwendig erwiesen, einen leistungsfähigen Beschleunigungsmesser zu besitzen, dessen Ausschläge in einem großen Bereiche direkt proportional der Beschleunigung sind.

In der Theorie der Aufzeichnung von Schwingungen unter Verwendung einer trägen Masse gilt in jedem Falle als Ausgangsgleichung bei einer statischen Vergrößerung  $V$  im dimensionslosen Zeitmaßstab die Gleichung

$$\frac{d^2 \xi}{d\tau^2} + 2\alpha \cdot \frac{d\xi}{d\tau} + \xi = -V \cdot \frac{d^2 x}{d\tau^2}.$$

Überwiegt das erste Glied, so haben wir es mit einem Schwingwegmesser zu tun, d. h. die Aufzeichnung entspricht einschließlich des Einschwingvorganges im wesentlichen der erregenden Schwingung (Bodenbewegung).

Ist die Dämpfung überaperiodisch, so bestimmt das zweite Glied den Charakter der Aufzeichnung. Die aufgezeichnete Kurve entspricht der Geschwindigkeit der Bodenbewegung. Rein mechanische Geschwindigkeitsmesser haben bis jetzt allein mit großem Erfolg die Japaner gebaut\*\*).

Besitzt aber das verwendete Instrument eine sehr hohe Eigenfrequenz, so haben wir es mit einem Beschleunigungsmesser zu tun. Rein mechanische Beschleunigungsmesser sind ebenfalls allein mit bestem Erfolge von den Japanern zur Registrierung von Nahbeben verwendet worden\*\*\*), wenn man von einem Versuche von Langer†) absieht, von dessen Apparat nur durch einen ganz

---

\*) Teilweise vorgetragen auf der Tagung des Gauvereins Sachsen—Thüringen—Schlesien der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Jena am 5. und 6. Juni 1937.

\*\* ) T. Hagiwara: Bull. Earthqu. Res. Inst. **12**, 776—787 (1934); **13**, 138—145 (1935).

\*\*\* ) Zusammenfassung des Schrifttums bei H. Kawasumi u. Z. Kinoshita: Bull. Earthqu. Res. Inst. **14**, 339—353 (1936).

† ) P. Langer, Zeitschr. VDI **70**, 145—148 (1926).

kurzen Hinweis etwas bekannt geworden ist. Die japanischen Beschleunigungsmesser mit einer Eigenschwingungszahl von  $n_0 = 8.5$  Hertz genügen für die Aufzeichnung von Erdbeben, aber nicht für eine solche von Verkehrserschütterungen. Abgesehen von Höchstbeschleunigungsmessern [Grunmach\*), Langer-Thomé\*\*), Sell und Turetschek\*\*\*)] wurden bis jetzt zur Messung von Verkehrserschütterungen allein Kohledruck- oder Piezoquarzbeschleunigungsmesser unter Verwendung eines Registrierinstrumentes (Galvanometer oder Oszillograph) benutzt. Dabei geht weiterhin die Frequenzcharakteristik des Registrierinstrumentes ein. Diese Tatsache kann man andererseits zur Ausiebung bestimmter Frequenzbereiche benutzen, worauf O. Meißer†) hingewiesen hat.

Von G. Gerloff††) stammt ein neues Meßprinzip. Er zeichnet die Widerstandsänderungen von Drähten auf. An diesen hängt die Masse, und sie erleiden entsprechend der wirksamen Beschleunigung Längenänderungen. Die Aufzeichnung erfolgt oszillographisch. Jedoch ist durch die Angabe zweier nicht sinusförmiger Eichfrequenzen eine frequenzunabhängige Beschleunigungsaufzeichnung noch nicht nachgewiesen.

Im folgenden soll ein rein mechanischer Beschleunigungsmesser für die Messung von Verkehrserschütterungen beschrieben werden, dessen Schwingweiten im Bereiche von 10 bis etwa 100 Hertz direkt proportional der Beschleunigung sind.

Ein Beschleunigungsmesser ist ein Schwingungsmesser. Infolgedessen gelten auch für ihn die Resonanzverhältnisse eines Schwingungsmessers. Danach berechnet sich die dynamische Vergrößerung nach der Formel

$$\begin{aligned} \text{dynamische Vergrößerung} &= \frac{V \cdot C \cdot \kappa^2}{\sqrt{(1 - \kappa^2)^2 + 4 \alpha^2 \kappa^2}} \dots \dots \dots (1) \\ &= B = \text{Ausschlag der Aufzeichnung des Beschleunigungsmessers,} \end{aligned}$$

worin  $\kappa = \frac{n}{n_0}$  und  $C$  die Schwingweite der erregenden Schwingung ist. Andererseits ist die maximale Beschleunigung einer sinusförmigen Bewegung gegeben durch

$$\text{max. Beschleunigung } b = 4 \pi^2 \cdot C \cdot n^2. \dots \dots \dots (2)$$

Unter Vereinigung von (1) und (2) erhalten wir

$$b = \text{const} \cdot B \cdot \sqrt{(1 - \kappa^2)^2 + 4 \alpha^2 \kappa^2} \dots \dots \dots (3)$$

---

\*) L. Grunmach: Physikal. Zeitschr. **10**, 853—859 (1909).  
 \*\*) Langer u. Thomé: Zeitschr. VDI **72**, 1561—1568 (1928).  
 \*\*\*) H. Sell u. Turetschek: Zeitschr. f. techn. Phys. **15**, 644—652 (1934).  
 †) O. Meißer: Physikal. Zeitschr. **38**, 668—671 (1937).  
 ††) G. Gerloff: Forschung **8**, 143—152 (1937).

Im Falle einer sehr hohen Eigenfrequenz des Beschleunigungsmessers ( $n_0 \gg n$ ) und einer sehr kleinen Dämpfung ( $\alpha = 0$ ) wird (3)

$$b = \text{const} \cdot B,$$

d. h. der aufgezeichnete Ausschlag des Beschleunigungsmessers ist direkt proportional der Beschleunigung.

Wie die Verhältnisse allgemein bei verschiedenem  $z$  und  $\alpha$  liegen, darüber gibt Fig. 1 Auskunft, in welcher  $1/R_f = \sqrt{(1-z^2)^2 + 4\alpha^2 z^2}$  in Abhängigkeit  $z$  und  $\alpha$  als Parameter gezeichnet worden ist. Danach muß ein Beschleunigungsmesser, dessen Ausschläge im Bereich von 10 bis 80 Hertz bei einem Fehler von 10% proportional der Beschleunigung sein sollen z. B. im ungedämpften Zustande eine Eigenfrequenz von

$$\frac{80}{0.45} = 175 \text{ Hertz}$$

oder eine Eigenfrequenz von  $n_0 = 100$  Hertz bei einer Dämpfung von  $\alpha = 0.5$  haben.

Ein Beschleunigungsmesser, der den genannten Anforderungen genügt, ist vom Verf. gebaut und

untersucht worden. Bevor wir jedoch zu diesem selbst übergehen, soll eine Beschreibung des verwendeten Schütteltisches erfolgen, ohne den eine Prüfung des Beschleunigungsmessers nicht hätte erfolgen können.

*Der Schütteltisch.* Zur Prüfung des Beschleunigungsmessers war ein Schütteltisch notwendig, um die Frequenzcharakteristik aufnehmen zu können. Es wurden viele vergebliche Versuche angestellt, um einen Schütteltisch für horizontale Bewegungen zu bekommen, der etwa bis 100 Hertz frei von störenden Schwingungen war. Darunter fallen allerdings nicht die Resonanzschwingungen in der Grundfrequenz, weil diese bei einer Registrierung der Tischbewegung voll erfaßt werden können. Alle Anforderungen erfüllte schließlich folgende überaus einfache Anordnung. Im Abstand von etwa 15 cm wurden zwei Balken quadratischen Querschnittes ( $4 \times 4$  cm) fest verbunden, auf zwei Rollen beweglich gelagert und

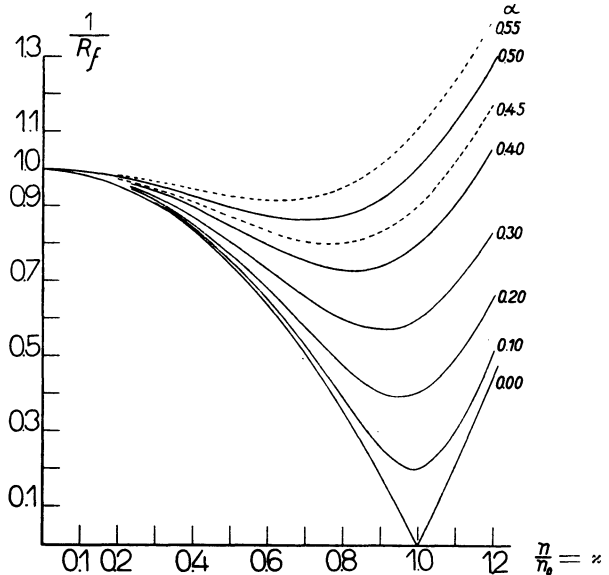


Fig. 1. Abhängigkeit des Resonanzfaktors  $R_f$  von  $z$  und  $\alpha$  beim mechanischen Beschleunigungsmesser

an beiden Enden unter Verwendung von Schwammgummi eingeklemmt. Die Rollen lagen direkt auf dem Linoleum, welches dem Betonfußboden des Institutes aufgelegt war. Der zu untersuchende Apparat wurde auf dem Schütteltisch aufgestellt und die Bewegung des Tisches gleichzeitig mitregistriert.

Um dem Tisch möglichst reine horizontale Bewegungen zu übertragen, wurde folgende Erregungsmöglichkeit benutzt. Zwischen zwei starken Federn (siehe

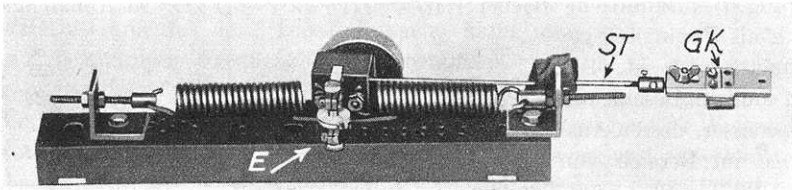


Fig. 2. Erregungsmechanismus

Fig. 2) war ein Rad mit einem exzentrischen Gewicht *E* befestigt, welches durch einen schnellaufenden Motor gedreht werden konnte. Zur Übertragung der Schwingungen auf den Schütteltisch wurden Stäbe *St* verschiedenen Materials und verschiedener Stärke und eine Gummibandkupplung *GK* in Anwendung gebracht. Schütteltisch und Erregung ergaben ein gekoppeltes System, dessen Resonanzkurve aus Kurve I in Fig. 6 ersichtlich ist. Für langsamere Schwin-

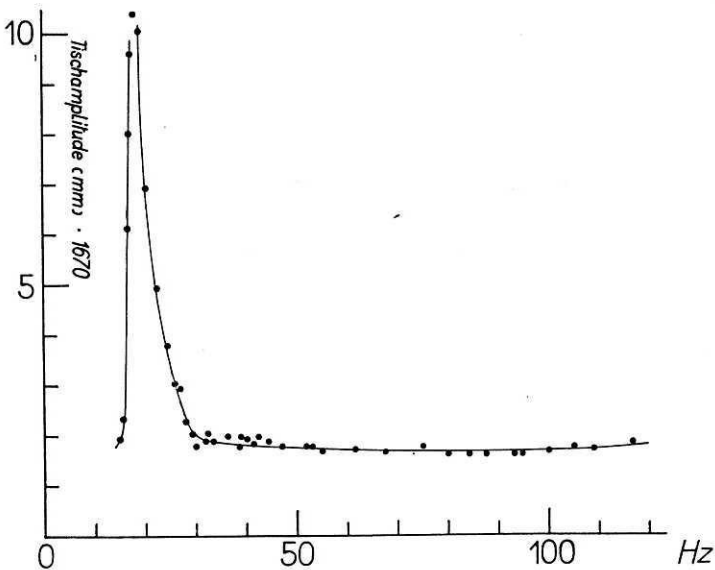


Fig. 3. Resonanzkurve eines neuen horizontalen Schütteltisches, aufgenommen von Dr. A. Herrmann

gungen erfolgte die Erregung auch noch mit Hilfe eines Uhrwerkes, dessen schnellstem Rad ein exzentrisches Gewicht aufgesetzt war. Für ganz langsame Schwingungen (3 bis 10 Hertz) fand eine große Masse zwischen zwei Spiralfedern Verwendung. Im letzten Falle wurden entweder abklingende Schwingungen oder stationäre Schwingungen verwendet, die sich nach dem Wagnerschen Hammerprinzip selbst erregten und den Vorteil einer Schwingweiteregulierung boten.

Herr Dr. Herrmann erhielt mit einem Schütteltisch der gleichen Bauart die in Fig. 3 abgebildete Resonanzkurve. Dabei lag der Tisch frei auf den Rollen, und das Rad mit dem exzentrischen Gewicht war direkt an dem Tisch befestigt. In diesem Falle werden an einen sauberen Lauf des Rades große Anforderungen gestellt.

*Der Beschleunigungsmesser.* Der Beschleunigungsmesser zur Messung horizontaler Beschleunigungen ist in Fig. 4 im Aufriß dargestellt. Dabei ist die Dämpfung weggelassen. Allein durch eine Verkürzung und Verstärkung der Federn ist in diesem Falle ein Schwingwegmesser in einen Beschleunigungsmesser zu verwandeln. Es ist geplant, auf gleichem Prinzip auch noch einen Geschwindigkeitsmesser herzustellen. Über die erfolgreiche Verwendung des Schwingwegmessers, der bereits schon kurz erwähnt worden ist\*), soll an anderer Stelle ausführlich berichtet werden. Beim Beschleunigungsmesser betrug die Masse  $M$  etwa ein Kilogramm. Die Federn  $F$  hatten eine Breite von 20 mm und eine Stärke von 0.2 mm. Der Stahldraht  $D$  übertrug die Bewegungen der Masse auf die Spiegelachse  $Sp$ . Bei einem Achsendurchmesser von 1 mm und einer Registrierentfernung von 1 m ergab sich eine statische Vergrößerung von 4000\*\*). Für einen großen Frequenzbereich ist die Änderung proportional der Federlänge, während sie mit abnehmendem Gewicht in einem mittleren Bereiche quadratisch ansteigt.

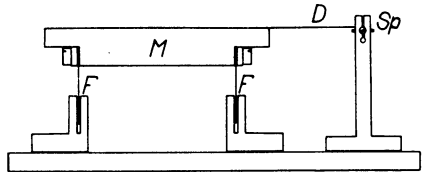


Fig. 4. Schematische Darstellung des mechanischen Beschleunigungsmessers

*Die Dämpfung.* Zur notwendigen Dämpfung der Eigenschwingungen des Beschleunigungsmessers kam eine Öldämpfung nicht in Frage, weil eine solche nicht wirksam genug gemacht werden konnte. Deshalb wurde zunächst Staufferfett verwendet. Parallel zu der Masse wurden zwei in ihrem Abstand von der Masse  $M$  veränderliche Platten angebracht. Der Zwischenraum wurde mit Staufferfett ausgefüllt. Die Eichkurven für den ungedämpften (I) und schwach gedämpften Beschleunigungsmesser (II) stellt Fig. 5 dar. Dabei betrug die Eigenfrequenz

\*) H. Martin: Veröffentl. d. Reichsanstalt f. Erdbebenforsch. Heft 26. Jena 1935.

\*\*\*) Diese Vergrößerung fand erst zuletzt Verwendung. Deshalb unterscheiden sich in den Fig. 5 bis 7 die Empfindlichkeiten.

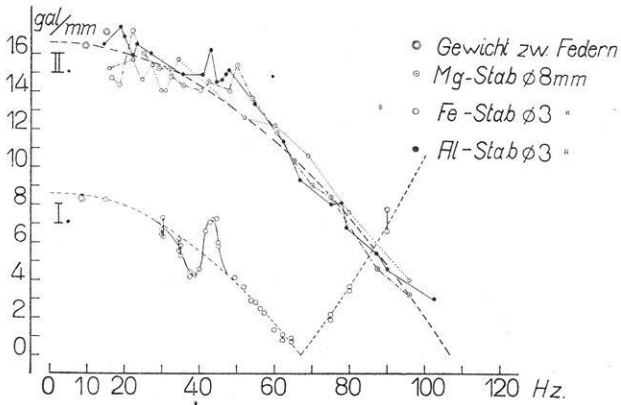


Fig. 5. Eichkurven des Beschleunigungsmessers unter Verwendung von Staufferfett als Dämpfungsmittel

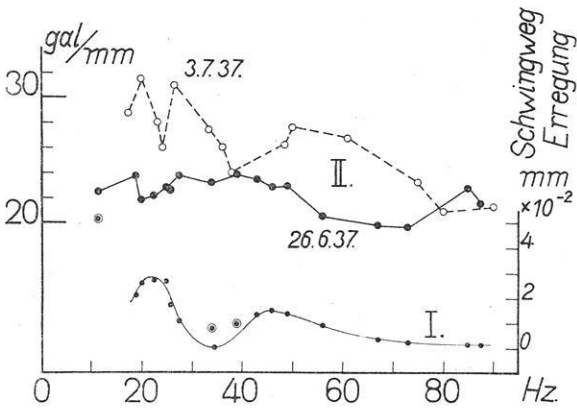


Fig. 6. Resonanzkurve des Schütteltisches (I) und Veränderlichkeit der reziproken Empfindlichkeit des Beschleunigungsmessers, veranlaßt durch das Staufferfett (II)

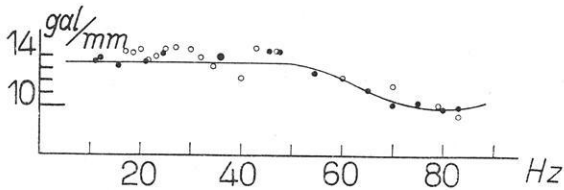


Fig. 7. Eichkurve des Beschleunigungsmessers unter Verwendung von Schwammgummi

des ungedämpften Beschleunigungsmessers 67 Hertz. In Fig. 5 wurde als Ordinate die reziproke Empfindlichkeit (gal/mm) des Beschleunigungsmessers und als Abszisse die Frequenz aufgetragen. Zur Bestimmung der Empfindlichkeit wurden die gemessenen Schwingweiten der Schütteltischbewegung benutzt. Die mit Hilfe des Schütteltisches ermittelten Empfindlichkeitscharakteristiken zwischen 10 und 100 Hertz stellt Fig. 5 dar. Dabei sind die Meßpunkte als solche eingetragen, während die gestrichelten Kurven den theoretischen Verlauf anzeigen sollen. Die gemessenen Werte der Kurve I zeigen eine störende Resonanzstelle.

Durch Verwendung von Staufferfett als Dämpfungsmittel wurde zunächst nicht eine wirksame Dämpfung erreicht, sondern es wurde in erster Linie eine Verringerung der wirksamen Masse und damit eine Erhöhung der Eigenfrequenz und Abnahme der reziproken Empfindlichkeit bewirkt. Dies ist aus Kurve (II) in Fig. 5 sehr schön zu ersehen. Die drei Kurven (II) sind dadurch entstanden, daß die schon erwähnte Übertragung der Schwingungen auf den Schütteltisch durch Stäbe verschiedener Elastizität erfolgte.

Von der Benutzung von Staufferfett zu Dämpfungszwecken wurde jedoch bald abgesehen, weil die Reproduzierbarkeit der Empfindlichkeitswerte zu wünschen übrig ließ und sich die Empfindlichkeit im Verlaufe kurzer Zeitspannen beträchtlich änderte. Dies zeigen die beiden Kurven (II) in Fig. 6. Daß keinerlei Zusammenhänge mit verschiedenen Schwingweiten des Schütteltisches bestehen, geht ebenfalls aus Fig. 6 hervor, in welcher die untere Kurve (I) die Schwingweiten des Tisches darstellt. Dabei gehören gleichgezeichnete Kurven zu demselben Versuch. Bei den durch  $\odot$  bezeichneten Werten fand die Erregung nicht durch das exzentrische Gewicht mit Motorantrieb statt.

Die Verwendung von Schwammgummi, welcher zwischen die Masse  $M$  des Beschleunigungsmessers und die erwähnten Backen gebracht wurde, führte zu befriedigenden Versuchsergebnissen, wie das Fig. 7 zeigt. Dabei bedeuten die verschieden gezeichneten Meßpunkte die an verschiedenen Tagen ermittelten Werte. Allerdings ist die Dämpfung noch nicht ganz  $\alpha = 0.5$ .

*Ergebnisse.* Zum Schluß seien noch einige Ergebnisse mitgeteilt. In den Fig. 8 bis 10 sind Parallelregistrierungen von Schwingwegmesser- und Beschleunigungsmesserkurven abgebildet\*). In Fig. 8 handelt es sich um Bewegungen, die sich aus zwei sinusförmigen Schwingungen zusammensetzen. Dabei betrug die Grundfrequenz etwa 21 Hertz. Zur Registrierung der Beschleunigung wurden zwei vollständig verschiedene Meßprinzipien verwendet, indem auf der einen Seite der mechanische Beschleunigungsmesser und auf der anderen Seite ein Askania-Kohleldruck-Beschleunigungsmesser unter Benutzung eines Zeißschen Schleifengalvanometers stand. Die Verwendung der beiden verschiedenen Meßprinzipien hat sich als äußerst fruchtbar erwiesen. Gleichzeitig registrierte Kurven

---

\*) Die Schwingwegmesserkurve in der Fig. 8a ist bei der Reproduktion teilweise stark entstellt worden.



stellt auch die Fig. 9 dar. Es handelt sich dabei um Einschwingvorgänge einer gekoppelten Schwingung, die mit einer Phasenverschiebung von  $90^{\circ}$  beginnt und abklingt. In Fig. 9a sind nur die Aufzeichnungen der beiden Beschleunigungsmesser wiedergegeben. Hinzuweisen ist dabei auf den Unterschied der Schwingweiten der Oberschwingungen, die sich bei einem Auszeichnungsverhältnis der Grundschwingung von 1.7 wie 1.3, 1.4, 1.3 verhalten. Dieser Unterschied ist

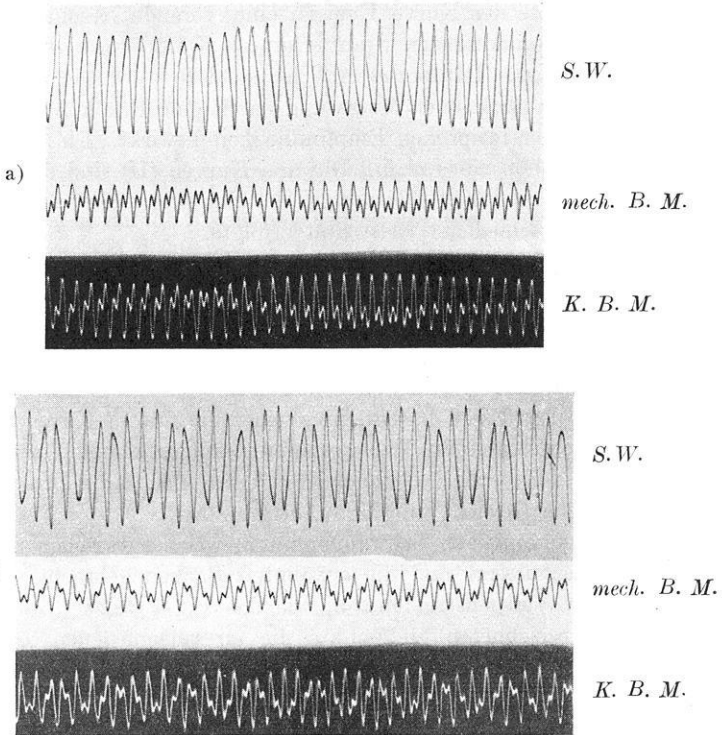


Fig. 8. Gleichzeitige Registrierung von Schwingweg (S.W.) und Beschleunigung unter Verwendung des mechanischen Beschleunigungsmessers (*mech. B.M.*) und eines Askania-Kohledruckbeschleunigungsmessers (*K.B.M.*). Grundfrequenz 20.8 Hertz

durch die Frequenzcharakteristik des Zeißschen Schleifengalvanometers ( $n_0 = 50$  Hertz, aperiodische Dämpfung) bedingt, wodurch die reziproke Empfindlichkeit zwischen 10 und 50 Hertz etwa um 50% abnimmt. In Fig. 9b ist auch die Tischbewegung mit Hilfe eines Schwingwegmessers aufgezeichnet und ein ungedämpfter mechanischer Beschleunigungsmesser verwendet worden.

Zum Schluß sei auf Registrierungen eines vollkommen unperiodisch erregten Vorganges hingewiesen, die Fig. 10 darstellt. Die oberen Kurven sind die Schwingwegkurven und die unteren die Aufzeichnungen des Beschleunigungs-

messers. Als Erregung dienten rollende zusammenstoßende Kugeln. Der Vorgang war reproduzierbar. Die Empfindlichkeit des Beschleunigungsmessers betrug 14 gal/mm, und die Vergrößerung des Schwingwegmessers war 1000fach. Der Zeitmarkenabstand betrug 0.02 sec. Aus Fig. 10a ergibt sich mit Hilfe der Schwing-

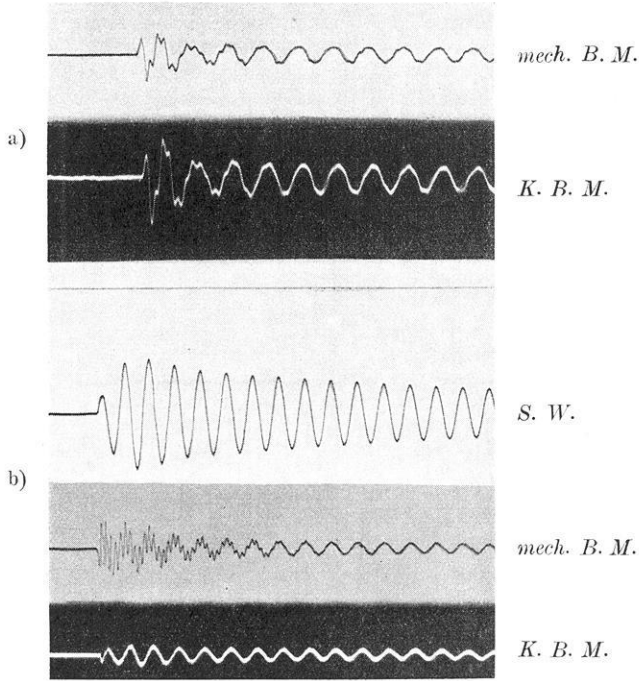


Fig. 9 a. Grundfrequenz 9.4 Hertz. Fig. 9 b. Grundfrequenz 12.5 Hertz. Gleichzeitige Registrierung von Schwingweg (*S. W.*) und Beschleunigung unter Verwendung des mechanischen Beschleunigungsmessers (*mech. B. M.*) und eines Askania-Kohle-druckbeschleunigungsmessers (*K. B. M.*)

wegkurve an der durch einen Pfeil bezeichneten Stelle eine max. Beschleunigung von

$$b = \frac{3.45 \cdot 4 \pi^2 \cdot 20.9 \cdot 20.9}{2 \cdot 1000} = 30.0 \text{ cm/sec}^2.$$

Andererseits erhalten wir direkt aus der Beschleunigungsmesseraufzeichnung

$$B = \frac{5 \cdot 14}{2} = 35 \text{ cm/sec}^2.$$

Aus Fig. 10a ist ersichtlich, daß nach der Aufzeichnung des Beschleunigungsmessers der Vorgang während der in Rechnung gezogenen Halbschwingungszeit nicht ganz sinusförmig verlaufen ist, so daß die Übereinstimmung der

beiden Beschleunigungswerte als gut zu bezeichnen ist. In Fig. 10b ist eine Errechnung der max. Beschleunigung während der Registrierdauer nicht möglich.

Aus der Fig. 10 ist somit als Ergebnis abzuleiten, daß man dann aus einer Schwingwegkurve einwandfreie Beschleunigungswerte ableiten kann, wenn man zur Berechnung eine sinusförmige Halbschwingung zur Verfügung hat.

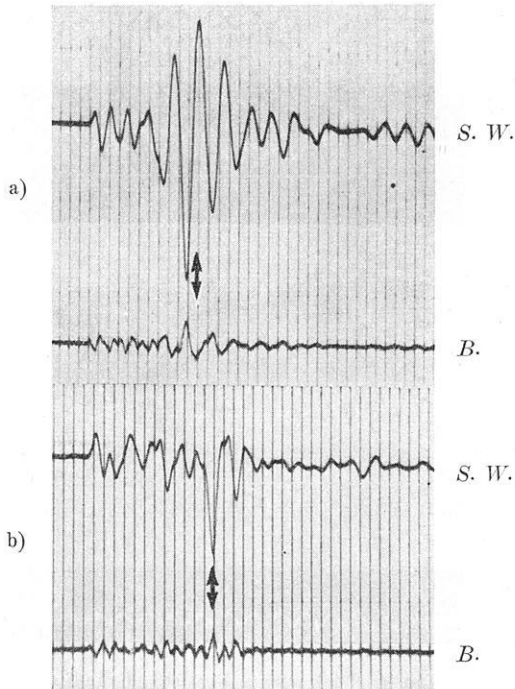


Fig. 10.  
Gleichzeitige Registrierung von Schwingweg (S. W.) und Beschleunigung (B.)  
von nicht-periodischen Vorgängen

Über weitere Ergebnisse, die unter gleichzeitiger Verwendung eines Schwingweg- und eines Beschleunigungsmessers gewonnen worden sind, soll später berichtet werden, zumal der beschriebene Beschleunigungsmesser ohne weiteres für horizontale und vertikale Beschleunigungsmessungen geeignet ist.

Jena, Reichsanstalt für Erdbebenforschung, November 1937.