

Werk

Jahr: 1939

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:15

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0015

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0015

LOG Id: LOG_0058

LOG Titel: Zur Frage Schwingweg-, Geschwindigkeits- oder 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

1919 in der Provinz Florenz (Epizentrum bei Vicchio), am 10. September 1919 in der Provinz Siena (Epizentrum bei Piancastagnaio) und am 7. September 1920 in der Provinz Massa-Carrara (Epizentrum bei Fivizzano) stattfanden. Auch zwischen diesen Beben ereigneten sich innerhalb Italiens keine anderen Stöße von IX oder X⁰ Mercalli. Bei zeitlichen Zwischenräumen von rund 2¹/₂ bis 12 Monaten betragen hier die Entfernungen Vicchio-Siena rund 70 km und Siena-Fivizzano gut 140 km.

Literatur

[1] Zusammenstellung der im Jahre 1896, 1897, . . . 1912 in Bosnien und der Herzegowina stattgefundenen Erdbebenbeobachtungen. Aus den „Ergebnissen der meteorologischen Beobachtungen an den Landesstationen in Bosnien und der Herzegowina im Jahre 1896, 1897, . . . 1912. Wien und Sarajevo.

[2] A. Cavasino: Catalogo dei terremoti disastrosi avvertiti nel Bacino del Mediterraneo dal 1501 al 1929. R. Acc. Naz. dei Lincei, Pubbl. della Com. Ital. per lo studio delle Grandi Calamità Vol. II, Roma 1931, S. 37—60; und *Derselbe*, Note sul Catalogo dei terremoti distruttivi dal 1501 al 1929 etc. Ebenda S. 29—36.

[3] R. v. Mises: Vorlesungen aus dem Gebiete der angewandten Mathematik. Bd. I, Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendung in der Statistik und theoretischen Physik. Leipzig und Wien 1931.

[4] A. Riccò: Epicentri dei terremoti disastrosi dell' Appennino e suoi prolungamenti. Boll. Soc. Sism. Ital. XIX, 35—47 (1915).

[5] E. Tams: Zur Frage der regionalen Verkoppelung von Erdbeben. Zeitschr. f. Geophys. 14, 241—259 (1938).

[6] E. Wanner: Zur Statistik der Erdbeben. I. Gerlands Beitr. z. Geophys. 50, 85—99 (1937).

Hamburg, Hauptstation für Erdbebenforschung.

Zur Frage

Schwingweg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsmesser*)

Von **H. Martin**, Jena. — (Mit 6 Abbildungen)

An einigen Beispielen wird gezeigt, mit welchen Fehlern man bei nichtsinusförmigen Bodenbewegungen zu rechnen hat, wenn man aus einer Schwingwegmessenkurve die Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte berechnet oder wenn man aus einer Beschleunigungsmesseraufzeichnung die Schwingweg- und Geschwindigkeitswerte ermitteln will.

In einer früheren Arbeit [1] habe ich darauf hingewiesen, daß zu einer einwandfreien Beurteilung einer stoßähnlichen Erschütterung und damit einer nicht sinusförmigen Bewegung die gleichzeitigen Aufzeichnungen von einem Schwingweg- und einem Beschleunigungsmesser vorhanden sein müssen. In einer späteren

*) Teilweise vorgetragen auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft in Jena am 20. Oktober 1938.

Arbeit [2] konnte ich die gleichzeitigen Registrierungen eines Stoßes durch die oben genannten Instrumente und damit ihre charakteristischen Unterschiede zeigen. Die folgenden rein theoretischen Betrachtungen sollen erläutern, daß man bei der alleinigen Verwendung von Beschleunigungsmessern unter Umständen sogar zu erheblichen Fehlschlüssen über die Größe der Maximalschwingweiten einer Bewegung kommen kann.

In Fig. 1 sind die gleichzeitigen Aufzeichnungen einer Erschütterung durch einen Horizontalschwingwegmesser (*H*), einen Vertikalschwingwegmesser (*V*) und einen Vertikalpiezoquarzbeschleunigungsmesser *) (*QB*) wiedergegeben. Die Erschütterung rührte her vom Hinterrad (Hinterradachsengewicht 7.5 t) eines über einen 2.5 cm hohen Keil fahrenden Vollgummilastkraftwagens auf der Versuchsstraße in Braunschweig. Der Abstand der Schwingwegmesser von der Erschütterungsquelle betrug 4.65 m und der des Beschleunigungsmessers 4.10 m.

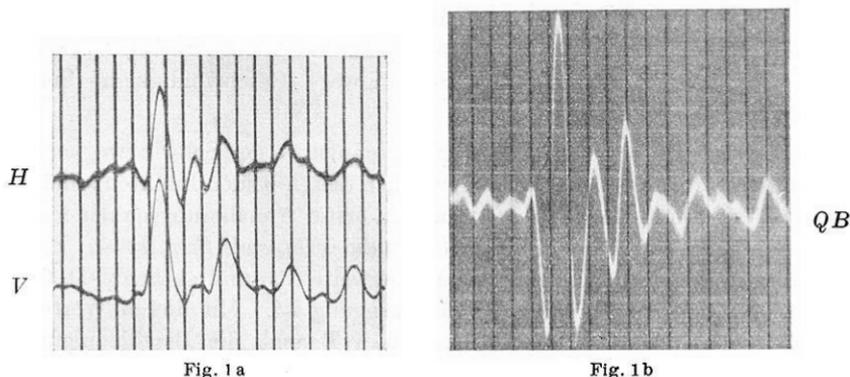


Fig. 1. Aufzeichnung eines Stoßes durch Schwingweg- und Beschleunigungsmesser.
Zeitmarken $\frac{1}{50}$ Sekunde

Die Auswertung der in Fig. 1 wiedergegebenen Vertikalschwingungen ergab folgende Werte:

Vertikalschwingwegmesser:

Gemessen: Schwingweg 13.7 μ , Schwingzahl 25 Hz.

Berechnet: Geschwindigkeit 0.22 cm/sec, Beschleunigung 34 gal.

Beschleunigungsmesser:

Gemessen: Schwingzahl 31.5 Hz, Beschleunigung 49 gal.

Berechnet: Schwingweg 12.5 μ , Geschwindigkeit 0.25 cm/sec.

Dabei wurde die Schwingwegkurve als eine Kurve der Form $x = \left(1 - \cos \frac{2\pi}{T} t\right)$ angenommen, worauf ich noch zu sprechen kommen werde.

*) A. Herrmann: Piezoelektrische Beschleunigungsmesser hoher Empfindlichkeit ohne Verstärker. Veröff. Reichsanstalt für Erdbebenforschung, H. 34, 1938, S. 65.

Das an sich nicht vollbefriedigende Ergebnis der Auswertung von Fig. 1 veranlaßte mich, einmal ganz allgemein auf theoretischem Wege zu prüfen, in welchem Maße Übereinstimmungen der verschiedenen Erschütterungsmessertypen zu erwarten sind.

In Fig. 2 ist die Schwingung

$$\sin \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{5} \sin \frac{4\pi}{T} t$$

als Schwingweg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve gezeichnet worden.

Dabei sind die Kurven $\sin \frac{2\pi}{T} t$ und $\frac{1}{5} \sin \frac{4\pi}{T} t$ samt ihren Ableitungen unterbrochen gezeichnet worden. Es ist dabei wie bei den anderen folgenden Figuren die Schwingweite der Grundschwingung mit eins angenommen. Aus den Zeichnungen wurden die entsprechenden Werte der Weiten und Schwingungsdauern (Schw.-D.) — ich rechne hier mit Schwingungsdauern, weil sich diese unmittelbar aus den Figuren ablesen lassen — entnommen.

Wir betrachten nun einzeln die Schwingweg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve in Fig. 2.

a) *Schwingwegkurve.* Wir fassen den Abschnitt *ac* der Schwingwegkurve ins Auge und nehmen an, daß der Verlauf zwischen diesen beiden Punkten annähernd sinusförmig ist. Diese Annahme kann man in erster Annäherung immer machen, und *auf der Möglichkeit dieser Annahme beruht die vorliegende Betrachtung.* Für den Abschnitt *ac* lesen wir aus Fig. 2 als Schwingweite 1.06 und als Schw.-D. $0.80 T$ ab, wenn T die Schw.-D. der Grundschwingung ist. Mit diesen Werten berechnet man die Geschwindigkeit zu $2.65 \pi/T$ und die Beschleunigung zu $6.63 \pi^2/T^2$.

b) *Geschwindigkeitskurve.* Die Geschwindigkeitskurve ist unsymmetrisch. Nehmen wir an, daß die *Nullinie* bekannt ist, so lesen wir aus dem Kurvenstück *def* für die Geschwindigkeit $2.80 \pi/T$ bei einer Schw.-D. von $0.80 T$ ab. Daraus berechnen wir den Schwingweg zu 1.12 und die Beschleunigung zu $7.00 \pi^2/T^2$. Bei *unbekannter Nullinie* sind aus dem Kurvenstück *ge* unter der Annahme, daß *ge* dem doppelten Geschwindigkeitswerte entspricht, die Werte für die Geschwindigkeit $2.10 \pi/T$ und für die Schw.-D. $0.716 T$. Mit diesen Werten ermittelt man den Schwingweg zu 0.75 und die Beschleunigung zu $5.86 \pi^2/T^2$.

c) *Beschleunigungskurve.* Die Beschleunigungskurve ist symmetrisch. Dies ist gleichbedeutend mit bekannter *Nullinie*. Aus dem Kurventeil *ik* lesen wir als Beschleunigungswert $6.16 \pi^2/T^2$ und als Schwingungsdauer $0.634 T$ ab. Damit erhalten wir für den Schwingweg 0.62 und für die Geschwindigkeit $1.95 \pi/T$.

Der Übersicht halber stellen wir die Werte noch einmal zusammen (Tabelle 1). Dabei sind die dick gedruckten Werte diejenigen Werte, die der Fig. 2 direkt entnommen sind.

Fassen wir die Werte des Schwingwegs und der Beschleunigung ins Auge, so erhalten wir:

Schwingungsdauer gem. $0.80 T$; Schwingweg gem. 1.06 ; Beschleunigung ber. $6.63 \pi^2/T^2$
 Schwingungsdauer gem. $0.634 T$; Schwingweg ber. 0.62 ; Beschleunigung gem. $6.16 \pi^2/T^2$

d. h. die wirkliche Beschleunigung weicht um 7 % von der unter den genannten Annahmen aus der Schwingwegkurve berechneten ab. Andererseits gibt aber die

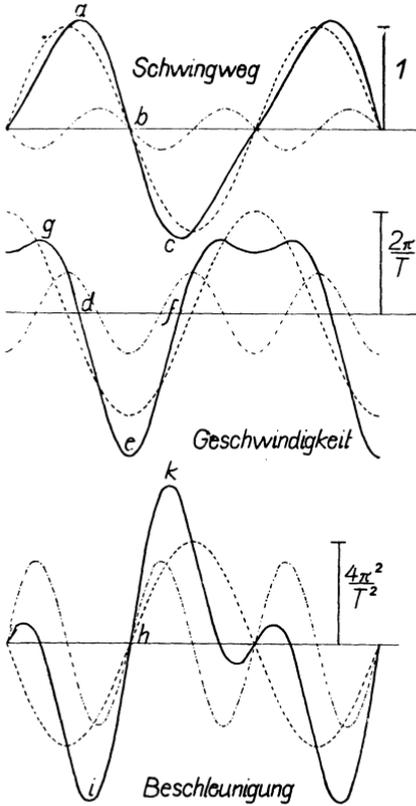


Fig. 2. Schwingweg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve der Schwin-

$$\text{gung } \sin \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{5} \sin \frac{4\pi}{T} t$$

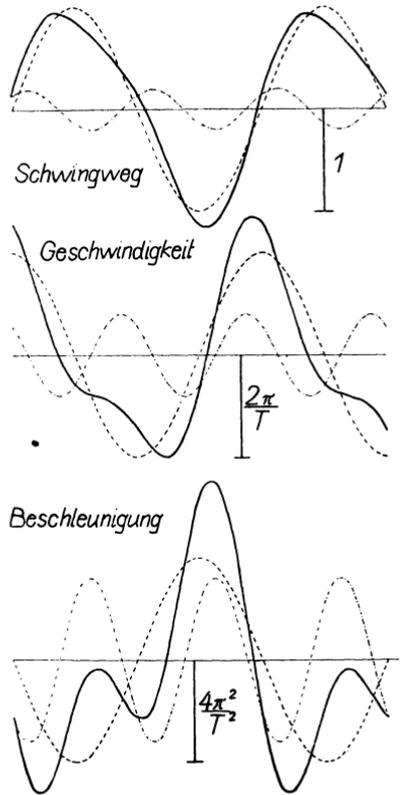


Fig. 3. Schwingweg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve der Schwin-

$$\text{gung } \sin \frac{2\pi}{T} t + \frac{1}{5} \sin \left(\frac{4\pi}{T} t + 45^\circ \right)$$

Beschleunigungskurve Werte für die Schw.-D. und den Schwingweg, die sich um 21 bzw. 41 % vom wahren Werte unterscheiden.

Wir ändern den Kurvenverlauf nur in ganz geringem Maße ab, indem wir der Oberschwingung statt einer Phasenverschiebung von 180° eine solche von 45°

geben. So stellt Fig. 3 die Kurve $\sin \frac{2\pi}{T} t + \frac{1}{5} \sin \left(\frac{4\pi}{T} t + 45^\circ \right)$ dar, wobei wiederum die beiden Schwingungen $\sin \frac{2\pi}{T} t$ und $\frac{1}{5} \sin \frac{4\pi}{T} t$ samt ihren Ableitungen unterbrochen gezeichnet worden sind.

Tabelle 1. Kurve: $\sin \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{5} \sin \frac{4\pi}{T} t$. Fig. 2

| Schwing.-Dauer | Schwingweg | Geschwindigkeit | Beschleunigung | Bemerkungen |
|-----------------------|-------------|---------------------|-------------------------|----------------------|
| 0.80 <i>T</i> | 1.06 | 2.65 π/T | 6.63 π^2/T^2 | symmetrisch |
| 0.80 <i>T</i> | 1.12 | 2.80 π/T | 7.00 π^2/T^2 | bekannte Nulllinie |
| 0.716 <i>T</i> | 0.75 | 2.10 π/T | 5.86 π^2/T^2 | unbekannte Nulllinie |
| 0.634 <i>T</i> | 0.62 | 1.95 π/T | 6.16 π^2/T^2 | symmetrisch |

Entsprechend Tabelle 1 stellen wir mit Hilfe der Fig. 3 die Tabelle 2 auf.

Tabelle 2. Kurve: $\sin \frac{2\pi}{T} t + \frac{1}{5} \sin \left(\frac{4\pi}{T} t + 45^\circ \right)$. Fig. 3

| Schwing.-Dauer | Schwingweg | Geschwindigkeit | Beschleunigung | Bemerkungen |
|-----------------------|-------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| 0.816 <i>T</i> | 1.15 | 2.82 π/T | 6.92 π^2/T^2 | Nulllinie bekannt |
| 0.816 <i>T</i> | 1.04 | 2.56 π/T | 6.26 π^2/T^2 | „ unbekannt |
| 0.716 <i>T</i> | 0.96 | 2.68 π/T | 7.48 π^2/T^2 | „ bekannt |
| 0.692 <i>T</i> | 0.81 | 2.34 π/T | 6.76 π^2/T^2 | „ unbekannt |
| 0.666 <i>T</i> | 0.77 | 2.32 π/T | 6.96 π^2/T^2 | „ bekannt |
| 0.616 <i>T</i> | 0.58 | 1.87 π/T | 6.08 π^2/T^2 | „ unbekannt |

Wiederum stellen wir aus der Tabelle 2 nur die Werte der Schwingweg- und Beschleunigungskurve gegenüber, wobei wir noch unterscheiden, ob die Nulllinie bekannt ist oder nicht.

a) Bekannte Nulllinie:

Schwingungsdauer gem. 0.816 *T*, Schwingweg gem. 1.15, Beschleunigung ber. 6,92 π^2/T^2
 Schwingungsdauer gem. 0.666 *T*, Schwingweg ber. 0.77, Beschleunigung gem. 6.96 π^2/T^2

b) Unbekannte Nulllinie:

Schwingungsdauer gem. 0.816 *T*, Schwingweg gem. 1.04, Beschleunigung ber. 6.26 π^2/T^2
 Schwingungsdauer gem. 0,616 *T*, Schwingweg ber. 0.58, Beschleunigung gem. 6.08 π^2/T^2

Danach weichen die berechneten Beschleunigungen bei Verwendung einer Schwingwegkurve von der tatsächlichen um 0.6 bzw. 2.9 % ab, während sich aus den Aufzeichnungen einer Beschleunigungskurve die Schwingwege um 33 bzw. 44 % und die Schw.-D. um 18 bzw. 24 % falsch ergeben. Man muß sich somit im klaren sein, daß aus einer nichtsinusförmigen Beschleunigungskurve, die aus einer Grund- und ersten Oberschwingung gebildet wird, fehlerhafte Angaben über den Schwing-

weg größenordnungsmäßig von 50 % ergeben können. Diese Fehler sind um so größer, je größer das Verhältnis der Schwingweiten von Grund- und Oberschwingung ist.

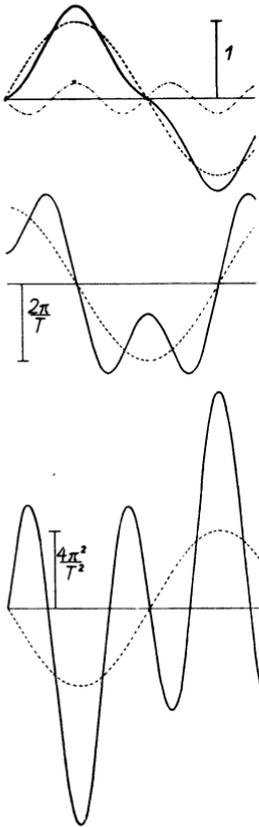


Fig. 4. Schwingweg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve der Schwingung $\sin \frac{2\pi}{T}t - \frac{1}{5} \sin \frac{6\pi}{T}t$. Gestrichelt gezeichnet sind die Kurve $\sin \frac{2\pi}{T}t$ mit ihren Ableitungen und die Kurve $\frac{1}{5} \sin \frac{6\pi}{T}t$

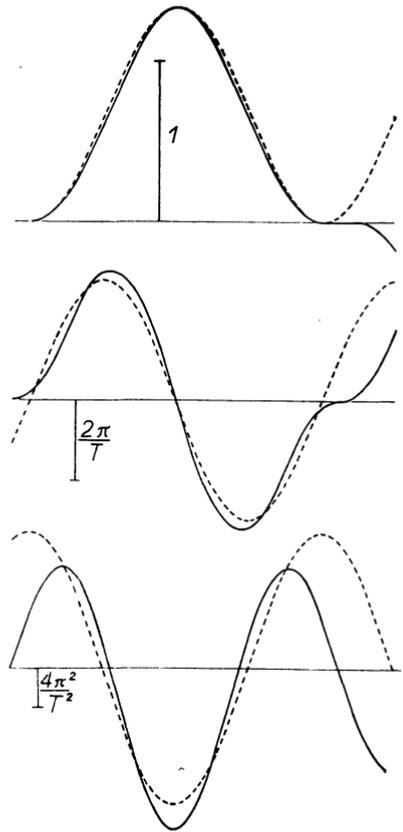


Fig. 5. Schwingweg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve der Schwingung $\sin \frac{2\pi}{T}t - \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi}{T}t$. Gestrichelt gezeichnet ist die Kurve $0.667 \left(1 - \cos \frac{4\pi}{0.89T}t\right)$ mit ihren Ableitungen. Koordinatenanfang: $t = -T/4$

Wir wollen in der gleichen Weise noch die Bewegungsvorgänge betrachten, die sich aus der Grund- und zweiten Oberschwingung zusammensetzen. Dabei soll die Phasenverschiebung der Oberschwingung immer dieselbe sein (180°), und es soll nur die Schwingweite der Oberschwingung nacheinander die Werte $1/5,$

$\frac{1}{3}$ und $\frac{3}{5}$ annehmen. Auf diese Weise sind die Fig. 4, 5 und 6 mit den zugehörigen Tabellen 3, 4 und 5 entstanden. Diese liefern die folgenden Auswertungsergebnisse.

Tabelle 3. Kurve: $\sin \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{5} \sin \frac{6\pi}{T} t$. Fig. 4.

| Schwing.-Dauer | Schwingweg | Geschwindigkeit | Beschleunigung | Bemerkungen |
|----------------|-------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 0.500 T | 0.60 | 2.40 π/T | 9.60 π^2/T^2 | symmetrisch |
| 0.445 T | 0.516 | 2.32 π/T | 10.4 π^2/T^2 | „ |
| 0.445 T | 0.554 | 2.50 π/T | 11,2 π^2/T^2 | bekannte Nulllinie |
| 0.356 T | 0.263 | 1.48 π/T | 8.3 π^2/T^2 | unbekannte Nulllinie |

Wie die Fig. 5 zeigt, stimmen die beiden Kurven $\sin \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi}{T} t$ und $0.667 \left(1 - \cos \frac{4\pi}{0.89 T} t\right)$ im Bereiche 0 bis $T/2$ sehr gut überein, wenn als Koordinatenanfangspunkt der zweiten Kurve $t = T/4$ gewählt wird. Hierauf hatte ich schon in [1] hingewiesen. In der Schwingwegkurve ist es bei praktischen Messungen gar nicht möglich, einen Unterschied der beiden Kurven festzustellen. Die Feststellung ermöglicht erst die Verwendung eines Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsmessers.

Die Auswertung der Fig. 5 gibt Tabelle 4 wieder.

Tabelle 4. Kurve: $\sin \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi}{T} t$. Fig. 5

| Schwing.-Dauer | Schwingweg | Geschwindigkeit | Beschleunigung | Bemerkungen |
|----------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 0.445 T | 0.667 | 3.00 π/T | 13.5 π^2/T^2 | symmetrisch |
| 0.395 T | 0.631 | 3.20 π/T | 16.2 π^2/T^2 | „ |
| 0.395 T | 0.624 | 3.15 π/T | 16.0 π^2/T^2 | bekannte Nulllinie |
| 0.347 T | 0.395 | 2.28 π/T | 13.1 π^2/T^2 | unbekannte Nulllinie |

Als letzte Tabelle folgt die Tabelle 5, welche mit Hilfe der Fig. 6 gewonnen wurde.

Tabelle 5. Kurve: $\sin \frac{2\pi}{T} t - \frac{3}{5} \sin \frac{6\pi}{T} t$. Fig. 6.

| Schwing.-Dauer | Schwingweg | Geschwindigkeit | Beschleunigung | Bemerkungen |
|----------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 0.383 T | 0.890 | 4.65 π/T | 24.3 π^2/T^2 | unbekannte Nulllinie |
| 0.367 T | 0.860 | 4.70 π/T | 25.6 π^2/T^2 | unbekannte Nulllinie |
| 0.367 T | 0.860 | 4.70 π/T | 25.6 π^2/T^2 | bekannte Nulllinie |
| 0.344 T | 0.666 | 3.87 π/T | 22.5 π^2/T^2 | unbekannte Nulllinie |

Wenn wir in den Tabellen 3 bis 5 die aus den Schwingwegkurven berechneten mit den abgelesenen Beschleunigungswerten vergleichen, so sehen wir, daß die

berechneten Werte zwischen den Werten unter der Annahme einer bekannten und unbekanntem Nulllinie liegen und die Abweichungen nicht mehr als 15 % betragen. Dagegen weisen die aus den Beschleunigungskurven berechneten gegenüber den wirklichen Schwingweitenwerten und ebenso die aus den Beschleunigungskurven berechneten Schwingungsdauern weit höhere Abweichungen auf. Es läßt sich in den Tabellen 3 bis 5 feststellen, daß die Abweichungen der berechneten von den gemessenen Schwingungselementen um so geringer sind, je kleiner das Verhältnis von Grund- und Oberschwingung ist, d. h. je mehr schon in der Schwingwegkurve die Oberschwingung deutlich hervortritt.

Ich habe mich auf einen Vergleich der Schwingweg- und Beschleunigungswerte beschränkt. Mit Hilfe der Tabellen ist es ohne weiteres möglich, sich ein Bild von den möglichen Abweichungen bei Verwendung eines Geschwindigkeitsmessers zu verschaffen.

Die praktische Folgerung der vorliegenden theoretischen Betrachtung ist die, daß man bei der Wahl zwischen einem Schwingweg- und einem Beschleunigungsmesser für Erschütterungsmessungen mit nichtsinusförmigem Charakter dem ersteren den Vorzug geben und den Beschleunigungsmesser zur Ergänzung der Messungen heranziehen soll.

Schrifttum

[1] H. Martin: Einschwingvorgänge und ihre Bedeutung bei der Aufzeichnung stoßähnlicher Erschütterungen. Veröffentl. der Reichsanstalt für Erdbebenforschung, Heft 26. Leipzig 1935.

[2] H. Martin: Ein neuer mechanischer Beschleunigungsmesser. Zeitschr. f. Geophys. 13, 241—250 (1937)

Jena, Reichsanstalt für Erdbebenforschung, April 1939.

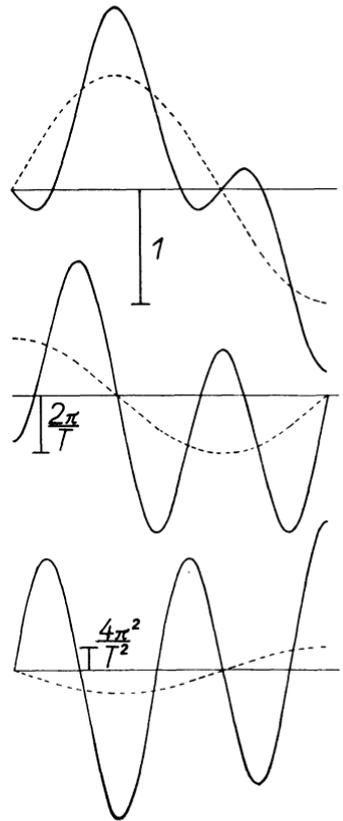


Fig. 6. Schwingweg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve der Schwingung $\sin \frac{2\pi}{T} t$ — $\frac{3}{5} \sin \frac{6\pi}{T} t$. Gestrichelt gezeichnet ist die Kurve $\sin \frac{2\pi}{T} t$ mit ihren Ableitungen