### 7. Schlußbetrachtung

Außer den bereits aufgeführten Seismometern gehören auch noch alle diejenigen zu den gekoppelten Systemen, die sich aus zwei oder mehreren für sich schwingungsfähigen Gebilden zusammensetzen. Das sind alle mechanisch registrierenden Instrumente mit mehr als einer Komponente; dann diejenigen mit einer Komponente, soweit sie Übertragungssysteme besitzen, die für sich allein schwingungsfähig sind; außerdem Apparate mit elektrischen Verstärkungseinrichtungen und die piezoelektrischen Beschleunigungsmesser.

Wie groß die Koppelungsstörungen in den einzelnen Fällen sind, das hängt ganz von der Anordnung ab und kann nur nach Berechnung und Ermittlung des Koppelungsfaktors beurteilt werden. Hierbei wird außer der soeben behandelten Dämpfungskoppelung wohl meist die Beschleunigungs- oder die Kraftkoppelung auftreten.

Ein Ansatz in dieser Richtung findet sich schon in der von H. P. Berlage jr. veröffentlichten Untersuchung der Unabhängigkeit der Komponenten des de Quervain-Piccardschen Seismographen (Jahresber. des Schweizer Erdbebendienstes 1923, Anhang). Da hier jedoch keine wirkliche Berechnung des Koppelungsfaktors durchgeführt worden ist, bleibt der Nachweis der ausreichenden Unabhängigkeit offen.

Erst wenn durch Untersuchungen in der hier eingeschlagenen Richtung die Eigenschwingungen der in diese Gruppe gehörenden Instrumente klargestellt sind, wird sich für diese auch die Anwendbarkeit der Ableitung der dynamischen Vergrößerung richtig einschätzen lassen.

*Jena*, Juni 1936.

---

## Der Einschwingvorgang bei Erschütterungsmeßgeräten*)

Von **H. W. Koch**, VDI, Hannover und **W. Zeller**, VDI, Berlin — (Mit 6 Abbildungen)

Die Bedeutung des Einschwingvorganges bei Schwingungsmeßgeräten ist in den letzten Jahren mehrfach untersucht worden, nachdem bei technischen Schwingungsmessungen auf den verschiedensten Gebieten teilweise unerklärliche Fehler aufgetreten sind. Im Jahre 1930 nahmen die beiden Verfasser immer wiederkehrende Abweichungen zwischen Meßergebnissen von technischen Seismographen und Beschleunigungsmessern bei der Messung von Verkehrserschütterungen[1]) zum Anlaß einer grundlegenden Klärung der Verhältnisse auf Grund der bis dahin zumeist aus der Seismik vorliegenden Arbeiten. Diese theoretischen und experimentellen Untersuchungen sind in vier Veröffentlichungen[2]) niedergelegt worden.

---

*) Vorgetragen auf der 18. Vollsitzung des Fachausschusses für Lärmminderung beim VDI in Berlin am 14. Juli 1936.

Obgleich es sich bei diesen Arbeiten um die Erörterung von Fragen grundlegender Bedeutung für die gesamte Schwingungsmessung handelte, sind die Ergebnisse zunächst wenig beachtet worden. Erst vor kurzem sind nun zwei Arbeiten erschienen, die sich mit den Einschwingvorgängen wieder befassen[3]) [4]). Diese Arbeiten weichen in ihren hierher gehörigen Ergebnissen zum Teil von den Ergebnissen unserer Arbeiten ab. Wenn man für Seismometer die gleichen Anfangsbedingungen, wie sie für Dehnungsmesser und angenähert auch für Beschleunigungsmesser zutreffen, ansetzt, so führt dies zu Ergebnissen, die mit entsprechenden Versuchen auf dem Schütteltisch nur bei cosinusartigem Einsatz [3]) (Phase der Erregerschwingung 90⁰) übereinstimmen. Die von uns gegebene Theorie der Einschwingvorgänge bei Beschleunigungsmessern und Dehnungsmessern ist mit der von Martin[4]) vorgelegten identisch. Wir verweisen insbesondere auf die von uns bereits[2c]) gegebene Abhängigkeit der Amplitude der Eigenschwingung von der Phase der Erregerschwingung. Bei der Darstellung von Martin könnte der Eindruck entstehen, als ob die Abweichung sich auf das gesamte Problem erstrecke.

Die ganze bisherige Behandlung zeigt, daß die Wahl der Anfangsbedingungen der theoretische Kern für die Bewertung der Einschwingvorgänge ist. Über die für die Seismometer anzusetzende Anfangsbedingung herrscht keine Übereinstimmung. Die einzige Möglichkeit, hier zu entscheiden, ist nur durch den Vergleich theoretischer Ergebnisse mit praktischen Aufzeichnungen entsprechender Geräte gegeben. Aus den Aufzeichnungen allein kann mitunter kein zutreffender Schluß auf eine etwaige Fälschung durch den Einschwingvorgang gezogen werden, es sei denn, man mißt mit zwei *grundsätzlich* verschiedenen Geräten und vergleicht ihre Aufzeichnungen. Für die Praxis scheidet dieser Fall im allgemeinen aus. Eine zuverlässige Theorie des Einschwingvorganges kann also nur gewonnen werden, wenn die Anfangsbedingungen mit dem jeweiligen Meßfall in Übereinstimmung gebracht werden. Man hat bisher übersehen, daß gewisse Anfangsbedingungen, die auf dem Schütteltisch verwirklicht werden können, in der technischen Praxis und hierbei insbesondere wieder bei der Messung von Verkehrserschütterungen in Wirklichkeit überhaupt nicht auftreten.

*Diskussion der Anfangsbedingungen.* Zur Klärung des Sachverhaltes wollen wir uns jetzt zunächst einer Diskussion der Anfangsbedingungen zuwenden. Die Differentialgleichung für die Schwingungsmeßgeräte heißt:

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

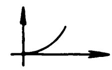
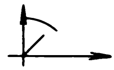
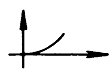
Darin bedeutet: $z = y - x$ die Aufzeichnung, $x$ die erzwingende Bewegung, $y$ die Absolutbewegung der Masse des Schwingungsmessers, $\tau = \omega_0 \cdot t$ ($\omega_0$: ungedämpfte Eigenkreisfrequenz),

$$\alpha = \frac{b}{\omega_0} = \frac{ln\,\varepsilon/\pi}{\sqrt{1 + (ln\,\varepsilon/\pi)^2}}$$

($\varepsilon$: Dämpfungsverhältnis), $\gamma = \omega/\omega_0$ ($\omega$: Kreisfrequenz der Erregerschwingung). Für die Lösung der Differentialgleichung sind bisher zwei verschiedene Anfangsbedingungen verwendet worden, wie aus der Zusammenstellung, Fig. 1, hervorgeht.

Martin, Meyer und Böhm stimmen im Ansatz der Anfangsbedingungen mit Steinheil[5]) überein, der $z = 0$ und $\dot{y} = 0$ setzte.

Die Anfangsbedingungen (1) treffen streng nur für Meßgeräte zu, die als Meßelement keine träge Masse besitzen. (Beispiel: Dehnungsmesser, nach Martin: galvanometrischer Typ der Meßgeräte). Die Anfangsbedingungen (2) treffen für Schwingungsmesser mit träger Masse (Seismometer und Beschleunigungsmesser) zu, wenn der erzwingende Vorgang eine reine Sinusschwingung beliebiger Phase darstellt. Bei Beschleunigungsmessern kann man an Stelle dieser Anfangsbedin-

| | Autoren | Relativ-beweg. | Relativ-geschw. | Absolut-beweg. | Absolut-geschw. | Einsatz bei der Aufzeichnung (schematisch) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1) | Meißer Koch u. Zeller | $z = 0$ | $\dot{z} = 0$ | $(y \neq 0)$ | $(\dot{y} \neq 0)$ |  |
| 2) | Steinheil, Martin, Meyer u. Böhm | $z = 0$ | $(\dot{z} \neq 0)$ | $(y \neq 0)$ | $\dot{y} = 0$ |  |
| 3) | | $z = 0$ | $\dot{z} = 0$ | $\underbrace{y = 0 \quad \dot{y} = 0}_{\text{Nebenbedingung}}$ | |  |

$x$ : erzwingende Bewegung
$y$ : Absolutbewegung
$z$ : Relativbewegung

$\left.\begin{array}{l}\dot{x}: \\ \dot{y}: \\ \dot{z}:\end{array}\right\}$ entsprechende Geschwindigkeiten

**Fig. 1. Zusammenstellung der Anfangsbedingungen**

gungen mit großer Annäherung auch die Anfangsbedingungen (1) setzen, wenn die Geschwindigkeit der Erregerschwingung zu vernachlässigen ist gegenüber der Geschwindigkeit der Eigenschwingung. Ein solcher erzwingender Vorgang kann auf dem Schütteltisch hergestellt werden, wie es nach den Arbeiten von Meyer und Böhm sowie Martin auch geschehen ist für zwei ausgezeichnete Sonderfälle:

a) Der Tisch wird von der Ruhelage aus plötzlich angefahren. Damit ist $z = 0$ und $\dot{z} \neq 0$, ferner $y = 0$ und $\dot{y} = 0$ (sogenannter sin-Einsatz).

b) Der Tisch wird statisch ausgelenkt und dann in Betrieb gesetzt. Damit ist $z = 0$ und $\dot{z} = 0$, ferner $y \neq 0$ und $\dot{y} = 0$ verwirklicht (sogenannter cos-Einsatz).

Sieht man jedoch von diesen bestimmten Phasenwerten ab, so ergibt sich aus dem Ansatz $x = A \sin(\gamma\,\tau + \varphi)$

1. wenn $z = 0$; $\dot{z} = 0$ für $\tau = 0$ ist, muß sein $y \neq 0$; $\dot{y} \neq 0$,
2. wenn $z = 0$; $\dot{y} = 0$ für $\tau = 0$ ist, muß sein $y \neq 0$; $\dot{z} \neq 0$.

Martin hat nun in seiner Arbeit nachgewiesen, daß seine Schütteltischversuche mit der Theorie bei Benutzung der Bedingungen a) und b) gut übereinstimmen. Seine mehrfach geäußerten Schlußfolgerungen daraus gingen dahin, die bei Seismometern durch den Einschwingvorgang bedingten Meßfehler seien, von einem besonderen Fall (**cos-Einsatz**) abgesehen, immer unerheblich. Diese Schlußfolgerung steht im Widerspruch zu unserer praktischen Erfahrung. Es können tatsächlich erhebliche Fehler bei Seismometern auftreten.

Dieser Widerspruch wird verständlich, wenn man sich klar macht, daß die Anfangsbedingungen a) und b), die der Schütteltisch wiederzugeben vermag, bei der praktischen Messung von Verkehrserschütterungen nie verwirklicht sind. Dabei handelt es sich nie um reine Sinus-Schwingungen. Stets führt der Meßpunkt vielmehr eine Schwingungsbewegung aus, die wir „Anschwellvorgang" nennen wollen. Unsere vielfachen Aufzeichnungen von Verkehrserschütterungen lassen dies immer wieder erkennen.

Für die *praktische* Messung müssen zweifellos die allgemeinen Anfangsbedingungen so lauten, wie sie in Fig. 1 unter 3 wiedergegeben sind. Die Differentialgleichung für die Schwingungsmeßgeräte kann als Differentialgleichung zweiter Ordnung nur zwei Bedingungen erfüllen. Demnach ist es, wenn vier Bedingungen erfüllt sein sollen, notwendig, die Störungsfunktion so zu wählen, daß die Differentialgleichung die beiden übrigen schon erfüllt. Eine solche Funktion ist ein Anschwellvorgang, der die wirklichen Verhältnisse recht gut wiedergibt.

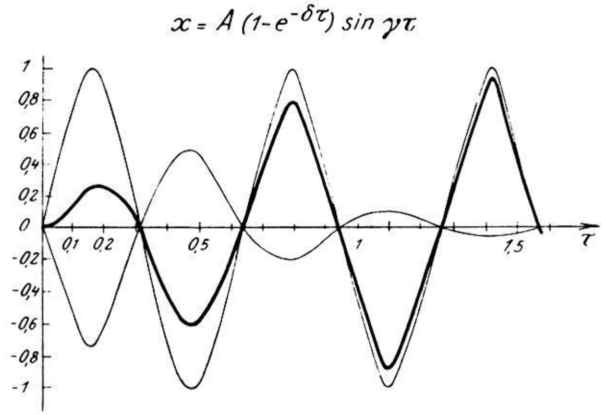



**Fig. 2. Anschwellvorgang**

*Theorie des Einschwingvorganges.* Wir bauen daher die Theorie des Einschwingvorganges auf einer solchen Funktion auf und schreiben die zu lösende Differentialgleichung der Schwingungsmeßgeräte:

$$\frac{d^2 z}{d\tau^2} + 2\alpha\frac{dz}{d\tau} + z = A\cdot\left[\gamma^2\cdot\sin\gamma\tau - e^{-\delta\tau}\left([\gamma^2 - \delta^2]\sin\gamma\tau + 2\delta\gamma\cos\gamma\tau\right)\right],$$

wobei die rechte Seite $(-d^2x/d\tau^2)$ aus dem Ansatz des Anschwellvorganges: $x = A\,(1 - e^{-\delta\tau})\sin\gamma\tau$ hervorgeht. Diese Funktion, die wir für den Anschwellvorgang ansetzen, besitzt die Eigenschaft, daß nach einer gewissen Zeit praktisch eine reine Sinusschwingung übrigbleibt (Fig. 2); die Anfangsbedingungen (3) nach Fig. 1 sind hierbei erfüllt. $\delta$ ist die „Anschwellziffer" des Erdbodens bei

Verkehrserschütterungen oder allgemeiner des Meßpunktes, und zwar bezogen auf die Eigenfrequenz des Meßgerätes. Betrachten wir den Anschwellvorgang für sich allein, so erscheint als Anschwellziffer $\delta'$, bezogen auf die Eigenfrequenz des Bodens $\omega$. Da in der Differentialgleichung alles auf die Eigenfrequenz des Gerätes bezogen wird, muß die Anschwellziffer ebenfalls darauf bezogen werden, also

$$\delta = \frac{b^*}{\omega_0} \quad \text{oder} \quad \delta = \frac{b^*}{\omega} \cdot \frac{\omega}{\omega_0} = \delta' \cdot \gamma,$$

worin $b^*$ das Dämpfungsmaß $\varrho^*/2\,m$ des Bodens ist in $\sec^{-1}$. Die Differentialgleichung (1) gilt allgemein für *alle* Schwingungsmesser, d. h. ebenso für Seismometer wie für Beschleunigungsmesser und für Dehnungsmesser, wenn man bei dieser Geräteart $z$ gleich der erzwungenen Bewegung setzt. In ihr ist $y = 0$ und $\dot{y} = 0$, da $x = 0$ und $\dot{x} = 0$ für $\tau = 0$ ist. Die Bedingungen $z = 0$ und $\dot{z} = 0$ werden zur Bestimmung der Integrationskonstanten verwendet.

Zur Lösung dient der Ansatz:

$$z = a \cdot \sin\gamma\tau + b \cdot \cos\gamma\tau + c \cdot e^{-\delta\tau} \sin\gamma\tau + d \cdot e^{-\delta\tau} \cos\gamma\tau + a_E\, e^{-\alpha\tau} \sin(\beta\tau + p).$$

Die Konstanten $a$, $b$, $c$, $d$ werden durch Einsetzen und Koeffizientenvergleich die Konstanten $a_E$ und $p$ durch die Anfangsbedingungen $z = 0$, $\dot{z} = 0$ für $\tau = 0$ bestimmt. Die Rechnung ergibt für die beiden Integrationskonstanten:

$$a_E = -\frac{1}{\beta} \sqrt{(b+d)^2 + \gamma(a+c)[\gamma(a+c) - 2\delta d] + 2\alpha(b+d)[\gamma(a+c) - \delta d] + \delta^2 d^2},$$

$$\operatorname{tg} p = \frac{\beta(b+d)}{\alpha(b+d) + \gamma(a+c) - \delta d}.$$

Dabei ist:

$$a = -A \cdot \gamma^2 \frac{\gamma^2 - 1}{q^2} \qquad b = -A \cdot \gamma^2 \frac{2\alpha\gamma}{q^2},$$

$$c = -A \cdot \frac{(\gamma^2 - \delta^2)(\delta^2 - \gamma^2 - 2\alpha\delta + 1) - 4\delta \cdot \gamma^2 (\delta - \alpha)}{4\gamma^2 (\delta - \alpha)^2 + (\delta^2 - \gamma^2 - 2\alpha\delta + 1)^2},$$

$$d = -A \frac{\gamma[\delta(\gamma^2 + 1 - \delta^2) - 2\alpha\gamma^2]}{4\gamma^2(\delta - \alpha)^2 + (\delta^2 - \gamma^2 - 2\alpha\delta + 1)^2}.$$

Mit Hilfe dieser Werte ist $a_E$ und $p$ berechenbar für alle Werte von $\alpha$, $\gamma$ und $\delta$.

*Drei praktische Beispiele.* Zur Klärung der Frage, welchen Einfluß die Einschwingvorgänge bei praktischen Erschütterungsmessungen haben, greifen wir einige Fälle heraus, die wir früher schon behandelt haben (Fig. 3). Für die Anschwellziffer $\delta' = 0.2$ ergibt sich ein Anschwellvorgang des Bodens, bei dem bei der vierten Amplitude 90% des Amplitudenendwertes erreicht sind. Zahlreiche Messungen haben gezeigt, daß für den Anschwellvorgang der Amplitudenhöchstwert bei der dritten, vierten oder fünften Amplitude eintritt. Mit $\delta' = 0.2$ wird der experimentell gefundene Anschwellvorgang gut erfaßt.

Die drei Fälle sind in den Fig. 4, 5 und 6 wiedergegeben. Fig. 2 zeigt für alle drei Fälle die erzwingende Schwingung, die sich aus den gezeichneten beiden Teilen $A \sin \gamma \tau$ und $(- A\, e^{-\delta \tau} \sin \gamma \tau)$ zusammensetzt. Diese Schwingung wird jedesmal verschieden wiedergegeben. Die Kurven $(X + Y)$ in den Fig. 4, 5 und 6 stellen dies dar. In Wirklichkeit kann diese Kurve, die für $\omega_0 = 0$ gelten würde, in der Aufzeichnung nicht erscheinen, weil stets auch die Eigenschwingung (Kurve $Z$) vorhanden ist, so daß tatsächlich stets die Kurve $(X + Y + Z)$ erscheint.

| | $\alpha$ | $\gamma$ | $\delta'$ | $\delta$ | Gerät |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) | 0,46 | 10 | 0,2 | 2 | Spindler u. Hoyer |
| 2) | 0,6 | 3 | 0,2 | 0,6 | Dreikomponenten-Erschütterungsmesser der Askania-Werke A.G. |
| 3) | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,02 | Beschleunigungsmesser |

$$\alpha = \frac{\varrho}{2 m \omega_0} = \frac{b}{\omega_0} = \frac{\frac{\ln \varepsilon}{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\ln \varepsilon}{\pi}\right)^2}}\,; \quad \gamma = \frac{\omega}{\omega_0}\,; \quad \delta = \frac{b^*}{\omega} \cdot \frac{\omega}{\omega_0} = \delta' \cdot \gamma$$

$\delta'$: Anschwellziffer bezogen auf die Eigenfrequenz des Bodens $\left(\delta' = \frac{b^*}{\omega}\right)$

$\delta$: Anschwellziffer bezogen auf die Eigenfrequenz des Gerätes $\left(\delta = \frac{b^*}{\omega_0}\right)$

**Fig. 3. Drei untersuchte Fälle**

Wir haben demnach vier Kurven zu unterscheiden:

1. die erzwingende Schwingung (Fig. 2),
2. die erzwungene Schwingung (ohne Eigenschwingung), die tatsächlich nicht vorhanden ist (Kurven $X + Y$),
3. die Eigenschwingung (Kurven $Z$),
4. die Aufzeichnung (Kurven $X + Y + Z$).

Vergleicht man hierbei jetzt die Aufzeichnung mit der erzwingenden Schwingung, so ist zunächst einmal festzustellen, daß beim Einsatz erhebliche Fehler (bis zu mehreren 100 %) in der Amplitude auftreten können. Dabei ist die Aufzeichnung offenbar immer kleiner als die erzwingende Schwingung. Praktisch sind diese großen Fehler im allgemeinen ohne wesentlichen Belang, da nur die größten Ausschläge ausgemessen werden. Nach dem Anschwellvorgang, also bei den größten Ausschlägen, ist der Fehler aber bereits ziemlich klein geworden.

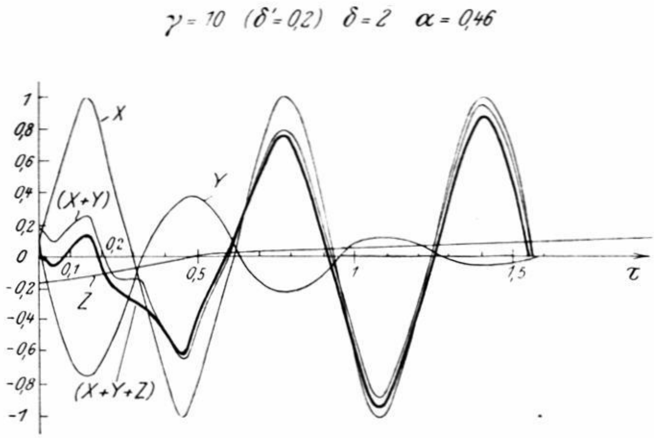



Fig. 4. Aufzeichnung durch das Gerät von Spindler und Hoyer

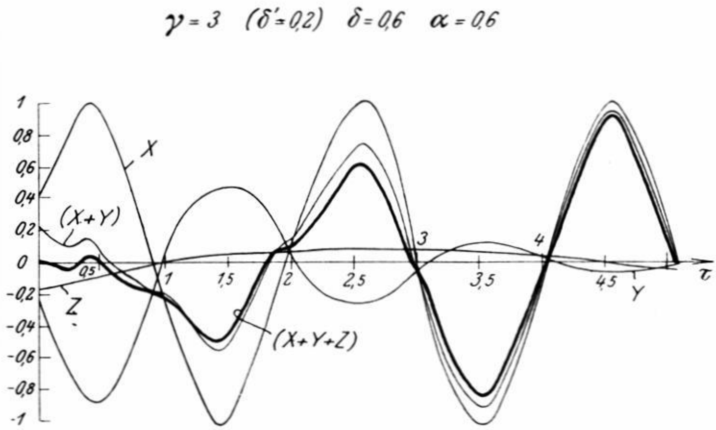



Fig. 5. Aufzeichnung durch den Dreikomponenten-Erschütterungsmesser der Askania-Werke

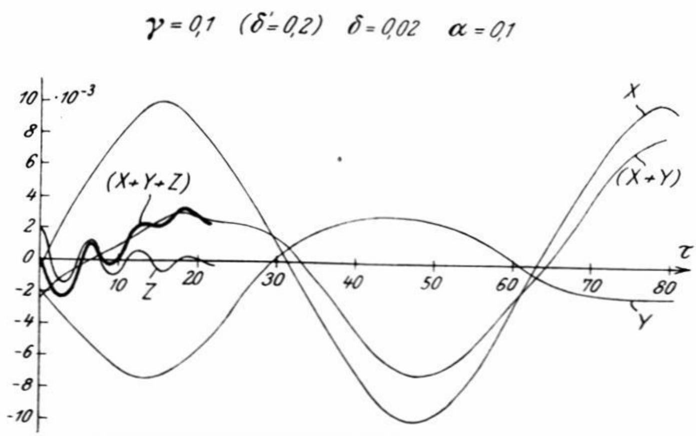



Fig. 6. Aufzeichnung durch einen Beschleunigungsmesser

Weiterhin gibt der Vergleich einen interessanten Aufschluß über die Wiedergabe der Schwingungsform. Zu Beginn der Aufzeichnung erscheint gern ein kleiner Zacken, der vor allem bei seismometrischen Meßgeräten gut ausgeprägt ist. Dieser Zacken ist im erzwingenden Vorgang nicht vorhanden, er rührt aber auch nicht von der Überlagerung der Eigenschwingung her, sondern ist schon in Kurve $(X + Y)$ vorhanden. Der gedämpfte Anteil der erzwingenden Schwingung hat gegen den ungedämpften eine Phasenverschiebung von $180^0$. Im erzwungenen Vorgang hat sich diese Phasenverschiebung geändert; dies ist der Grund für die Entstehung des Zackens (vgl. Fig. 2 mit den Fig. 4, 5, 6).

Beim Beschleunigungsmesser tritt die Eigenschwingung am Anfang stark hervor. Sie ist ohne weiteres zu erkennen und bei der Auswertung leicht zu berücksichtigen; außerdem dauert sie im Verhältnis zur Schwingungszeit des zu messenden Vorganges nur kurz (Fig. 6).

Bei Seismometern ist der Einfluß der Eigenschwingung aus der Aufzeichnung nicht unmittelbar zu erkennen; er kann daher bei der Auswertung auch nur schwer ausgeschaltet werden (vgl. Fig. 4 und 5 mit dem erzwingenden Vorgang Fig. 2).

Soll dieser Fehler für die praktische Messung keine weiteren Folgen haben, so ist es notwendig, den Seismometern solche Eigenschaften zu geben, daß bei der in der Praxis üblichen und notwendigen Auswertung nur vernachlässigbare Fehler entstehen.

Zusammenfassend stellen wir fest, daß es im Hinblick auf technische Erschütterungsmessungen und wahrscheinlich überhaupt zweckmäßig ist, die Theorie des Einschwingvorganges auf einen Anschwellvorgang zu gründen. Hierbei werden die praktischen Fälle gut erfaßt. Setzt man keinen Anschwellvorgang, sondern eine reine Sinusschwingung an, so lassen sich die theoretischen Ergebnisse *nur* auf dem Schütteltisch bestätigen, soweit es sich um Erschütterungsmessungen handelt.

Die Theorie — so wie wir sie jetzt aufgebaut haben — wird den tatsächlichen Erscheinungen in der Meßpraxis hinreichend gerecht. Als Ergebnisse können wir festhalten:

1. Beim Einsatz können erhebliche Fehler (bis zu mehreren 100% in der Amplitude auftreten.

2. Die Aufzeichnung ist dabei offenbar immer kleiner als die erzwingende Schwingung.

3. Praktisch sind diese großen Fehler deswegen ohne wesentlichen Belang, weil nur die größten Ausschläge ausgemessen werden. Nach dem Anschwellvorgang, also bei den größten Ausschlägen — bei Verkehrserschütterungen treten sie etwa beim dritten bis fünften Maximum auf — ist aber der Fehler bereits ziemlich klein geworden.

4. Das Schwingungsbild, das ein Seismometer gibt, weicht im Anfang stark von dem erzwingenden Vorgang ab. Insbesondere erscheint am Anfang gern ein kleiner Zacken, der im erzwingenden Vorgang überhaupt nicht vorhanden ist. Er rührt nicht von der Überlagerung der Eigenschwingung her. Der erzwingende

Vorgang setzt sich aus zwei Teilen zusammen, die genau 180⁰ phasenverschoben sind. Im erzwungenen Vorgang weicht diese Phasenverschiebung mehr oder weniger von 180⁰ ab, und darin ist der Anfangszacken in der Aufzeichnung begründet.

5. Beim Beschleunigungsmesser, besonders bei plötzlichem Einsatz, tritt die Eigenschwingung am Anfang stark hervor; sie ist leicht zu erkennen und bei der Auswertung zu berücksichtigen; außerdem dauert sie im Verhältnis zur Schwingungszeit des zu messenden Vorgangs nur kurz.

6. Bei Seismometern ist der Einfluß der Eigenschwingung am Anfang aus der Aufzeichnung nicht ohne weiteres zu erkennen; er kann daher bei der Auswertung auch nur schwer ausgeschaltet werden. Soll dieser Fehler für die praktische Messung keine weiteren Folgen haben, so ist es notwendig, den technischen Seismometern solche Eigenschaften zu geben, daß bei der in der Praxis üblichen und notwendigen Auswertung nur vernachlässigbare Fehler entstehen.

7. An die technischen Meßgeräte sind demnach folgende Forderungen zu stellen:

bei Seismometern: starke Dämpfung,
bei Beschleunigungsmessern: hohe Eigenfrequenz.

Beide Forderungen sind nicht neu.

8. An die Auswertung müssen lediglich bei seismometrischen Messungen besondere Anforderungen gestellt werden. Die Anschwellvorgänge sollen nicht herangezogen, sondern nach Möglichkeit nur die größten Ausschläge ausgemessen werden. Insbesondere darf aus dem ersten kleinen Zacken in der Aufzeichnung kein Schluß auf den erzwingenden Vorgang gezogen werden.

9. Für genaue Untersuchungen von Verkehrserschütterungen werden am besten gleichzeitig Seismometer und Beschleunigungsmesser verwendet. Dieser Forderung von Martin ist zweifellos zuzustimmen.

## Literatur

[1]) C. Risch: Messungen von Verkehrserschütterungen. Verkehrstechnik **10**, 707 (1929).

[2a]) W. Zeller u. H. W. Koch: Kritik der Aufzeichnung von Schwingungsmessern. Zeitschr. d. VDI. **75**, 1509 (1931).

[2b]) W. Zeller u. H. W. Koch: Der Einschwingvorgang bei Seismographen und Beschleunigungsmessern. Verkehrstechnik **13**, 290 (1932).

[2c]) W. Zeller u. H. W. Koch: Zur Theorie der Schwingungsmesser. Zeitschr. f. Instrkde. **53**, 64 (1933).

[2d]) W. Zeller u. H. W. Koch: Die Genauigkeit von seismographischen Messungen nichtstationärer Vorgänge. Zeitschr. f. techn. Phys. **14**, 162 (1933).

[3]) E. Meyer u. W. Böhm: Ein elektrodynamischer Erschütterungsmesser und seine Anwendung auf die Untersuchung von Gebäudeerschütterungen. Elektr. Nachr. Techn. **12**, 404 (1935).

[4]) H. Martin: Einschwingvorgänge und ihre Bedeutung bei der Aufzeichnung von stoßähnlichen Erschütterungen. Veröffentl. d. Reichsanst. f. Erdbebenforsch. Jena 1935, Heft 26.

[5]) A. Steinheil: Gebäudeschwingungen und ihre Feinmessung mit tragbaren Geräten. Dissertation Technische Hochschule München 1932.