

Werk

Jahr: 1940

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:16

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0016

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0016

LOG Id: LOG_0024

LOG Titel: Schwingungsmessung mittels Trägerstrom

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 there 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

8. Die Häufigkeit „frischer“ Stürme läßt sich wie folgt schätzen: Die durchschnittliche Lebenszeit eines Armes sei a , und n Arme seien gleichzeitig vorhanden. Ein neuer Arm würde im durchschnittlichen Zeitabstand a/n entstehen. w sei der Öffnungswinkel der Schildwolke, genauer, $w/2\pi$ sei der Bruchteil der Erdbahn, der von dem Schild überstrichen wird. Der durchschnittliche Abstand frischer Stürme wird dann $(a/n)/(\omega/2\pi)$. Mit $a = 6$ Sonnenrotationen, $n = 2$, $\omega/2\pi = 1/4$ ergibt sich 12 Sonnenrotationen, oder rund ein Jahr für die Größenordnung des zeitlichen Abstandes frischer Stürme.

Schwingungsmessung mittels Trägerstrom*)

Von **F. J. Meister**, Mittell. a. d. Phys. Techn. Reichsanstalt. — (Mit 14 Abbildungen)

Es ist wünschenswert, daß Schwingungsmeßgeräte im Betrieb universell angewandt werden können, d. h. wenn sie sowohl für Dehnungs-, Schwingweg-, Druck- und Beschleunigungsmessungen benutzbar sind. Auf diese Weise vereinfachen sich nicht nur die Meßmittel, auch die Messungen selbst können oft nach umfassenderen Gesichtspunkten durchgeführt werden, da das Meßverfahren bei einer anderen Fragestellung nicht geändert zu werden braucht. Für den Techniker sind außerdem Meßgeräte erforderlich, die einfach zu bedienen sind und sich den Betriebsbedingungen des Meßortes anzupassen vermögen.

Wenn für viele Zwecke ältere mechanisch arbeitende Geräte heute durchaus noch genügen, ja zuweilen besser am Platze sind, als ein elektrisches Meßwerkzeug, so haben andererseits die elektrischen Methoden infolge ihrer außerordentlichen Anpassungsfähigkeit sich in der Schwingungsmeßtechnik ein großes Arbeitsgebiet neu erobert und es ist wahrscheinlich, daß sie dieses Arbeitsgebiet in Zukunft einmal beherrschen werden.

Ich will hier auf die Beschreibung mechanisch arbeitender Schwingungsmesser nicht eingehen. Von den elektrisch arbeitenden Geräten sollen nur solche beschrieben werden, die universell anwendbar sind und außerdem folgenden Bedingungen genügen:

1. Der Meßkörper soll einen möglichst großen Frequenzbereich verzerrungsfrei erfassen.
2. Die Frequenz 0 soll im verzerrungsfreien Übertragungsbereich liegen, damit langsame Vorgänge, wie sie in der Technik oft auftreten, ohne Phasenverzerrung wiedergegeben werden.
3. Der Meßkörper soll nicht zu groß und zu schwer sein, damit er ohne Störung des Schwingungsvorganges am Meßobjekt befestigt werden kann.

*) Auszug aus einem Vortrag des Verfassers vor dem Ausschuß für Schwingungs- und Schalltechnik im VDI.

4. Es ist anzustreben, an mehreren Stellen gleichzeitig messen zu können und die Schwingungen auf einem Papier- oder Cellulosefilm gleichzeitig aufzuschreiben, d. h. Aufnahme und Registrierung sind örtlich zu trennen.

Diese Bedingungen können nur durch Meßkörper mit geringer träger Masse erfüllt werden; da jedoch die Relativbewegungen in einem Schwingungsmeßkörper bei kleinen Massenkraften außerordentlich gering sind, bedarf es einer starken Vergrößerung, um sie sichtbar zu machen. Die Messung wird infolge der geforderten Trennung von Aufnahme und Registrierung elektrisch durchgeführt, denn hierbei ist eine Vergrößerung durch entsprechende Spannungsverstärkung leicht zu erreichen.

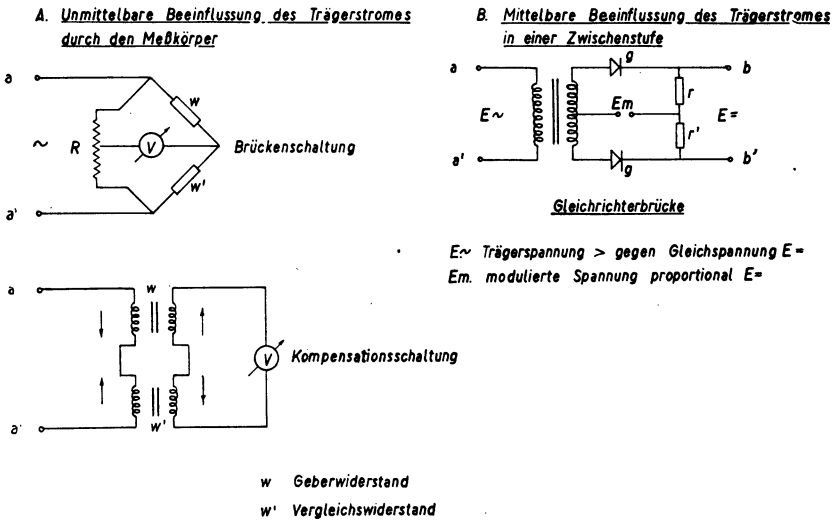


Fig. 1.

Gebräuchliche Schaltungen zur Herstellung eines modulierten Trägerstromes

In besonderem Maße erfüllt das Trägerstromverfahren die Forderungen der Praxis. Es wurde deshalb verhältnismäßig rasch zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel in den Materialprüfungsämtern. Die Methode gestattet, Längenänderungen, die weniger als 10^{-5} cm betragen, betriebsmäßig zu messen. Von den bekanntesten Trägerstromgeräten für Dehnungsmessung sind inzwischen besonders die induktiv arbeitenden Geräte der DVL., der MPA. Darmstadt und das Lehrsche Gerät der Askania-Werke bekannt geworden. Das Trägerstromverfahren wurde auch für die Druckmessung übernommen. In letzter Zeit ist von Siemens ein solches Gerät als Kraftverlaufmesser in den Handel gekommen.

Die Aufzeichnung rasch wechselnder Dehnungen und Drucke mit den erwähnten Geräten kommt bereits einer Schwingungsmessung gleich. Will man außerhalb dieser Dehnungsmessung Absolutbewegungen mit Trägerstromgeräten

messen, so ändert sich prinzipiell nichts am Aufbau des Meßgeräts, nur die Meßorgane werden zweckmäßig etwas umgestaltet.

Es sei zunächst kurz auf das Prinzipielle der Trägerstromgeräte eingegangen (siehe Fig. 1).

In einer Wechselstrombrücke oder in einem Kompensationskreis liegt der Meßkörper w als Wechselstromwiderstand, der seinen Wert im Rhythmus der mechanischen Meßgröße ändert. Der Widerstand kann induktiven, kapazitiven oder auch rein Ohmschen Charakter haben. Die Brücke oder die Kompensationschaltung wird von einem Generator mit konstanter Wechselspannung gespeist.

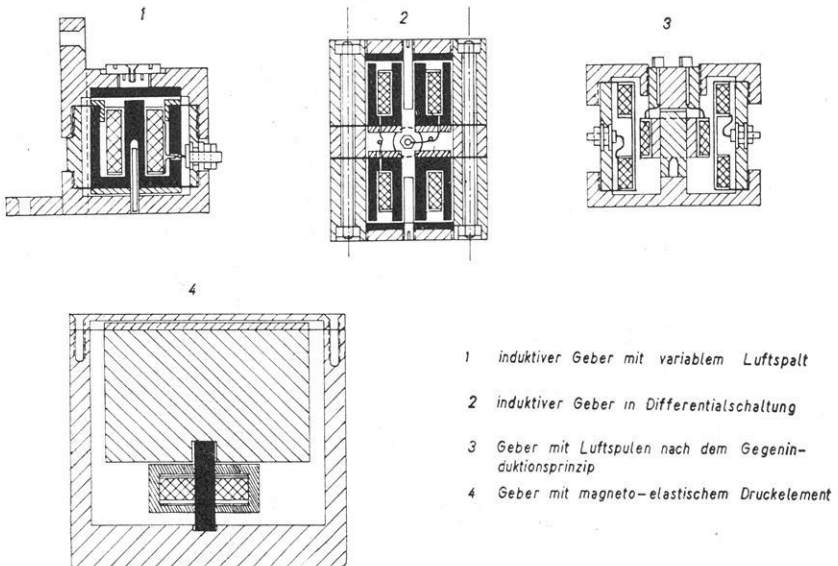


Fig. 2. Induktive Geber für Beschleunigungsmessung

Die Frequenz des Trägerstromes soll dabei ein Vielfaches der höchsten Meßfrequenzen betragen. Der Meßkörper, kurz Geber genannt, wird über mehr oder weniger lange Zuleitungskabel an das Gerät angeschlossen.

Für Geber, die wie die Schwingspule im Magnetfeld oder der Piezoquarz selber niederfrequente Spannungen erzeugen, benötigt man zur Herstellung eines modulierten Trägerstromes eine Zwischenstufe, in der z. B. über eine Gleichrichterbrücke eine Modulation der an die Brücke angelegten Wechselspannung durchgeführt wird. Auf das letztere Verfahren soll jedoch hier, da es in diesem Zusammenhang einen kleinen Umweg bedeutet, nicht näher eingegangen werden.

Es seien hier als Beispiel einige Formen von induktiven Gebern für die Schwingungsmessung gezeigt, die sowohl in Brücken- wie Kompensationsschaltungen benutzt werden können (siehe Fig. 2). Die schematisch dargestellten Geberformen benutzen das induktive Prinzip in unterschiedlicher Weise. Die Bauweisen Nr. 1 und

2 ähneln dem Lehrschen [1] Geber für Dehnungsmessung. Durch die Änderung des Luftspaltes zwischen dem Topfmagnet und dem Joch, infolge der Bewegung der in Federn aufgehängenen Masse, wird die Selbstinduktion der Meßspule geändert. Der Geber Nr. 3 beruht auf dem Prinzip der Gegeninduktion. Die Bewegung der gegeneinander geschalteten äußeren Spulen, die mit dem Spulenkörper die aufgehängene Masse bilden, induziert in der festen mittleren Spule eine Spannung, die in weitem Bereich der Bewegung proportional bleibt. Der Meßkörper ähnelt dem Geber von Hoffmeister [2]; er besitzt Luftspulen und benötigt, damit der Selbstinduktionswert der kleinen Spule genügend groß wird, eine recht hohe Frequenz des Trägerstromes. Die vierte Geberform benutzt ein magneto-elastisches Druck-

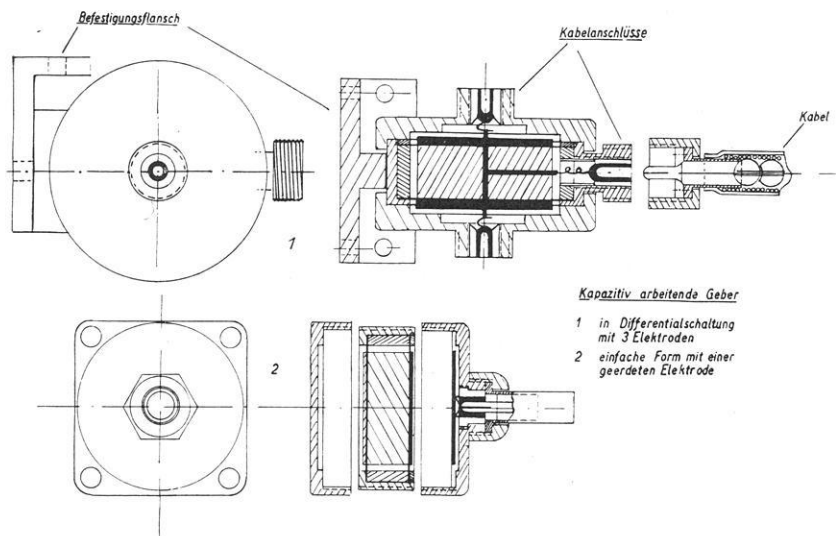


Fig. 3. Neu entwickelte Geberformen für Beschleunigungsmessung

element [3] mit einem Kern aus Permalloy, der seine Permeabilität proportional mit der mechanischen Spannung im Kern ändert. Damit das Druckelement auf langsame Schwingungen anspricht, bedarf es weitaus größerer Massenkräfte als bei anderen induktiven Gebern mit federnd aufgehängter Masse. Das Verfahren wurde bisher zur Druckmessung benutzt.

Während induktive Geber mit Vorliebe in Kompensationsschaltungen benutzt werden, legt man kapazitive Geber in eine Brückenschaltung.

Zur Messung von Fahrzeugbeschleunigungen erwies es sich als notwendig, strapazierfähige, kleine Beschleunigungsmeßkörper zu entwickeln, die starken Dauerbeanspruchungen gewachsen waren und überall im Fahrzeug angebracht werden können, wo Platzmangel die Verwendung eines größeren Gerätes ausschließt (z. B. an der Fahrzeugachse). Für diese Aufgabe eigneten sich kapazitive Geber besonders gut, denn sie sind einfach im Aufbau und können sehr robust aus-

geführt werden [4]. In der Fig. 3 sind zwei Bauformen im Schnitt und in der Aufsicht dargestellt. Die untere Geberform besitzt eine geerdete Elektrode, die durch die Oberfläche der zwischen den beiden Membranen eingespannten Masse gebildet wird und eine isolierte Elektrode im oberen Deckel. Diese obere Elektrode ist in eine Pertinaxplatte eingebettet, die durch den Aufschraubdruck beim Zuschrauben des Deckels fest auf den äußeren Ringkörper gedrückt wird. Zur Fixierung des Elektrodenabstandes dient ein dünner Papierring. An dem Deckel wird das Zuleitungskabel mittels eines Steckstiftes und einer Überwurfmutter befestigt. Beim Aufschrauben des Deckels stellt eine Feder, die an der Hülse für den An-

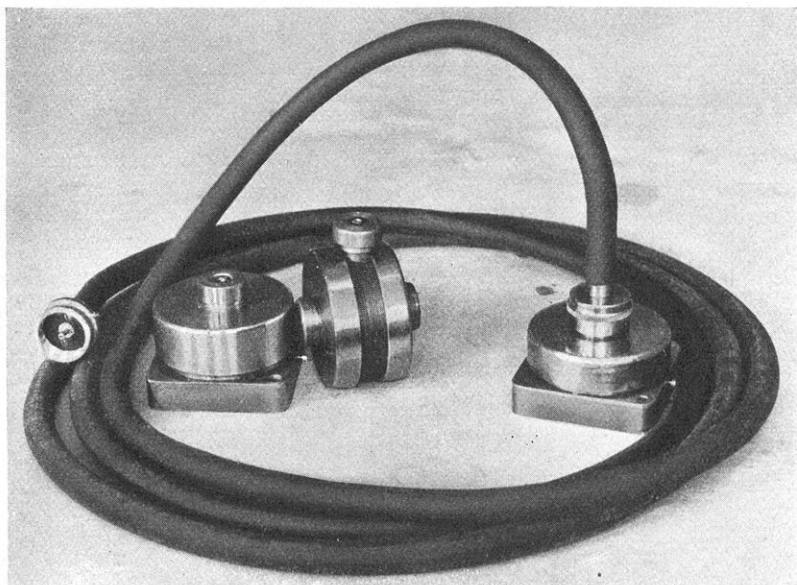


Fig. 4. Äußere Ansicht der kapazitiven Geber

schluß der Kabelseele befestigt ist, Kontakt mit der isolierten Elektrode her. Zur Dämpfung der Eigenschwingung wird in den Raum zwischen den Ringmembranen eine Flüssigkeit, deren Zähigkeit von der Temperatur wenig abhängt, eingeführt. Je nach der Zähigkeit dieses ölartigen Stoffes (Muzin) und den Reibungsflächen in dem ringförmigen Dämpfungsraum kann eine Dämpfung bis zur Aperiodizität erreicht werden. Die Eigenfrequenz richtet sich nach der Steifigkeit der Membranen. Für Beschleunigungsmessungen an langsam bewegten Objekten kann sie bis unter 100 Schwingungen/sek. erniedrigt werden.

Die Federkonstante soll bei wenig gedämpften Meßkörpern bis zu einer Belastung vom 10fachen Gewicht der relativ zum Gehäuse beweglichen Masse ihren Wert möglichst wenig ändern. Die elastische Nachwirkung muß auch bei stärkeren statischen Belastungen äußerst klein bleiben, damit der Ruheabstand der Elek-

troden erhalten bleibt. Für stark beanspruchte Geber eignen sich Membranen aus Federstahl am besten. Nach dem Einspannen in den Meßkörper müssen die Membranen durch heftige Schüttelbeanspruchungen des Gebers einer künstlichen Alterung unterzogen werden, damit sich die inneren Spannungen ausgleichen.

Die obere Geberform der Fig. 3 besitzt drei isolierte Elektroden. Sie wird in Differentialschaltung benutzt. Die Geberdeckel sind so steif, daß selbst starke Bewegungen der Zuleitungskabel keine Relativbewegungen der isolierten äußeren Elektroden verursachen. Die Fig. 4 bringt die äußere Ansicht der Geber. Der rechte, kleinere Geber mit dem angeschlossenen Kabel wurde in der Fig. 3 im Schnitt dargestellt. Der mittlere Meßkörper besitzt drei Elektroden

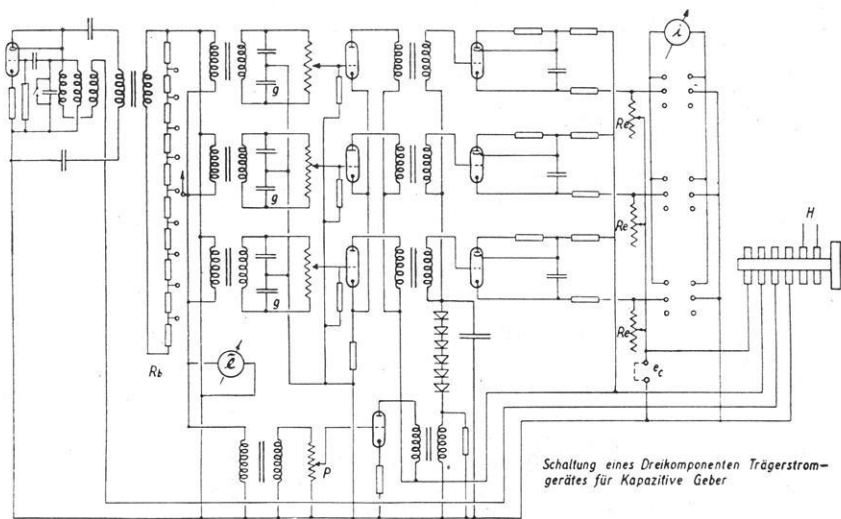


Fig. 5

und ist ähnlich gebaut wie der im Schnitt gezeigte Differentialgeber. Die linke Ausführungsform unterscheidet sich von der rechten nur durch einen steiferen Deckel und eine etwas niedrigere Eigenfrequenz.

Um mit solchen Meßkörpern Beschleunigungen an mehreren Stellen gleichzeitig messen zu können, wurde ein Dreikomponenten-Trägerstromgerät gebaut. Die Schaltung für die Versuchsausführung ist in der Fig. 5 wiedergegeben.

Ein Summer gibt eine Trägerspannung von 1000 oder 5000 Schwingungen je Sek. über einen Stufenschalter auf drei getrennt arbeitende Brücken, in deren Meßzweige die Geber g durch Kabel angeschlossen werden. Die Brücken werden etwas verstimmt betrieben; und zwar wählt man die Verstimmung so groß, daß die Modulation des Trägers auf jeden Fall in den geradlinigen Teil der Spannungs-Widerstandskennlinie der Brücke fällt. Die folgende Verstärkerstufe arbeitet auf einen Gleichrichter, der ständig soweit negativ vorgespannt ist, daß das Auftreten

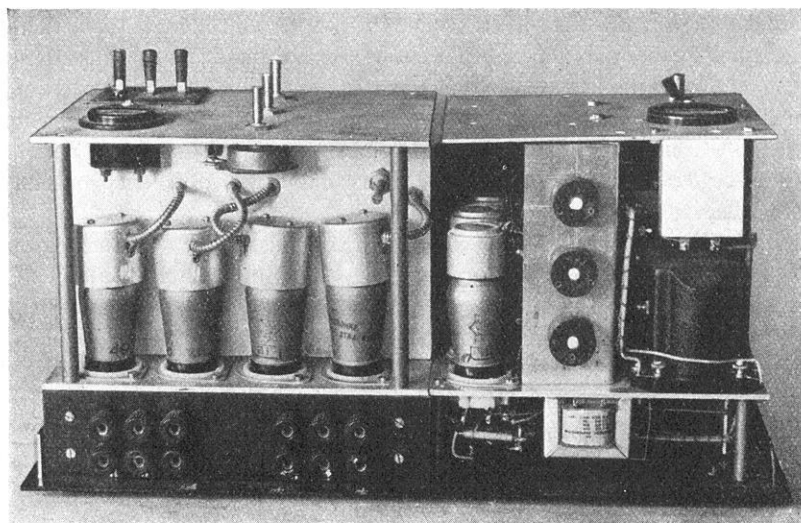


Fig. 6. Aufbau des Drei-Komponentengerätes

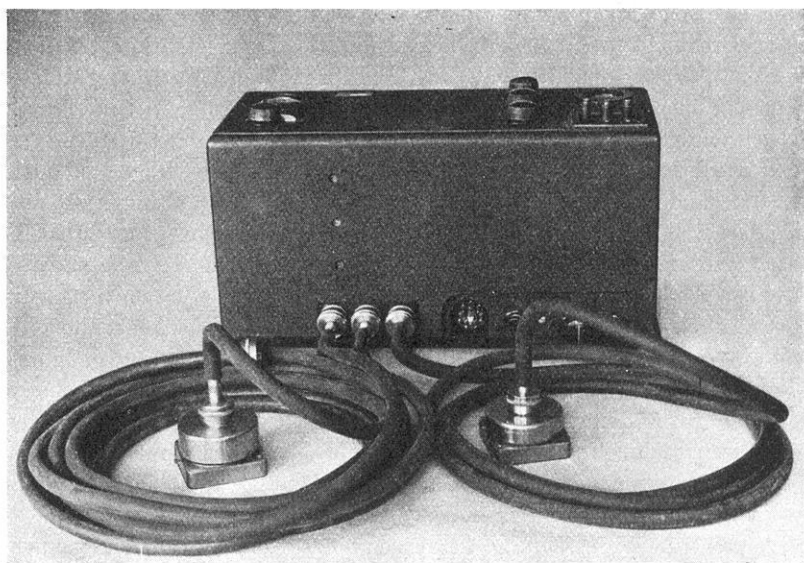


Fig. 7. Äußere Ansicht des Drei-Komponentengerätes für Dehnungs- und Beschleunigungsmessungen mit zwei angeschlossenen Beschleunigungsmessern

von Gitterströmen vermieden wird. Eine Vergrößerung der Trägerspannung, die der Brücke über den Stufenschalter zugeführt wird, vergrößert automatisch auch die negative Vorspannung des Gleichrichters, so daß für alle Brückenspannungen der Anoden-Ruhestrom des Gleichrichters erhalten bleibt: die Gleichrichtung ist also unabhängig von der Größe der Trägerspannung. Die negative Vorspannung wird für alle drei Gleichrichterröhren gemeinsam in einer besonderen Verstärkerstufe aus der Trägerspannung hergestellt. An das Gerät kann ein Dreischleifen-Kofferoszillograph angeschlossen werden.

Fig. 6 zeigt den inneren Aufbau mit den Anschlüssen für den Oszillographen. Fig. 7 bringt die äußere Ansicht von vorne. Der linke Drehknopf dient zum Ändern der Brückenspannung, die an einem Voltmeter abgelesen werden kann. Mit den rechten Drehknöpfen wird der Anodenruhestrom für die angeschlossenen Schleifen kompensiert. Durch die Kipphelb können wahlweise entweder ein Kontrollinstrument oder eine Meßschleife an den Gleichrichterausgang gelegt werden.

Ein eigenes Netzgerät, das seine Spannung entweder von einem 12 Volt-Auto-Akkumulator über einen Umformer oder aus dem Wechselstromnetz erhält, gehört mit zu der Ausrüstung. Es braucht hier jedoch, da es nichts wesentlich Neues bietet, nicht näher erläutert zu werden.

Zur Feststellung der Verstärkung bzw. des Verhältnisses der verstärkten Spannung zur Kapazitätsänderung wurde die Spannung am Verstärkerausgang abhängig von der Kapazitätsänderung im Geber für verschiedene Brückenspannungen aufgetragen (siehe Fig. 8). Für die Messung wurde als Geber ein in Zentimeter geeichter Drehkondensator benutzt. Für die kleinste Verstärkungsstufe ergab sich 0.4 Volt pro cm Kapazitätsänderung. Bei der größten Verstärkung erhielt man 3.78 Volt/cm oder 3.42 Volt/ $\mu\mu\text{F}$. Diese Spannungsänderung tritt im Träger vor der Gleichrichtung auf. Da nun 0.1 Volt Spannungsänderung bei einer betriebsmäßigen Steilheit des Gleichrichters von nur 2.5 mA/Volt noch eine gut meßbare Anodenstromänderung ergibt, so kann in der größten Verstärkungsstufe, also für 3.42 Volt/ $\mu\mu\text{F}$ Spannungsänderung eine Kapazitätsänderung von 29/1000 $\mu\mu\text{F}$ gemessen werden. Diese untere Meßgrenze reicht für die hier vorliegenden Meßzwecke aus. Sie läßt sich bei größerer Steilheit in der Endstufe noch erniedrigen.

Bei einer Geberkapazität von 133 $\mu\mu\text{F}$ und einem Elektrodenabstand von $1/100$ mm beträgt dann die kleinste meßbare Abstandsänderung $2 \cdot 10^{-5}$ mm. Für eine Eigenfrequenz von 400 Schwingungen/sec und ein Gewicht der bewegten Masse von 50 g wird dann die untere Grenze der Beschleunigungsanzeige 12.6 cm/s². Dieser Geber ist infolge seiner starken Federung und seiner kleinen Masse äußerst strapazierfähig. Will man größere Empfindlichkeit, so muß die Eigenfrequenz entsprechend niedriger gelegt oder die Verstärkung erhöht werden.

Fig. 9 soll die Verbesserung der Anzeige des Kondensatorgebers gegenüber dem Kohlebeschleunigungsmesser zeigen. Ein Schwingtisch mit tiefer Resonanzlage wurde durch ein Gummihämmerchen mit ständig kräftiger werdendem Schlag angestoßen und dabei die Beschleunigung mit einem Kohle- und einem Kondensatorbeschleunigungsmesser aufgenommen. Bei kräftiger werdendem

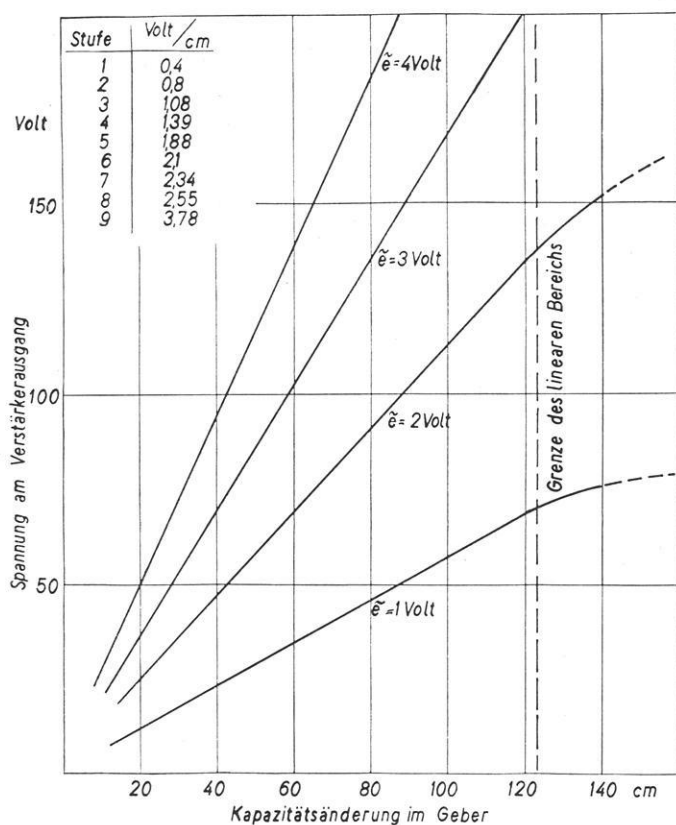


Fig. 8. Eichkurven des Trägerstromgerätes

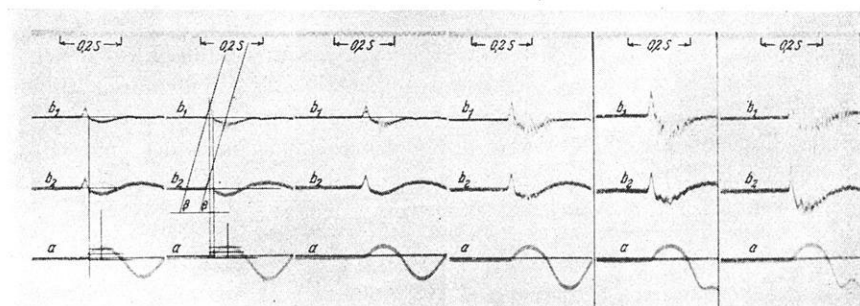


Fig. 9. Aufzeichnung eines allmählich heftiger werdenden Stoßes durch Kondensator- und Kohlebeschleunigungsmesser.

b_1 Kondensatoraufzeichnung der Beschleunigung
 b_2 Kohlaufzeichnung der Beschleunigung
 α der zugehörige Weg der angestoßenen Masse

Schlag erscheinen in der Aufzeichnung des Schwingungsbildes durch den Kohlekörper immer mehr die zu wenig gedämpfte Eigenfrequenz und fälscht die Anzeige. Auch die langsame Einschwingbewegung des schweren Tisches wird von dem Kondensatorgeber besser wiedergegeben als von dem Kohlebeschleunigungsmesser*).

Bei manchen Beschleunigungsmessungen ist eine orientierende Aussage über die Größe und den Verlauf des Schwingweges wünschenswert. Es soll deshalb kurz auf ein Zusatzgerät eingegangen werden, das uns die Möglichkeit gibt, mit hoch abgestimmten Gebern bei periodischen Vorgängen Schwingwegmessungen auszuführen. Es handelt sich um einen zweifach integrierenden Verstärker. Die Integrationsstufen sind so aufgebaut, daß für den Frequenzbereich von 2 Schwingungen

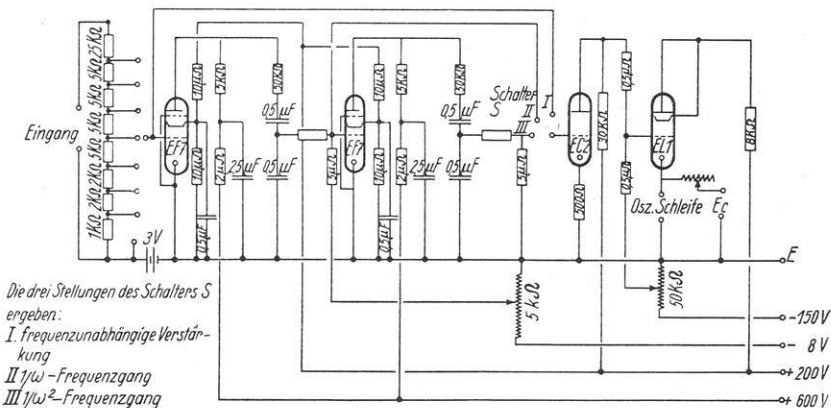


Fig. 10. Schaltung eines Verstärkers mit verschiedenen Frequenzgängen für frequenzlineare Verstärkung und phasenrichtige ein- und zweistufige Integration von Schwingungen und Stößen

pro sec aufwärts die Verstärkung in jeder Stufe praktisch hyperbolisch mit wachsender Frequenz abnimmt; die Ausgangsspannung hinter den beiden Stufen, also mit $1/\omega^2$ abfällt.

Für die Integration von Gleichstromimpulsen und Stoßschwingungen ist eine große Zeitkonstante im Anodenkreis ungünstig. Es gelingt durch Einfügen eines Entladekreises diese Zeitkonstante herabzusetzen und durch einen besonderen Aufbau dieses Kreises eine Verbesserung der Frequenzkurve der Integrationsstufe zu erzielen. Fig. 10 zeigt die Schaltung. Die Integration erfolgt in einer solchen Verstärkerstufe, wie leicht zu beweisen, nach:

$$E_2/E_g = q \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{\omega^2 T^2}}{1 + \omega^2 T^2}}$$

*) Die Einschwingbewegung des Tisches konnte mittels eines kleinen Meßkondensators, der an das Trägerstromgerät angeschlossen wurde, als Wegaufzeichnung auf das gleiche Oszillogramm gebracht werden (s. Kurve a der Fig. 9).

Hierin bedeuten: E_g die Eingangsspannung der Stufe, E_2 die Ausgangsspannung bzw. die Eingangsspannung für die nächste Stufe. T ist die wirksame Zeitkonstante des Kreises und q ein Festwert, der durch das Produkt aus Röhrensteilheit und Anodenkurzschlußwiderstand (für $\omega = \infty$) gegeben ist.

Für kleine Zeitkonstanten wird der Zähler unter der Wurzel groß gegen 1, während der Nenner praktisch zu 1 wird. D. h. der Wert E_2/E_g wächst wie $1/\omega$, für 2 hintereinandergeschaltete Stufen also wie $1/\omega^2$.

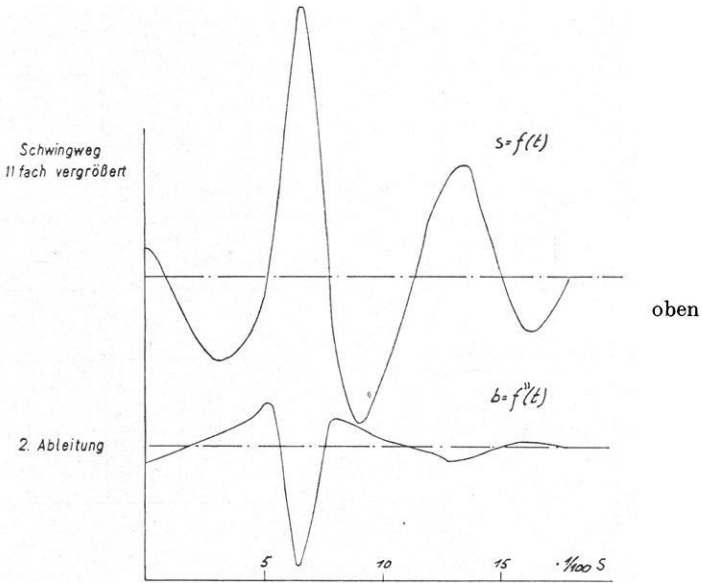
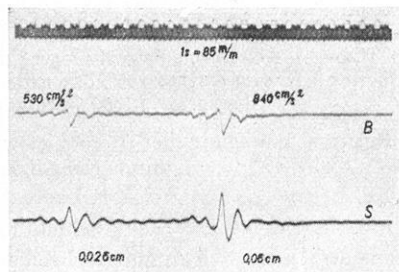


Fig. 11. Verlauf der Beschleunigung und der zweifach integrierten Beschleunigung bei einem Fahrstoß in der Straßendecke.

Unten: Oszillographische Aufzeichnung
Oben: Gerechneter Verlauf



unten

In Verbindung mit diesem Gerät kann ein kleiner Beschleunigungsgeber als Schwingwegmesser auch da noch benutzt werden, wo man normalerweise ein schweres Zweisekundenpendel oder einen Seismographen für die Wegaufzeichnung verwendet. Der Vorteil liegt hier in der Kleinheit und Strapazierfähigkeit des Meßkörpers, der überall angebracht werden kann, wo Schwingwegmessungen durchgeführt werden sollen.

Wie Versuche auf dem Schütteltisch zeigten, können auch Stoßschwingungen, deren Frequenzspektrum im Übertragungsbereich des Verstärkers liegt, zweimal nach der Zeit integriert werden. Es sei dies an dem Beispiel einer Stoßschwingung gezeigt, die durch Überfahren eines Holzkeiles durch einen Lastwagen in einer Fahrbahndecke erzeugt wurde. In geringer Entfernung von der Stoßstelle standen 2 Beschleunigungsmesser nebeneinander auf der Decke. Die Meßwerte des einen wurden unmittelbar aufgezeichnet, die Spannung des anderen Körpers über den

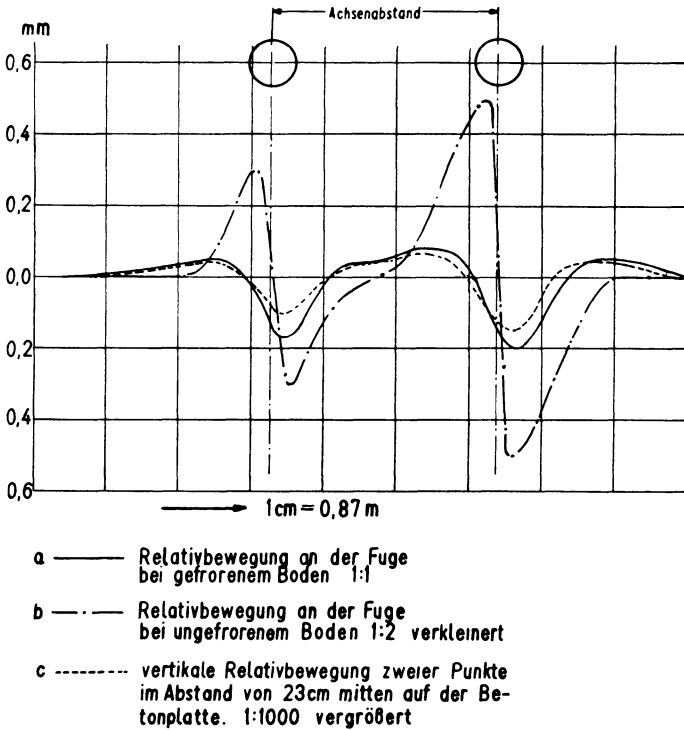


Fig. 12. Relative Bewegung der Betonplatten einer Autostraße beim Überfahren durch einen Lastwagen

zweifach integrierenden Verstärker geschickt und ebenfalls auf demselben Papierfilm aufgeschrieben. Diese Schwingungsschriebe sind im unteren Teil der Fig. 11 zu sehen. Um die Stoßschriebe zu überprüfen, wurde der aufgenommene Schwingweg zweimal graphisch differenziert. Das Ergebnis stimmt, wie man an der vergrößerten Darstellung in der Fig. 11 oben erkennen kann, mit der gemessenen Beschleunigung hinsichtlich des Verlaufs wie auch der Phasenlage in bezug auf den Schwingweg recht gut überein.

Einige Meßbeispiele von langsamen Relativbewegungen, die mit Hilfe des Trägerfrequenzgeräts aufgezeichnet wurden, mögen die vielseitige Anwendungs-

möglichkeit solcher Geräte zeigen. So konnte mit einem Kondensatorplattenpaar als Geber die langsamen Bewegungen der Betonplatten einer Fahrbahn beim Überfahren der Fuge durch einen Lastwagen unter verschiedenen Bedingungen des Kraftschlusses an der Fuge untersucht werden. Bei dieser Messung war die eine Elektrode eines Kondensators mit der einen Betonplatte, die zweite über einen

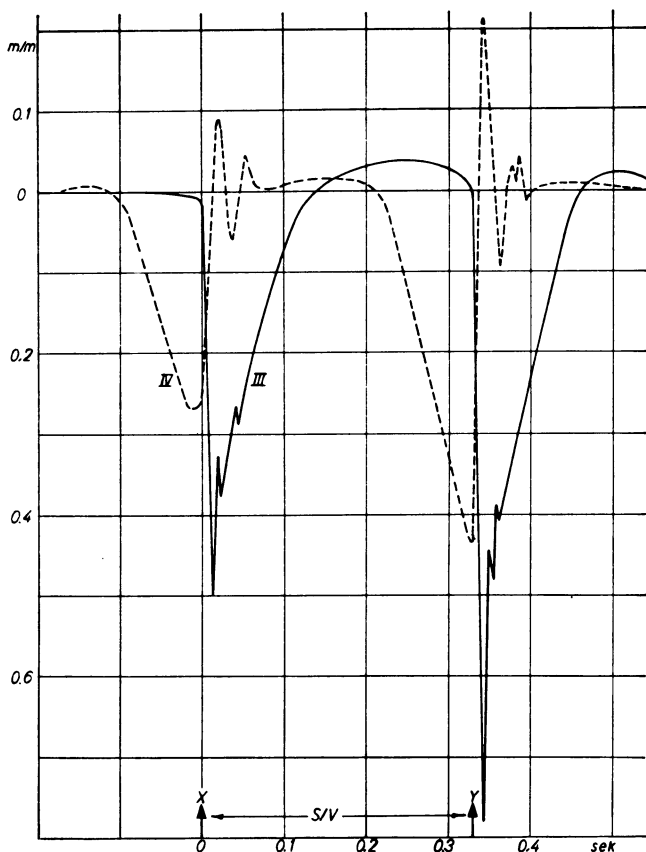


Fig. 13. Absolute Bewegung zweier Betonplatten an der Fuge einer Autostraße beim Überfahren der Fuge durch Lastwagen.

xy zeitlicher Abstand des Durchganges des Vorder- bzw. Hinterrades

Winkelarm mit der anderen Platte verbunden. Fig. 12 bringt einen Ausschnitt aus diesen Messungen, die den Einfluß des Frostes auf den Kraftschluß an der Fuge zeigen sollen. In diesem Falle wirkte sich der Frost ausnahmsweise einmal im günstigen Sinne auf die Eigenschaften der Fahrbahn aus, indem er die Relativbewegungen an der Fuge bedeutend herabsetzte. Bei fehlendem Kraftschluß können an der Fuge ganz beträchtliche Bewegungen auftreten, wie dies aus der

Fig. 13 hervorgeht. Für größere Fahrgeschwindigkeit schwerer Lastwagen haben diese dann den Charakter von Stoßschwingungen. In der Fig. 13 wird das Resultat der absolut gemessenen Bewegung beider Betonplatten an der Fuge wiedergegeben. Bei diesem Versuch war eine Geberelektrode mit einer Betonplatte verbunden, während die andere an einer 1.50 m langen Stange befestigt war, die in den Baugrund der Straße getrieben wurde; nachdem vorher an der Meßstelle ein 90 mm weites Loch von 1 m Tiefe in die Decke gebohrt worden war, in welchem die Stange frei stand.

Auf gleiche Weise wurde die Bewegung eines Punktes mitten auf einer Betonplatte beim Vorbeifahren bzw. Vorbeirollen des Lastwagenrades aufgezeichnet und

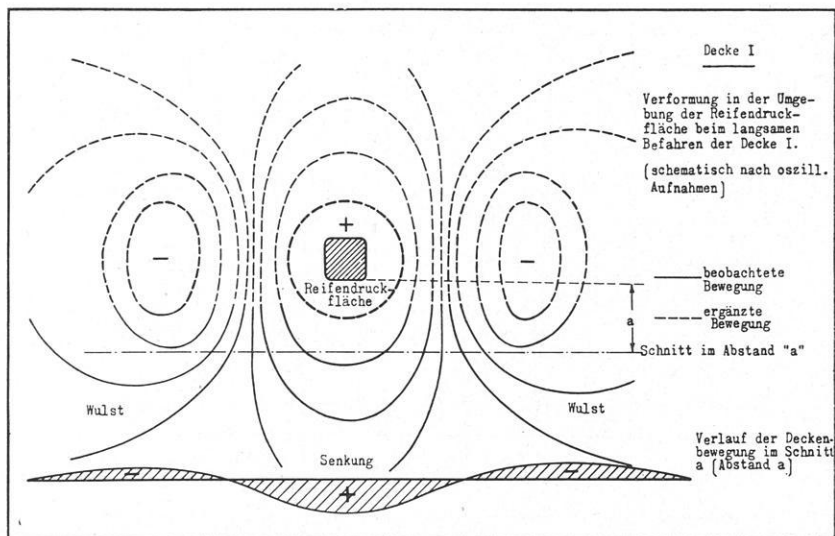


Fig. 14. Gesamtes Verformungsbild in der Umgebung eines Lastwagenrades auf einer jüngeren Betondecke

aus einer Menge von solchen Messungen die elastische Senkungsfigur gefunden, die sich auf der Betonplatte ausbildete (siehe Fig. 14). Diese Verformungsbilder sind, wie die Messungen ergaben, nicht auf allen Straßendecken gleichartig. Auf den meisten Decken fehlen die negativen Bewegungen (Wülste) vor und hinter dem rollenden Rad. Es findet dann nur eine Einsenkung in Form einer Tellerkurve (Boussinesque-Kurve) statt[5].

Zusammenfassung. Infolge vielseitiger Verwendungsmöglichkeit eignet sich das Trägerstrom-Meßverfahren vorzüglich für betriebsmäßige Untersuchungen von Dehnungen, Drücken, Schwingwegen und Beschleunigungen.

Es wird ein Dreikomponenten-Trägerstromgerät beschrieben und seine Anwendung für Beschleunigungs- und Bewegungsmessungen gezeigt.

Als Beschleunigungsmeßkörper wurden hier besonders kleine kapazitive Geber in Form von Kondensatormikrophonen benutzt. Der Aufbau solcher Geber wird an Hand einiger Versuchsmodelle dargestellt.

Um bei Beschleunigungsmessungen eine Aussage über den Verlauf des Schwingeweges machen zu können, kann die Beschleunigung zweimal elektrisch integriert werden. Auf ein solches gleichzeitig als Verstärker arbeitendes Gerät wird kurz eingegangen.

Die Anwendung eines solchen Verstärkers für verschiedene mathematische und physikalische Aufgaben sowie sein zweckmäßiger Aufbau und die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit müssen einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben.

Literaturangaben

[1] A. Thum, O. Svenson u. H. Weiss: Neuzeitliche Dehnungsmeßgeräte. Forsch.-Ing.-Wes. 9, 229—234 (1938).

[2] O. Hoffmeister: Elektrische Verfahren zur Messung von Schwingungen an Motor und Zelle. Jahrbuch 1937 d. Dtsch. Luftfahrtforschung II, S. 283.

[3] W. Janovsky: Magneto-elastische Messung. Arch. techn. Messen V, 132—6; V, 132—8 (1935).

[4] F. I. Meister: Untersuchungen zur Schaffung geeigneter Kraftfahrzeug- und Flugzeugschwingungsmesser. Akust. Z. 3, 271—283 (1938).

[5] F. I. Meister: Über ein Verfahren zur Messung von elastischen und plastischen Verformungen von Straßendecken. Straßenbau-Jahrbuch, Berlin 1940, S. 201—212.

Ausgleichung der $\bar{P}$ -Wellen-Einsätze des Bebens vom 11. Juni 1938 in Belgien

Von Gerhard Schmerwitz in Jena

Durch Anwendung eines Ausgleichungsverfahrens werden die von O. Somville kürzlich veröffentlichten Einsätze der $\bar{P}$ -Wellen des belgischen Bebens neu ausgewertet. Die verhältnismäßig große Herdtiefe wird hierbei bestätigt; die Geschwindigkeit der von dieser Tiefe ausgehenden Wellen ist, wie bereits früher vielfach festgestellt, etwas geringer als der allgemein vorausgesetzte Durchschnittswert. Die hier neu gefundenen Grundwerte passen sich, wie die übrigbleibende Fehlerquadratsumme zeigt, den Stationszeiten mit um die Hälfte geringeren Widersprüchen an.

Wenn hier wie in früheren Fällen [1, 2] Originalauswertungen erneut einer Bearbeitung unterzogen werden, so bedeutet das nicht eine Herabminderung des Wertes der ursprünglich an dem jeweiligen Beben aufgewendeten Arbeit und Mühe, sondern der Anwendung eines Ausgleichungsverfahrens kommt hierbei etwa die Bedeutung einer zweiten Näherung zu. Für sie ist das Vorhandensein der ersten Auswertung eine notwendige Voraussetzung, auch wenn diese nicht immer allen streng physikalischen und mathematischen Anforderungen gerecht wird.

So wird z. B. bei den Originalauswertungen immer mit konstantem Geschwindigkeitswert für v_p von etwa 5.65 km/sec innerhalb der Kruste gerechnet. Das ist