

## **Werk**

**Jahr:** 1943

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:18

**Werk Id:** PPN101433392X\_0018

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X\\_0018](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PID=PPN101433392X_0018) | LOG\_0042

## **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)

### Schrifttum

- [1] Handb. d. Experimentalphysik, Bd. III, 2. Teil (Leipzig 1929).  
[2] Handb. d. Experimentalphysik, Bd. V, Plastische Verformung (Akad. Verlags-  
ges. Leipzig 1930).  
[3] H. Gebelein: Das abrollende physikalische Pendel. Z. f. Geophys. 8, 272 (1932)  
[4] H. Hertz: Gesammelte Werke, Bd. I (Leipzig).  
[5] W. Köller: Untersuchungen über Vorgänge an der Schneide usw. Z. f. Geophys.  
13, 269 (1937).  
[6] M. Moser: Stahl u. Eisen, H. 7 (1933).  
[7] W. Patzke: Untersuchungen über die Genauigkeit von Pendelmessungen an  
fester Station. Z. f. Geophys. 12, 253 (1936).  
[8] G. Schmerwitz: Messung von Schneidenkrümmungsradien. Z. f. Instrkde.  
52, 1 (1932).  
[9] G. Schmerwitz: Einfluß der Schneidenlagerung auf die Meßgenauigkeit  
geophysikalischer Instrumente. Z. f. Geophys. 8 (1932).  
[10] V. Stott: An investigation of problems relating to the use of pivots and jewels  
in instruments and meters. I. Instn. electr. Engrs. 69, 751 (1931).  
[11] H. Tesch: Der Einfluß der Elastizität der Schneide und Unterlage eines  
Pendels auf die Schwingungszeit. Z. f. Geophys. H. 7/8, 289 (1940).  
[12] Handb. d. Werkstoffprüfung, 2. Bd. (Springer, Berlin 1939).  
[13] St. v. Thyssen: Ein Versuch zur Verringerung des Auflagedruckes von  
Schneidegeräten. Meßtechn. 8, 692 (1943).

---

## Über die Ausbreitung an der Erdoberfläche erzeugter periodischer Bodenschwingungen (Maschinenschwingungen) in die Tiefe

Von Dr. L. Mintrop, ord. Professor an der Technischen Hochschule und der Uni-  
versität Breslau. — (Mit 15 Abbildungen)

An der Erdoberfläche bis zu Entfernungen von mehreren Kilometern und in Berg-  
werken bis zu 530 m Tiefe erfolgte seismographische Aufzeichnungen von Maschin-  
schwingungen zeigen, daß das Problem der Ausbreitung von an der Erdoberfläche  
erzeugter periodischer Bodenschwingungen weder ein rein ebenes noch räumliches  
ist. Die Schwingungen breiten sich in den untersuchten Fällen zwar vorzugsweise  
in den obersten Erdschichten aus, sind aber auch in großen Tiefen noch nach-  
weisbar

In einer früheren Abhandlung [1], die das inzwischen von vielen Seiten  
bearbeitete Gebiet der seismographischen Untersuchung der Ausbreitung  
von periodischen Maschinenschwingungen entlang der Erdoberfläche er-  
schlossen hat, habe ich auch ein Beispiel dafür gebracht, daß die Schwin-  
gungen in große Tiefen dringen. Die Fig. 1 und 2 geben die von mir im Jahre  
1908 auf der Schachtanlage 2/2a der Gewerkschaft Constantin der Große  
in Bochum aufgenommenen Seismogramme wieder, von denen das Seismo-

gramm der Fig. 1 an der Erdoberfläche in 210 m Entfernung von einem Großgasmotor, das Seismogramm der Fig. 2 fast vertikal darunter in 386 m Tiefe aufgenommen worden ist. Die Kurven geben eine Horizontalkomponente der Boden-

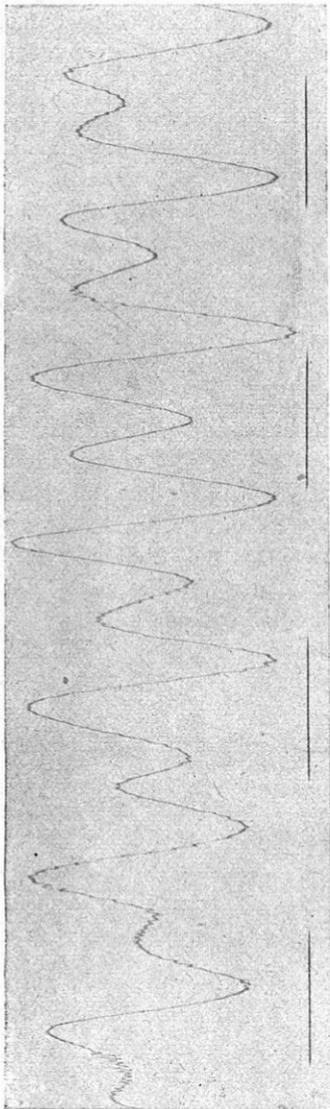


Fig. 1. Original-Horizontal-Seismogramm von Maschinenschwingungen.  
Mit dem Wiechert-Mintrop-Instrument bei 5500facher Vergrößerung über Tage aufgenommen  
in 210 m Entfernung durch L. Mintrop 1908. Registriergeschwindigkeit 38 mm/sec



Fig. 2. Original-Horizontal-Seismogramm von Maschinenschwingungen.  
Mit dem Wiechert-Mintrop-Instrument bei 5500facher Vergröße-  
rung aufgenommen in 386 m Tiefe durch L. Mintrop 1908.  
Registriergeschwindigkeit 3.25 mm/sec

schwingungen in 5500facher Vergrößerung wieder, ihre Amplitude beträgt über Tage  $3 \mu$ , unter Tage nur  $0.2 \mu$ . Die Frequenz der Grundschiwingung über Tage von  $1.78/\text{sec} = 107/\text{min}$  entspricht der Tourenzahl des Motors, die auch in

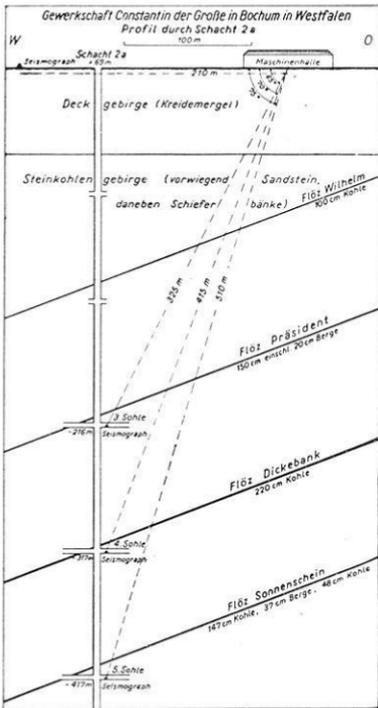


Fig. 3. Profil durch den Schacht 2a der Gewerkschaft Constantin der Große in Bochum

dem unter Tage registrierten Seismogramm enthalten ist. Außerdem zeigen die Kurven in Übereinstimmung mit den doppel-periodisch wechselnden Massendrücken in der Maschine eine Oberschwingung von doppelter Frequenz. Ferner treten Schwebungen auf, die von dem gleichzeitigen Betrieb anderer Maschinen in der näheren oder weiteren Umgebung herrühren. Die Lage der Beobachtungspunkte zu der Maschinenhalle von Constantin ist aus dem Profil der Fig. 3 zu ersehen.

In der eingangs genannten Veröffentlichung bin ich zu der Schlußfolgerung gekommen, daß das Problem der Ausbreitung der periodischen Maschinenschwingungen „weder ein rein ebenes noch räumliches ist“. Später habe ich die Untersuchungen über die Ausbreitung von Maschinenschwingungen zum Zwecke der Ermittlung ihrer schädlichen bzw. störenden Wirkung auf Bauwerke an der Erdoberfläche mit meinem Dreikomponenten-Seismographen erweitert und dabei gelegentlich auch einige Aufnahmen in

Bergwerken gemacht. Die Fig. 4 gibt ein bisher nicht veröffentlichtes Seismogramm wieder, das ich im Jahre 1913 auf der Schachtanlage Alma I der Zeche Rheinelbe und Alma in Gelsenkirchen auf der ersten

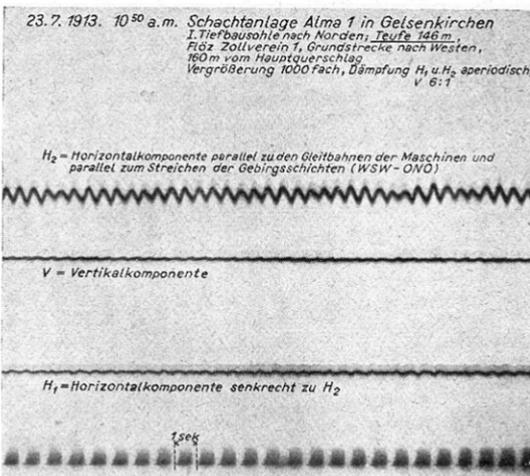


Fig. 4.

Original-Dreikomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (auf  $1/2$  verkl.). Mit dem Instrument von Mintrop bei 1000 facher Vergrößerung aufgenommen in 146 m Tiefe durch L. Mintrop 1913



Unter einem anderen Hüttenwerk des rheinisch-westfälischen Industriebezirktes habe ich im Jahre 1918 in 220 m Tiefe und 350 m Horizontalabstand, d. i. in 410 m Entfernung von der Maschinenzentrale, ein Dreikomponenten-Seismogramm aufgenommen, in dem ebenfalls neben der Frequenz der Tourenzahl der Maschine von 94 in der Minute und der Oberschwingung von doppelter Frequenz Schwebungen auftraten. Die resultierende größte Amplitude der Bodenschwingungen betrug bei gleichzeitigem Betrieb von fünf Großgasmaschinen  $3.5\mu$  gegenüber  $30\mu$  in der entsprechenden Entfernung über Tage. Aus dem Profil der Fig. 6 ist die Lage des Beobachtungspunktes zu der Maschinenhalle zu ersehen.

Auf meine Anregung hin hat G. Bornitz [2] im Jahre 1930 die Ausbreitung von periodischen Maschinenschwingungen entlang der Erdoberfläche und nach der Tiefe zu auf zwei Schachtanlagen im Oberschlesischen Steinkohlenbezirk zum Gegenstand sehr eingehender Untersuchungen gemacht. Dabei sind Entfernungen von 2240 m und Tiefen von 530 m erreicht worden. In der Umgebung der bei Rybnik gelegenen Blücherschächte wurden die drei Komponenten der Bodenschwingungen über Tage an sechs und unter Tage an zwölf Punkten registriert, während an den Delbrückschächten bei Hindenburg über Tage an 8 und unter Tage an 13 Stellen Aufnahmen erfolgten. Die Schwingungen waren auch an allen 25 Beobachtungspunkten unter Tage nachweisbar, wobei die größte Amplitude in 130 m Tiefe und 230 m Horizontalabstand, d. h. in 265 m Entfernung von der Maschinenzentrale zu  $0.65\mu$  gemessen wurde. In der entsprechenden Entfernung über Tage betrug die Amplitude  $18\mu$ .

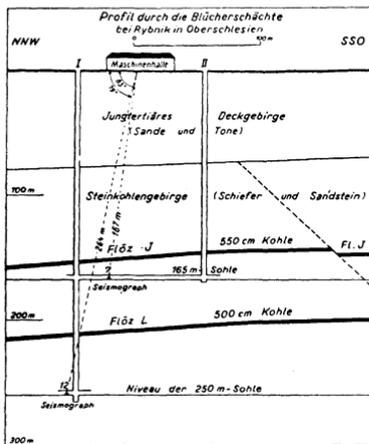


Fig. 7.

Profil durch die Blücherschächte bei Rybnik in Oberschlesien

In der Fig. 7 ist ein Profil durch die Blücherschächte dargestellt, in das die in seinen Bereich fallenden, fast vertikal unter der Maschinenhalle gelegenen Aufstellungspunkte 7 und 12 des Seismographen eingetragen sind. Die in 165 und 250 m Tiefe gewonnenen Seismogramme sind in den Fig. 8 und 9 wiedergegeben. Während der Aufnahme der Kurven lief über Tage nur ein zwischen den Schächten I und II stehender Niederdruckkompressor mit 75 Touren in der Minute. Diese Frequenz tritt in den Horizontalkomponenten der Seismogramme deutlich auf, ist aber auch in der Vertikalkomponente zu erkennen, wenn man ein Lineal an die Kurve legt. Eine harmonische Analyse der Seismogramme, die Bornitz durchgeführt hat, ergibt neben der Grundschwingung nur eine sehr schwache Oberschwingung von doppelter Fre-

quenz. Die Schwingungen waren auch an allen 25 Beobachtungspunkten unter Tage nachweisbar, wobei die größte Amplitude in 130 m Tiefe und 230 m Horizontalabstand, d. h. in 265 m Entfernung von der Maschinenzentrale zu  $0.65\mu$  gemessen wurde. In der entsprechenden Entfernung über Tage betrug die Amplitude  $18\mu$ .

quenz entsprechend den nur sehr geringen Massendrucken dieser Frequenz in der beobachteten Maschine. Dagegen erscheinen in den Kurven Oberschwingungen mit der Frequenz von 40/sec als Folge von Störungen am Beobachtungsort.

Die Untersuchungen bei den Delbrückschächten bezogen sich durchweg auf die Ausbreitung der von mehreren gleichzeitig im Betrieb befindlichen Maschinen ausgehenden Bodenschwingungen. Im allgemeinen liefen vier Großgasmaschinen mit je 107 Touren/min, die zur Verringerung der an der Erdoberfläche in der näheren Umgebung der Maschinenzentrale störenden Bodenschwingungen mit paarweise um  $180^\circ$  gegeneinander versetzten Kurbelstellungen gefahren wurden. Das geologische Profil der Fig. 10 enthält u. a. die Lage der Maschinenhalle und die auf den 130-, 300- und 530-m-Sohlen in dem Bereich dieses Profils benutzten Aufstellungspunkte des Seismographen. In den Fig. 11, 12 und 13 sind die Seismogramme wiedergegeben, die eine Grundschwingung von der Frequenz der Umlaufzahl der Maschine und eine Oberschwingung von doppelter Frequenz sowie geringe Schwebungserscheinungen enthalten.

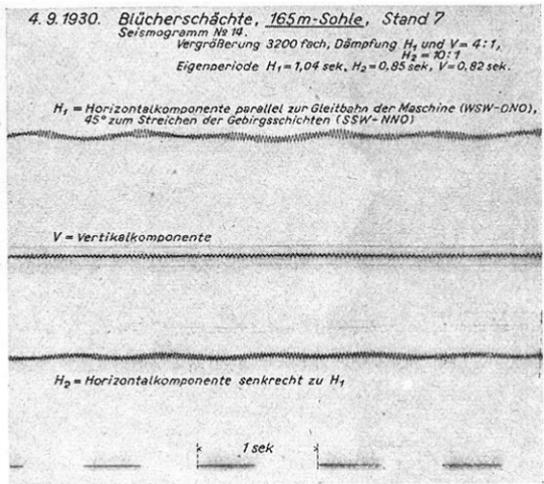


Fig. 8. Original-Dreikomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (auf  $1/2$  verkl.).

Mit dem Instrument von Mintrop bei 3200facher Vergrößerung aufgenommen in 165 m Tiefe durch G. Bornitz 1930

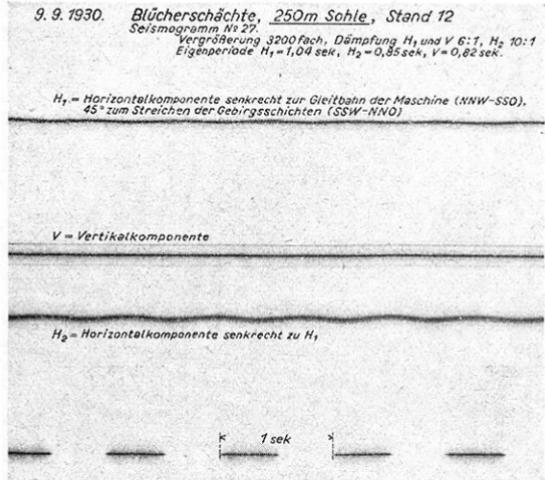


Fig. 9. Original-Dreikomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (auf  $1/2$  verkl.).

Mit dem Instrument von Mintrop bei 3200facher Vergrößerung aufgenommen in 250 m Tiefe durch G. Bornitz 1930

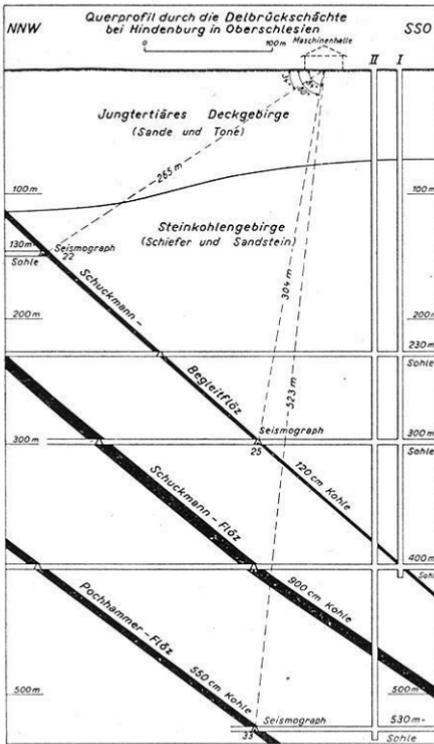


Fig. 10. Querprofil durch die Delbrückschächte bei Hindenburg in Oberschlesien.

In einer neueren Veröffentlichung kommt O. Förtsch [3] bei der Ableitung des von der Frequenz unabhängigen Absorptionskoeffizienten bei lediglich über Tage beobachteten Maschinenschwingungen unter Ablehnung meiner Ansicht, daß das Problem der Ausbreitung der Schwingungen weder ein rein ebenes noch räumliches ist, zu der Schlußfolgerung: „Sinusförmige elastische Wellen breiten sich im Untergrund immer flächenhaft in horizontaler Richtung aus“ (S. 75) und „Maschinenschwingungen breiten sich flächenhaft aus“ (S. 83). Da diese Schlußfolgerung weder im Einklang mit meinen Beobachtungen noch mit den Ergebnissen der eingehenden Untersuchungen von Bornitz steht, habe ich den Leiter der geophysikalischen Abteilung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum, Markscheider W. Löhrr und seinen Mitarbeiter Dr. R. Köhler, die auf dem Gebiete

der Schwingungsmessungen über große Erfahrungen verfügen [4] [5], gebeten, meine eingangs erwähnten Messungen auf der Schachanlage 2/2a der Zeche Constantin der Große in Bochum zu wiederholen. Vor der Auf-

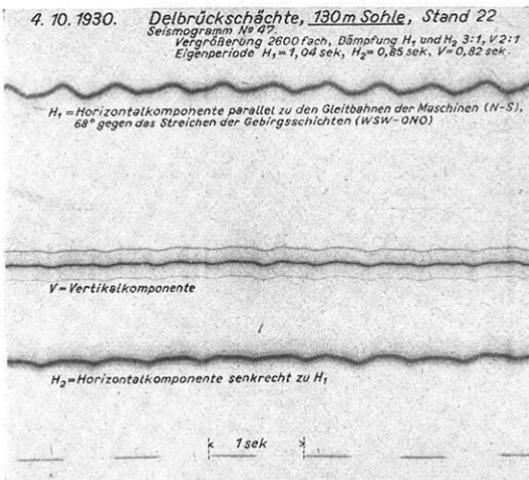


Fig. 11.

Original-Dreikomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (auf  $\frac{1}{2}$  verkl.).

Mit dem Mintrop-Instrument bei 2600 facher Vergrößerung aufgenommen in 130 m Tiefe durch G. Bornitz 1930

nahme der Schwingungen wurde mein auch von Bornitz benutzter Dreikomponenten-Seismograph [2] auf den Schütteltischen der Bochumer Forschungsstelle für Schwingungs- und Schalltechnik eingehend geprüft. Im Anschluß daran erfolgten Registrierungen auf der dritten und fünften Sohle in Tiefen von 285 und 486 m, während meine Messung im Jahre 1908 auf der dazwischen liegenden vierten Sohle in einer Tiefe von 386 m stattgefunden hatte. Die Lage der drei Beobachtungspunkte zur Maschinenhalle ist aus dem geologischen Profil der Fig. 3 zu ersehen, in das auch die Verbindungslinien und Entfernungen zu den Beobachtungspunkten eingetragen sind. Der Großgasmotor mit 107 Touren in der Minute, auf den sich meine Messungen bezogen hatten, war inzwischen abgebaut worden. Die Beobachtungen erfolgten an einem Kompressor mit erheblich geringeren freien Massendrucken bei einer Tourenzahl von  $(77 \pm 2)$ /min auf der dritten Sohle und von  $(80 \pm 1)$ /min auf der fünften Sohle. Es sind die in den Fig. 14 und 15 wiedergegebenen Horizontalkomponenten registriert worden. R. Köhler faßt die Ergebnisse der Messungen und

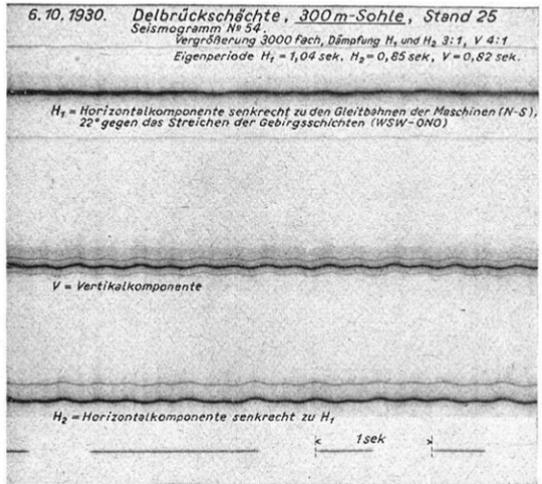


Fig. 12. Original-Dreikomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (auf  $\frac{1}{2}$  verkl.).

Mit dem Mintrop-Instrument bei 3000facher Vergrößerung aufgenommen in 300 m Tiefe durch G. Bornitz 1930

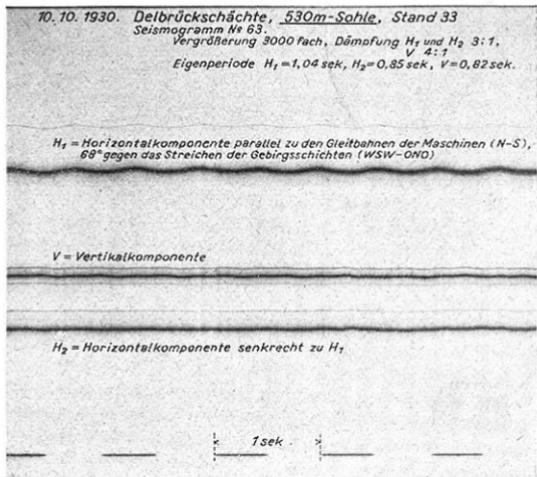


Fig. 13. Original-Dreikomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (auf  $\frac{1}{2}$  verkl.).

Mit dem Mintrop-Instrument bei 3000facher Vergrößerung aufgenommen in 530 m Tiefe durch G. Bornitz 1930

Auswertungen in seinem schriftlichen Bericht vom 12. Februar 1943 zusammen wie folgt:

„Die Untersuchung hat ergeben, daß die von dem über Tage laufenden Verdichter verursachten Schwingungen zwar mit Sicherheit auf der 300- und

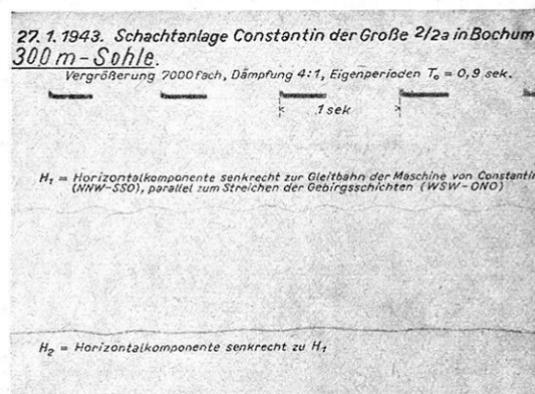


Fig. 14. Original-Horizontalkomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (a.  $\frac{1}{2}$  verkl.).

Mit dem Dreikomponenten-Seismographen von Mintrop aufgenommen in 286 m Tiefe durch R. Köhler und W. Löhr 1943

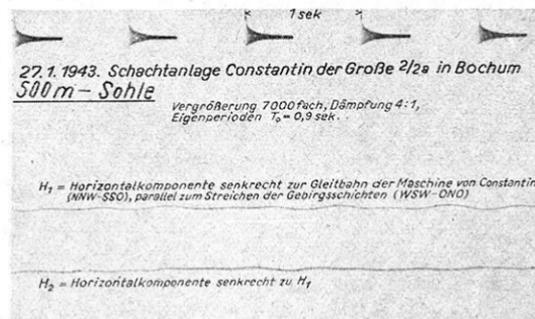


Fig. 15. Original-Horizontalkomponenten-Seismogramm von Maschinenschwingungen (a.  $\frac{1}{2}$  verkl.).

Mit dem Dreikomponenten-Seismographen von Mintrop aufgenommen in 486 m Tiefe durch R. Köhler und W. Löhr 1943

den ergibt sich ein Schwingzahlunterschied der überlagerten Schwingungen von  $60 : 4,5 = 13,3/\text{min}$ . Da die Schwingzahl der aufgezeichneten Schwingungen im Schwebungsminimum offensichtlich geringer ist als im Schwe-

ben festgestellt werden konnten, daß jedoch ihre Schwingweite mit höchstens  $0,1 \mu$  sehr gering war.

Schwingungen einer unbekanntenen, möglicherweise weit entfernten Maschine mit der Schwing- bzw. Drehzahl 122/min waren wesentlich deutlicher zu erkennen; ihre mittlere Schwingweite betrug auf der 300-m-Sohle in 285 m Teufe  $0,17 \mu$ , auf der 500-m-Sohle in 486 m Teufe  $0,10 \mu$ . Beide Schwingungen überlagern sich und ergeben Schwebungserscheinungen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die in der Dissertation von L. Mintrop wiedergegebene Fig. 40, die der unmittlere Ausgangspunkt der vorstehenden Untersuchungen war, ebenfalls

Schwebungserscheinungen zeigt, die unseres Erachtens folgendermaßen gedeutet werden müssen: Die mittlere Schwingzahl der aufgezeichneten Kurve errechnet sich an Hand der Sekundenmarken zu 97/min. Aus der beobachteten Schwebungsdauer von etwa 4,5 Sekunden

bungsmaximum, so ist der überlagerten schwächeren Schwingung die höhere Schwingzahl zuzuordnen. Demgemäß ergibt sich  $97/\text{min} + 13/\text{min} = 110/\text{min}$  an Stelle des nur wenig niedrigeren Wertes  $107/\text{min}$ , der der Wirklichkeit entspricht.“

Bei der von Köhler erwähnten Maschine mit 122 Touren in der Minute, deren Standort nicht ermittelt worden ist, handelt es sich vielleicht um die gleiche Maschine, die nach einer Mitteilung von Köhler in seinem oben erwähnten Bericht die Schwingungen gleicher Frequenz in den Aufzeichnungen des Wiechert-17-t-Pendels in der 2 km vom Schacht Constantin 2/2a entfernt im Stadtpark von Bochum gelegenen Erdbebenwarte verursacht. Bornitz bringt in seiner Abhandlung u. a. Beobachtungen der von einem Hochdruckkompressor mit 122 Touren pro Minute an der Erdoberfläche und in der Tiefe erzeugten Bodenschwingungen. Über Tage betrug die aus drei Komponenten resultierende Schwingweite in 1630 m Entfernung von der Maschine  $0.74 \mu$ , unter Tage in 250 m Tiefe bzw. in 264 m Entfernung vom Kompressor  $0.16 \mu$ .

Die Untersuchungen von Köhler und Löhr haben meine Beobachtungen aus dem Jahre 1908 bestätigt, wonach an der Erdoberfläche erzeugte periodische Bodenschwingungen (Maschinenschwingungen) auch in große Tiefe dringen. Diese Feststellung deckt sich mit den Ergebnissen meiner Messungen aus den Jahren 1913 und 1918 sowie mit dem Resultat der eingehenden Untersuchungen von Bornitz aus dem Jahre 1930. Die Schwingungen breiten sich in den untersuchten Fällen vorzugsweise in den obersten Erdschichten aus, sind aber auch in großen Tiefen noch nachweisbar. „Das Problem der Ausbreitung der periodischen Maschinenschwingungen ist weder ein rein ebenes noch räumliches.“

#### Literatur

[1] L. Mintrop: Über die Ausbreitung der von den Massendruckern einer Großgasmaschine erzeugten Bodenschwingungen. Dissertation Göttingen 1911.

[2] G. Bornitz: Über die Ausbreitung der von Großkolbenmaschinen erzeugten Bodenschwingungen in die Tiefe. Dissertation Breslau 1931. Berlin, Verlag von Julius Springer.

[3] O. Förtsch: Ableitung des von der Frequenz unabhängigen Absorptionskoeffizienten aus Maschinenschwingungen. Dissertation Göttingen. Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts in Göttingen. Zeitschr. f. Geophys. **16**, 57–84 (1940).

[4] W. Löhr: Geophysikalische Einrichtungen des Bergbaues. Technisches Sammelwerk: Der deutsche Steinkohlenbergbau, Bd. 1, Geologie, Geophysik, Betriebsamswesen, S. 393–454. Essen, Verlag Glückauf, 1942.

[5] R. Köhler: Gebäudeerschütterungen durch Maschinenbetriebe. Mitteilungen der Geophysikalischen Abteilung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum 1938, S. 5–27.