

## Werk

**Jahr:** 1933

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:9

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

**Werk Id:** PPN101433392X\_0009

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0009](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0009)

**LOG Id:** LOG\_0074

**LOG Titel:** Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts in Göttingen

**LOG Typ:** section

## 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)

## Seismische Untersuchungen des Geophysikalischen Instituts in Göttingen

### X. Boden- und Gebäudeschwingungen in Rastatt nach dem Erdbeben vom 8. Februar 1933

Von **Fr. Gerecke** und **A. Ramspeck**, Göttingen — (Mit 6 Abbildungen)

Nach dem Erdbeben in Rastatt wurden dort für einige Gebäude die Vergrößerungsfunktionen bestimmt. Aus den Vergrößerungsfunktionen werden Schlüsse gezogen auf die Spannungen, die das Beben in den betreffenden Gebäuden hervorgerufen hat.

**1. Aufgabestellung.** In einer früheren Arbeit von A. Ramspeck\*) ist der Versuch gemacht worden, den schädigenden Einfluß von Erschütterungen auf Gebäude als reine Schubwirkung aufzufassen. Es war gezeigt worden, daß der „mittlere Schubwinkel“ des Hauses bei vorgegebener Bodenamplitude nur von der Vergrößerungsfunktion des Hauses abhängt. Eine Erschütterung ist dann als schädlich zu bezeichnen, wenn der „mittlere Schubwinkel“ einen bestimmten Betrag überschreitet, der von den Festigkeitswerten des Baumaterials abhängt.

Unter „mittlerem Schubwinkel“ ist dabei der Winkel gegen die Vertikale verstanden, um den sich eine Seitenwand des Hauses während der Schwingung geneigt hätte, wenn sie während dieser Schwingung eine Ebene geblieben wäre. Da diese Annahme der wirklichen Verformung eines Gebäudes während der Schwingungen keine Rechnung trägt, können die aus diesen „mittleren Schubwinkeln“ berechneten Spannungen nur eine rohe Annäherung darstellen. In der erwähnten Arbeit von A. Ramspeck ist aber gezeigt worden, daß die aus dem „mittleren Schubwinkel“ berechneten Spannungen größenordnungsmäßig mit den aus der Erdbebenerfahrung zu erwartenden übereinstimmen.

Zur Nachprüfung der Ergebnisse dieser Arbeit wurden nach dem Erdbeben von Rastatt vom 8. Februar 1933 dort einige Gebäude nach der von A. Ramspeck angegebenen Methode untersucht und ihre Vergrößerungsfunktion bestimmt. Aus den Vergrößerungsfunktionen ließen sich dann angenäherte Werte für die Schubspannungen berechnen, die das Beben in den untersuchten Gebäuden hervorgerufen hatte.

Wenn es als erlaubte Annäherung angesehen werden darf, daß man die Wirkung einer Erschütterung auf ein Gebäude als die Wirkung einer reinen Scherschwingung auffaßt, so müssen die so berechneten Schubspannungen größenordnungsmäßig mit den aus den Erdbebenwirkungen sich ergebenden Spannungen übereinstimmen.

---

\*) Zeitschr. f. Geophys. 9, 44—59, 1933.

**2. Kurze Zusammenstellung einiger Erdbebenwirkungen.** Ein Rundgang durch die Stadt ergab zunächst, daß alle Gebäude ohne Rücksicht auf Bauart, Baugrund und Baumaterial infolge des Erdbebens Risse in Wänden und Decken aufwiesen. Diese Risse waren im allgemeinen 1 bis 5 mm breit und folgten nicht den Mauerfugen, sondern liefen quer durch die Bausteine hindurch. Während die Risse in Decken und Fußböden anscheinend regellos verliefen, wurden an den Gebäudeecken häufig Vertikalrisse beobachtet. Auch horizontal verlaufende Risse wurden hier und da festgestellt.

Wie uns berichtet wurde, sind in Rastatt über 1400 Schornsteine eingestürzt. Betten und andere schwere Möbelstücke wurden um 20 cm verschoben. Leichtere Gegenstände, wie Vasen usw., fielen um. Eine allerdings sehr schwache, nachträglich eingezogene Innenwand in der Leopoldskaserne ist infolge des Erdbebens eingestürzt. Pendeluhrn blieben stehen. Alte Baurisse in den Wänden wurden durch das Beben verbreitert.

An zwei Fabrikschornsteinen von etwa 25 m Höhe wurden im oberen Drittel Risse festgestellt, die spiralgig um den Schornstein herumliefen.

Besonders interessant erscheint die Wahrnehmung vieler örtlicher Beobachter, daß in den Gebäuden von Rastatt Verkehrserschütterungen jetzt viel stärker verspürt werden als vor dem Erdbeben.

**3. Gang der Untersuchungen.** Von einer Anzahl von Gebäuden wurde nach der früher beschriebenen Schwungradmethode (l. c.) die Eigenperiode bestimmt. Ferner wurden in diesen Gebäuden die durch den Straßenverkehr bewirkten Erschütterungen im Keller oder Erdgeschoß und im Obergeschoß in der früher geschilderten Weise gleichzeitig registriert.

Auf diese Weise wurden untersucht die Häuser:

Haus 1: Transformatorenhaus Rauenthaler Straße.

Haus 2: Wohnhaus Karlstraße.

Haus 3: Rathaus.

Haus 4: Wohnhaus Schloßstraße.

Haus 5: Wohnhaus Flößerbachweg.

Für die Untersuchungen standen zwei ganz gleichartige Horizontalseismographen —  $H_1$  und  $H_2$  — zur Verfügung, die nach Angaben von Prof. G. Angenheister im Geophysikalischen Institut der Universität Göttingen gebaut worden sind. Sie haben eine Eigenperiode von etwa 0.1 sec und sind mit Luftdämpfung versehen.

Zur Kontrolle wurde gelegentlich noch ein dritter Horizontalseismograph,  $H_B$ , — mit Öldämpfung und einer Eigenperiode von 1 sec — verwendet. Er wurde so neben einem der beiden anderen Seismographen aufgestellt, daß die Schwingungsebenen parallel waren und die Schwingungen beider Seismographen auf denselben Filmstreifen registriert werden konnten.

Fig. 1 zeigt eine solche Registrierung mit Kontrollapparat.

Ebenso wie früher wurden gleichzeitig mit den Seismographenschwingungen Zeitsignale mitregistriert, die die genaue Festlegung gleicher Zeitpunkte auf den im Keller und im Obergeschoß aufgenommenen Seismogrammen ermöglichen.

Die Seismographen wurden vor und nach den Untersuchungen sorgfältig auf dem Schütteltisch des Geophysikalischen Instituts zu Göttingen geprüft; in dem bei den Untersuchungen durchmessenen Periodenbereich waren sie frei von schädlichen Eigenschwingungen.

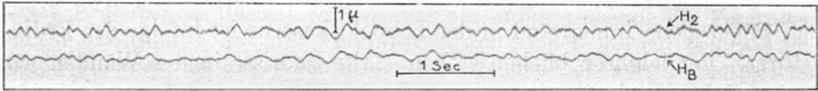


Fig. 1. Bodenschwingungen in Rastatt,  
aufgenommen mit zwei Horizontalseismographen  $H_2$  und  $H_B$   
 $H_2$ : Eigenperiode = 0.1 sec, Luftdämpfung;  $H_B$ : Eigenperiode = 1 sec, Öldämpfung

**4. Ergebnisse der Untersuchungen.** Von Haus 2 und 3 konnte die Vergrößerungsfunktion nicht bestimmt werden, da die Eigenperiode dieser Häuser außerhalb des vom Schwungrad durchlaufenen Periodenbereiches lag. Für das Haus 1 ließ sich die Vergrößerungsfunktion für beide aufeinander senkrechte Richtungen, für Haus 4 und 5 für je eine Richtung bestimmen.

Haus 1 (Fig. 2). Das Haus hat rechteckigen Grundriß; die Langseite ist 10.75 m, die Schmalseite 7.50 m lang. Die Höhe bis zum Dachfirst beträgt etwa 16 m. Das Mauerwerk besteht bis zum zweiten Stock aus Naturstein (Wandstärke 50 cm), dann aus Ziegelstein (Wandstärke 40 cm). Das Haus ist 1.50 m unter dem Straßenniveau verankert. Durch die der Straße zugekehrte Wand geht ein Diagonalriß vom Dach bis zur Erdoberfläche.

Registriert wurde im Erdgeschoß dieses Hauses und in 11.85 m über der Straßenoberfläche. Aus den Seismogrammen ergaben sich folgende Daten für die Vergrößerungsfunktion\*):

a) für Schwingungen parallel der Schmalseite:  $T_0 = 0.26 \text{ sec}$ ,  $v(y) = 0.8$ ,  
 $\rho = 0.026$  oder  $\varepsilon = 1.7 : 1$ .

b) für Schwingungen parallel der Langseite:  $T_0 = 0.23 \text{ sec}$ ,  $v(y) = 1.0$ ,  
 $\rho = 0.03$  oder  $\varepsilon = 1.7 : 1$ .

Haus 4 (Fig. 3). Dies Haus ist ein einstöckiges Haus, das mit einer Schmalwand an ein gleichartiges Gebäude anschließt und auf den drei anderen Seiten frei steht. Registriert wurde zu ebener Erde und in einer Höhe von 2.20 m über der Straßenoberfläche. Die Vergrößerungsfunktion ließ sich nur für Schwingungen

\*)  $T_0$  = Eigenperiode,  $v(y)$  = „Statische Vergrößerung“,  
 $\rho$  = „Dämpfungsgrad“,  $\varepsilon$  = Dämpfungsverhältnis.

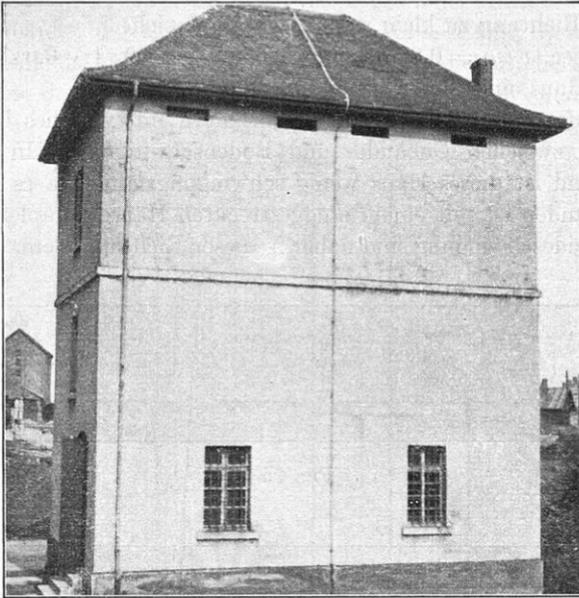


Fig. 2. Transformatorenhaus Rauenthalerstraße (Haus 1)



Fig. 3. Wohnhaus Schloßstraße (Haus 4)



kommt. Zu beachten ist dabei allerdings der Einfluß der Rückkoppelung zwischen Boden und Gebäude, der sich besonders beim Haus 4 (Fig. 4) stark bemerkbar macht. Durch die Rückkoppelung werden hauptsächlich Bodenschwingungen in der Eigenperiode des Gebäudes angeregt. Um den dadurch entstehenden Fehler zu kompensieren, wurde beim Auszählen der Perioden jedesmal die Eigenperiode

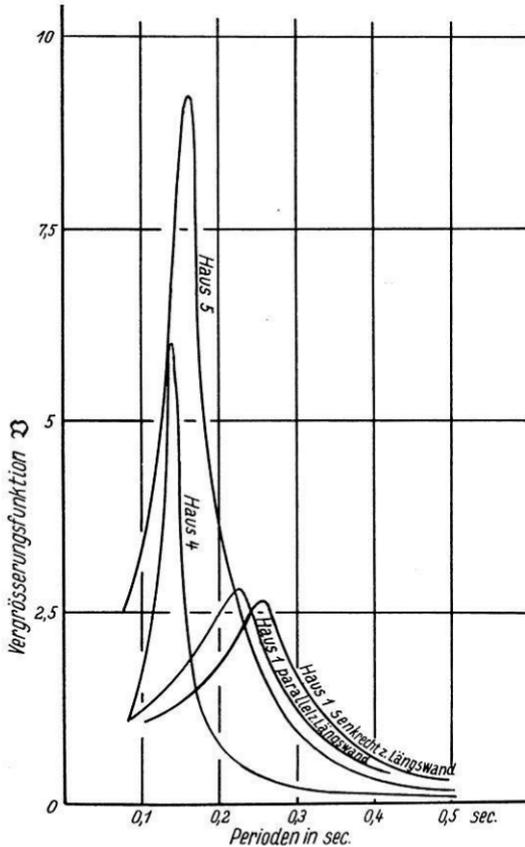


Fig. 5  
Die Vergrößerungsfunktionen der Häuser 1, 4 und 5

des betreffenden Hauses nicht mitgezählt. Die sich so ergebende Periodenhäufigkeitskurve ist in Fig. 6 dargestellt.

Aus der Figur folgt, daß Schwingungen von der Periode 0.3 sec besonders oft unter den Schwingungen des Rastatter Untergrundes auftreten.

Da größere Maschinen von entsprechender Umlaufzahl in Rastatt nicht vorhanden sind, muß also bei 0.3 sec eine Eigenperiode des Rastatter Untergrundes liegen.

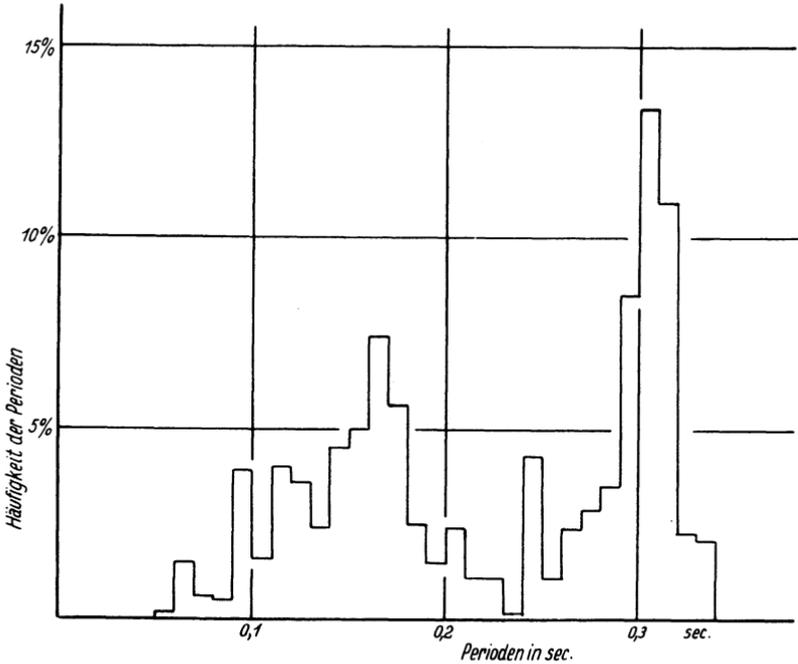


Fig. 6. Periodenhäufigkeitskurve des Rastatter Untergrundes  
 Schematische Darstellung der Häufigkeit, mit der einzelne Perioden in der allgemeinen Boden-  
 unruhe vorkommen, dargestellt in Prozenten der Gesamtzahl der ausgezählten Perioden

**5. Berechnung der von dem Beben hervorgerufenen Schubspannungen.**

Wäre die Periode und Amplitude der zerstörenden Schwingungen des Rastatter Bebens genau bekannt, so könnte man für die untersuchten Gebäude aus ihrer Vergrößerungsfunktion die maximalen „mittleren Schubwinkel“ berechnen, um die die Gebäude während des Bebens von der Vertikalen abgewichen sind. Aus den Schubwinkeln  $\varphi$  lassen sich dann die Schubspannungen in roher Annäherung berechnen nach der Formel

$$K = \varphi \cdot G,$$

wo  $K$  die Schubspannung und  $G$  der Schubmodul ist.

Da alle untersuchten Gebäude Risse in den Mauern aufwiesen, müssen während des Bebens die Schubspannungen so groß gewesen sein, daß an schwachen Stellen des Mauerwerks die Grenze der Schubfestigkeit bereits erreicht wurde. Andererseits müssen die Schubspannungen kleiner gewesen sein als die mittleren Schubfestigkeitswerte des Mauerwerks, da ja nirgends ein Haus völlig zerstört worden ist.

In dieser Betrachtung wurde nicht berücksichtigt, daß Gebäudeschäden auch durch Setzung des Baugrundes infolge des Erdbebens eingetreten sein können. Die

Untersuchungen wurden vielmehr so durchgeführt, als ob alle Gebäudeschäden nur durch Schwingungen verursacht worden seien, wie man das bei festem Baugrund erwarten darf.

Ein Seismogramm der Bodenbewegung während des Bebens in Rastatt selbst existiert nicht. Man ist darum gezwungen, über die Natur des Bebens gewisse Annahmen zu machen. Da der Rastatter Untergrund eine Eigenperiode von 0.3 sec hat und da ferner im Stuttgarter Seismogramm dieses Bebens auch eine Periode von 0.3 sec auftritt, wollen wir annehmen, daß die zerstörenden Bodenschwingungen des Bebens die Periode 0.3 sec gehabt hätten. (Die genaue Bestimmung der zerstörenden Bebenperiode spielt übrigens keine große Rolle, wie später an einem Zahlenbeispiel gezeigt wird, solange die Bebenperiode von der Eigenperiode der Gebäude verschieden ist.) Aus den unter 2. geschilderten Erdbebenwirkungen darf man ferner schließen, daß es sich um ein Beben vom VII. bis VIII. Grad der Sieberg-Mercallischen Erdbebenskala gehandelt hat. Wir nehmen darum die maximale Bodenbeschleunigung zu  $250 \text{ mm/sec}^2$  an. Für die Periode 0.3 sec ergibt sich dann eine maximale Bodenamplitude von 0.6 mm.

Aus dieser Bodenamplitude und den Vergrößerungsfunktionen lassen sich die maximalen „mittleren Schubwinkel“ der untersuchten Gebäude berechnen. Es ergibt sich so:

- Haus 1:  $\varphi = 0.75 \cdot 10^{-4}$ ,
- Haus 4:  $\varphi = 0.55 \cdot 10^{-4}$ ,
- Haus 5:  $\varphi = 0.50 \cdot 10^{-4}$ .

Die diesen Winkeln entsprechenden Schubspannungen sind, wenn man  $G = 50000$  bis  $100000$  annimmt:

- Haus 1:  $K = 4$  bis  $7.5 \text{ kg/cm}^2$ ,
- Haus 4:  $K = 3$  bis  $6 \text{ kg/cm}^2$ ,
- Haus 5:  $K = 2.5$  bis  $5 \text{ kg/cm}^2$ .

(Hätte man statt der Bebenperiode von 0.3 eine Periode von 0.8 sec bei derselben Bodenbeschleunigung von  $250 \text{ mm/sec}^2$  angenommen, so hätten sich Schubspannungen zwischen 3 und  $6 \text{ kg/cm}^2$  ergeben. Der Unterschied zwischen den für 0.3 und 0.8 sec berechneten Schubspannungen ist also nur gering, da bei gleichbleibender Bodenbeschleunigung die Bodenamplitude zwar mit dem Quadrat der Periode wächst, die Vergrößerungsfunktion aber ungefähr in demselben Maße abnimmt.)

Zum Vergleich seien Werte für die Schubfestigkeit einiger Baustoffe angegeben (s. Hütte I).

- Ziegelmauerwerk ungefähr . . . . .  $10 \text{ kg/cm}^2$
- Natursteine . . . . .  $20$  bis  $100 \text{ kg/cm}^2$
- Mörtel . . . . .  $2$  bis  $40 \text{ kg/cm}^2$

Die aus den Vergrößerungsfunktionen berechneten Schubspannungen während des Bebens sind also tatsächlich etwas kleiner als die Schubfestigkeiten, wie es zu erwarten war.

Zu beachten ist noch, daß die Vergrößerungsfunktionen der Gebäude durch das Beben etwas verändert worden sein können. Infolge eines starken Erdbebens lockern sich die einzelnen Teile eines Gebäudes in ihrem Verband. Damit wird die Dämpfung eines Gebäudes gegenüber Erschütterungen geringer. Tatsächlich werden auch jetzt in den Häusern von Rastatt Verkehrserschütterungen stärker verspürt als vor dem Beben. Außerdem wird auch das Maximum der Resonanzkurve eines Hauses — vielleicht infolge der verringerten Dämpfung — nach einem Beben nach größeren Perioden hin verschoben, wie K. Suyehiro\*) nach dem großen japanischen Beben vom 1. September 1923 festgestellt hat. Die Beträge der Vergrößerungsfunktionen werden damit nach einem Erdbeben etwas größer sein als vorher.

Herr Baurat Weigele vom Stadtbauamt Rastatt gab uns liebenswürdigerweise alle erforderlichen Auskünfte und vermittelte uns die Erlaubnis, in einigen öffentlichen und privaten Gebäuden Messungen vorzunehmen. Wir sind ihm für die freundliche Unterstützung unserer Arbeiten zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Auch Herrn Mechaniker Riehn vom Geophysikalischen Institut der Universität Göttingen danken wir für seine freundliche Hilfe bei den experimentellen Arbeiten.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, Juli 1933.

## Bemerkungen zur angewandten Seismik

Von **H. Reich**, Berlin — (Mit 1 Abbildung)

Es wird die Bedeutung der „Verwitterungsschicht“ in der Seismik näher umrissen. Hier mitgeteilte Formeln für den senkrechten Strahlengang führen in dem von O. v. Schmidt gegebenen Beispiel aus Venezuela zu derselben guten Übereinstimmung in der Berechnung der Schichtneigung wie nach den von O. v. Schmidt angegebenen Formeln.

O. v. Schmidt\*\*) hat in dieser Zeitschrift einige interessante Mitteilungen über Probleme und Ergebnisse in der angewandten Seismik veröffentlicht. In einem vor Jahresfrist erschienenen Aufsatz nimmt er zur Frage des Strahlenganges bei dem Verfahren Stellung, das in der angewandten Seismik als das Mintropsche Refraktionsverfahren bekannt ist. Er kommt auf Grund seiner Erfahrungen in Venezuela zu einer völligen Ablehnung des senkrechten Strahlenganges und setzt sich für den schrägen Strahlenverlauf (Fermatsches Prinzip) ein. Man steht heute in der Seismik wohl ganz allgemein auf diesem Standpunkt,

\*) Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., May 1932, p. 97.

\*\*) O. v. Schmidt, Angewandte Seismik, Zeitschr. f. Geophys. 4, 134—146, 1928; Theorie der 3-Schichten-Seismik, ebenda 7, 37—56, 1931; Brechungsgesetz oder senkrechter Strahl? ebenda 8, 376—396, 1932.

und auch ich möchte mich — allerdings mit Vorbehalt — zu dieser Anschauung bekennen. Ich kann aber nicht einsehen, daß durch die Ausführungen von O. v. Schmidt ein wesentliches Beweismaterial für die Richtigkeit dieser Anschauung beigebracht ist.

Richtig und auch durch eigene Beobachtungen vielfach bestätigt ist das, was O. v. Schmidt über die „Verwitterungsschicht“ schreibt. Man wird allerdings sehr oft beobachten, daß sich die in der Geologie als Verwitterungsschicht zu bezeichnende Zone durchaus nicht mit dieser seismischen „Verwitterungsschicht“ deckt. Das mag daran liegen, daß für die Seismik weniger die chemischen Umsetzungen, die wir in der Geologie und der Petrographie als Verwitterung und Zersetzung beschrieben finden, maßgebend sind, als vielmehr physikalische Veränderungen: Diese machen sich in der Lockerung des Gefüges fester Gesteine, in der dabei auftretenden Bildung von Porenräumen und schließlich in den dadurch bedingten Änderungen der elastischen Konstanten bemerkbar. Und diese sind es, die für die angewandte Seismik maßgebend sind. Auch bei lockeren Gesteinen sind es nicht die oben gekennzeichneten Umsetzungen (Entkalkung, Oxydation usw.) die seismisch wesentlich sind, als vielmehr die Änderungen im prozentualen Porenraum und dessen prozentuale Füllung mit Wasser. Es ist nicht angängig, im norddeutschen Diluvium an oberflächennahen Schichten gemessene Geschwindigkeiten selbst in räumlich sehr geringer Entfernung miteinander zu vergleichen. Gerade das von O. v. Schmidt vielfach angezogene Versuchsfeld bei Sperenberg zeigte eindeutig, daß im diluvialen Sand bei tiefem Grundwasserstand recht geringe Geschwindigkeiten auftreten können. Solche geringen Geschwindigkeiten sind von den verschiedensten Beobachtern immer wieder in lockeren Bildungen von der Art mancher diluvialer Ablagerungen festgestellt worden. Jeder, der länger in Norddeutschland seismisch gearbeitet hat, kennt diese geringen Anfangsgeschwindigkeiten, die in alluvialen Dünen ebenso vorkommen können wie in diluvialen Kiesrücken.

Ob durch die theoretischen Darlegungen über den Weg des Energiemaximums wirklich ein *Beweis* dafür erbracht ist, daß es so sein muß, leuchtet mir nicht ein. Sagt doch O. v. Schmidt selbst (1932, S. 381), daß die Energieverhältnisse solcher Grenzwellen, wie er sie annimmt, „noch nicht quantitativ erfaßt“ sind. Unverständlich blieb mir z. B., wie man sich nach O. v. Schmidt eine Energieübertragung „durch die summierten Transversalkomponenten“ denken soll (1932, Anm. S. 386). Wir wissen zwar, daß von den seismischen Strahlen ein Weg ähnlich dem von O. v. Schmidt beschriebenen zurückgelegt wird. Eine allerseits befriedigende physikalische Erklärung hierfür steht jedoch noch aus. Daher kann auch kein theoretischer Beweis für diesen Strahlengang erbracht werden, es kann höchstens die Vorstellung, die der Bearbeiter von diesem Vorgang hat, dargestellt und erläutert werden. Das hat O. v. Schmidt getan, und nichts mehr.

Der wesentlichste Punkt der O. v. Schmidtschen Arbeit ist die Tiefenberechnung aus Venezuela für drei Schichten. Ich habe die von O. v. Schmidt (1932, S. 394) gegebenen numerischen Daten eingesetzt und unter Benutzung der

für den senkrechten Strahlengang geltenden Formeln Tiefe und Neigung der einzelnen Schichtglieder berechnet. Ich bin zu den folgenden Formeln gekommen, bei denen die von O. v. Schmidt (1931, S. 54) angegebenen Formelzeichen sinn- gemäß verwendet worden sind (für  $b$  und  $d$  siehe die Figur).

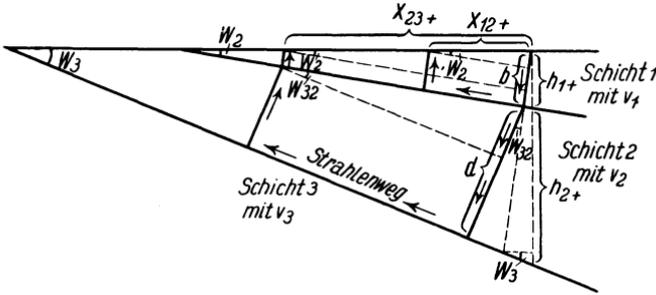


Fig. 1.  $W$  in der Figur =  $\omega$  im Text

Für 2 Schichten.

$$\frac{x_{12\pm}}{v_1} = \frac{2b}{v_1} \mp \frac{x_{12\pm} \sin \omega_3}{v_1} + \frac{x_{12\pm} \cdot \cos \omega_2}{v_2}$$

$$h_{1\pm} = \frac{x_{12\pm}}{2 \cos \omega_2} \left( 1 \pm \sin \omega_2 - \cos \omega_2 \frac{v_1}{v_2} \right),$$

$$2 \sin \omega_2 = \frac{v_1 - v_1}{v_2 - v_2},$$

$$v_2 = \frac{2 \cos \omega_2 \cdot v_{2+} \cdot v_{2-}}{v_{2+} + v_{2-}}$$

Für 3 Schichten.

$$\frac{x_{23\pm} \cdot \cos \omega_2}{v_2} = \frac{2d}{v_2} \mp \frac{x_{23\pm} \cdot \cos \omega_3 \cdot \sin \omega_{32}}{v_2} + \frac{x_{23\pm} \cdot \cos \omega_2 \cdot \cos \omega_{32}}{v_3}$$

$$h_{2\pm} = \left( b + \frac{d}{\cos \omega_{32}} \right) (\cos \omega_2 + \sin \omega_2 \operatorname{tg} \omega_3) - h_{1\pm},$$

$$2 \sin \omega_{32} = \frac{v_3}{v_{3-} \cdot \cos \omega_2} - \frac{v_2}{v_{3+} \cdot \cos \omega_2} - \frac{2 \operatorname{tg} \omega_2 \cdot v_2}{v_1}$$

$$v_3 = \frac{2 \cos \omega_2 \cdot \cos \omega_{32} \cdot v_{3+} \cdot v_{3-}}{v_{3+} + v_{3-}}$$

Unter Benutzung dieser Formeln ergeben sich die folgenden Werte für die gesuchten Größen  $h_{1+}$ ,  $h_{1-}$ ,  $h_{2+}$ ,  $h_{2-}$ ,  $\omega_2$  und  $\omega_{32}$ , wobei die von

O. v. Schmidt errechneten Werte jeweils in Klammern beigefügt sind. Zunächst für die obere Schicht:

$$\begin{aligned}\omega_2 &= 0^\circ 17' \text{ (} 0^\circ 18' \text{)} \\ h_{1-} &= 11.2 \text{ m (} 11.6 \text{ m)} \quad h_{1+} = 18.9 \text{ m (} 19.6 \text{ m)}.\end{aligned}$$

Aus diesen beiden gefundenen Tiefen ergibt sich unabhängig vom Vorherigen:

$$\omega_2 = 0^\circ 11' \text{ (} 0^\circ 12' \text{)}.$$

Für die dritte Schicht folgt dann:

$$\begin{aligned}\omega_{32} &= 0^\circ 31' \text{ (} 0^\circ 35' \text{)} \quad \omega_3 = 0^\circ 48' \text{ (} 0^\circ 56' \text{)} \\ h_{1+} + h_{2+} &= 148.4 \text{ m (} 194.6 \text{ m)} \\ h_{1-} + h_{2-} &= 116.7 \text{ m (} 155.6 \text{ m)}.\end{aligned}$$

Hieraus errechnet sich ein Neigungswinkel ( $\omega_3$ ) für Schicht 3 von  $0^\circ 46'$  ( $0^\circ 53'$ ). Die beiden unabhängigen Berechnungen ergeben also eine Differenz von nur 2 Bogenminuten gegen 3 Bogenminuten bei O. v. Schmidt.

„Diese überraschend gute Übereinstimmung der Tiefenberechnung“ kann somit gar nichts „endgültig klarlegen“; denn bei Annahme des senkrechten Strahlenganges ist die Übereinstimmung noch besser als bei der von O. v. Schmidt gemachten Annahme.

Nur eines kann die Sache hier tatsächlich klären, das ist eine Bohrung: Die absoluten Differenzen in der Tiefenberechnung nach dem einen oder anderen Verfahren sind groß genug, um die Entscheidung für die eine oder andere Berechnungsart zu erbringen. Leider wird aber ein Bohrresultat für die Schicht 3 nicht mitgeteilt. Bei Schicht 2 sind die Differenzen zu gering, und außerdem ist die Grenze Schicht 1/2 nach dem eigenen Urteil von O. v. Schmidt ganz unscharf.

Ähnlich ist es mit der Festlegung von Verwerfungen. Es kommt in der Praxis, auf die O. v. Schmidt besonderen Wert legt, nicht darauf an, ob theoretische und beobachtete Laufzeitkurven übereinstimmen, sondern ob die auf Grund von seismischen Beobachtungen gemachten Angaben mit der Wirklichkeit, d. h. mit den Bohraufschlüssen übereinstimmen. Ich möchte aber gerade in bezug auf die Feststellung von Verwerfungen bezweifeln, ob jemals Laufzeitkurven in ihren Beziehungen zu aufgeschlossenen Verwerfungen so genau festgelegt werden konnten, daß eine einwandfreie Entscheidung über die Art des Strahlenganges zu treffen war. Eine Laufzeitkurve über tektonischen Brüchen muß nämlich auch bei senkrechtem Strahlengang ganz ähnlich aussehen wie das von O. v. Schmidt (1932, S. 382, Fig. 2) gegebene Bild.

Der Zweck dieser Zeilen soll nicht sein, eine Lanze für den auch mir verdächtigen senkrechten Strahlengang zu brechen. Es soll vielmehr nur gezeigt werden, daß das Hauptproblem des Mintropschen Refraktionsverfahrens auch durch die im übrigen durchaus wertvollen Untersuchungen von O. v. Schmidt keineswegs restlos gelöst ist.