Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières

Herausgeber: Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres

Band: 28 (1930)

Heft: 2

Artikel: Geophysikalische Methoden zur Erforschung des Untergrundes [Schluss]

Autor: Baeschlin, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-192075

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SCHWEIZERISCHE
Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik
ORGAN DES SCHWEIZ. GEOMETERVEREINS
REVUE TECHNIQUE SUISSE DES MENSURATIONS ET AMÉLIORATIONS FONCIÈRES
ORGANE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES GÉOMÈTRES

Redaktion: F. BAESCHLIN, Professor, Zollikon (Zürich)
Ständiger Mitarbeiter für Kulturtechnik: Dr. Ing. H. FLUCK, Dipl. Kulturingenieur, Neuchâtel Poudrières, 19. — Redaktionsschluß: Am 1. jeden Monats.
Expedition, Inseraten- und Abonnements-Annahme:
BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR VORM. G. BINKERT, WINTERTHUR

Erscheinend am 2. Dienstag jeden Monats Inserate: 50 Cts. per 1spaltige Nonp.-Zeile	No. 2 des XXVIII. Jahrganges der „Schweiz. Geometerzeitung". 11. Februar 1930	Abonnemente: Schweiz . . . Fr. 12.— jährlich Ausland . . . „ 15.— „ Unentgeltlich für Mitglieder des Schweiz. Geometervereins

Geophysikalische Methoden zur Erforschung des Untergrundes.

Von *F. Baeschlin*, Professor an der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

(Schluß.)

Die Auslösung elastischer Wellen im Untergrunde kann entweder aus natürlichen, nach Ort, Umfang, Stärke und Zeit vom menschlichen Willen unbeeinflußbaren Ursachen in Gestalt von Erdbeben oder künstlich und absichtlich durch Explosionen, durch Fallenlassen von Gewichten, durch periodisch bewegte oder unausgewuchtet umlaufende Massen, durch Unterwasserschallsender usw. erfolgen.

Unter den natürlichen, erdbebenerregenden Vorgängen bilden Auslösungen von inneren Spannungen in der spröden Erdhaut unter Bildung von Brüchen, Verwerfungen, Falten u. drgl., bzw. plötzliche Dislokationen an bereits vorhandenen tektonischen Störungen (Dislokationsbeben) die wichtigste Gruppe. Daneben treten Einstürze unterirdischer Hohlräume und vulkanische Ereignisse als Erreger von Erdbeben zurück.

Für das Studium der geologischen Struktur der obersten Erdschichten besitzen die wenigen, meist schwachen Beben mit ganz geringer Herdtiefe ein besonderes Interesse. De Quervain fand bei den drei Tunnelbeben von Grenchen $V = 5.1—5.25$ km/sek und $\mathfrak{V} = 3.0$ bis 3.1 km/sek.

Verwerfungen, Faltengebirge etc. leiten die Wellen längs ihrer Streichrichtung ganz besonders kräftig fort, während sie senkrecht dazu stark abschwächend wirken.

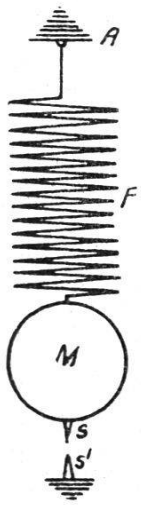
Die Perioden der Erdbebenwellen sind vorherrschend 12 und 18 Sekunden, gelegentlich auch von 16 Sekunden, aber auch von 23 bis 60 Sekunden.

Neben diesen sogenannten langen Wellen kennen wir die seismische Bodenunruhe, die folgende Ursache hat:

1. Bewegungen durch Industrie und Verkehr.
2. Lokale Bewegungen durch Wasserfälle und ähnliche Erschütterungen, Periode 0.005—0.029 Sek.
3. Bewegungen durch vulkanische Vorgänge.
4. Bewegungen durch direkte Wirkung von lokalem Sturm und Böen auf höhere Gegenstände, sowie Bewegungen durch schnelle Luftdruckänderungen; Periode 1—10 Sek.
5. Langperiodische Bewegungen durch Reibung der Luft am Erdboden; Periode 10—60 Sek.
6. Lokale Bewegungen durch Brandungen.
7. Erschütterungen ganzer Kontinente durch Steilküstenbrandung; Periode 4—10 Sek.
8. Bewegungen bei Frost; Periode bis 8 Minuten.

Ein empfindlicher Seismograph ist sozusagen nie in Ruhe.

Das Grundprinzip eines Apparates zur Aufzeichnung der Bodenschwingungen, eines Seismographen, ist das folgende:



Figur 17.

Eine Masse M ist an einer Feder F an dem mit dem Erdboden fest verbundenen Punkt A frei aufgehängt. Die Stärke der Feder sei so bemessen, daß die Kraft, mit der sie die Masse M bei einer kleinen Verrückung nach oben oder nach unten in ihre Ruhelage zurückzieht, gleich der Kraft ist, mit der die Schwere die Masse (als Pendel) bei einer horizontalen Verrückung zurückführen will. Wird die Masse M aus ihrer Ruhelage herausgebracht und dann losgelassen, so führt sie freie Schwingungen um ihre Ruhelage mit der Schwingungsdauer T aus.

Erfährt jetzt der Aufhängepunkt A der Vorrichtung eine gegen T sehr schnelle Verrückung q, so bleibt M im ersten Moment infolge seiner Trägheit in Ruhe; die an M befestigte Spitze s verschiebt sich gegen die am Boden feste Gegenmarke s' um q, aber in entgegengesetzter Richtung. Sogleich aber suchen die elastischen Kräfte die Masse M wieder in ihre Ruhelage gegen A zurückzuführen, wo sie nach einiger Zeit zur Ruhe kommt. Einer langsamen Verrückung q folgt die Masse bereits während dieser Bewegung in Richtung auf ihre neue Endlage. Die Abstandsänderung zwischen s und s' erreicht nicht mehr den vollen Wert q, sondern bleibt um so kleiner, je langsamer die Verrückung vor sich geht. Erfährt der Boden, auf welchem der Apparat aufgestellt ist, nicht einmalige, sondern periodisch hin- und hergehende Verrückungen, deren zeitlicher Verlauf sich durch eine Sinusfunktion darstellen läßt, so führt auch die Masse M mit dem Zeiger s gegen die Marke s' erzwungene Schwingungen aus, welche sich durch eine Sinusfunktion darstellen lassen. Ist die Periode der Verschiebung des Bodens (die sogenannte Störungsperiode) T' und ihre Größe in einer bestimmten

Richtung gleich q, so ist die Amplitude der Marken s und s' gegeneinander

$$q \cdot \frac{T^2}{T^2 - T'^2}$$

Ist T' gegen die Eigenperiode T sehr klein, so ist die Verschiebung der Massen gegeneinander gleich der Bodenverrückung q. Ist $T' = T$, so ist die Vergrößerung unendlich; es findet Resonanz statt.

Ein solches freies Pendel ist infolge der starken Abhängigkeit der Vergrößerung von der Störungsperiode T' praktisch wenig brauchbar. Man bringt daher eine Dämpfungsvorrichtung an, welche ihm dauernd und zwar i. A. seiner momentanen Bewegungsgröße (Masse mal Geschwindigkeit) proportional, Schwingungsenergie entzieht. Unter dem Einflusse einer solchen Dämpfung führt ein einmal angestoßenes Pendel Schwingungen aus, deren Amplitude nach einem Exponentialgesetz abnimmt. Bei seismischen Pendeln pflegt man das Dämpfungsverhältnis gleich 5 und größer zu nehmen.

Steigert man die Dämpfung so weit, daß das Pendel die Ruhelage nach der anderen Seite hin gar nicht mehr überschreiten kann, so erhält man die aperiodische Dämpfung.

Durch die Dämpfung wird die Eigenschwingungsdauer verlängert; die Vergrößerung wird namentlich im Gebiete der Resonanz vermindert; außerdem tritt eine Phasenverschiebung zwischen der Bodenbewegung und dem Pendelausschlage ein.

Um die im allgemeinen kleinen Ausschläge deutlich registrieren zu können, setzt man ein die Bewegung von s gegen s' vergrößerndes Hebelsystem ein, welches sie zugleich in zwei zueinander senkrechtstehende horizontale und eine vertikale Komponenten zerlegt. Man kommt damit zu einem Konstruktionstypus, welcher dem de Quervainschen-Piccard'schen Universalseismometer entspricht, das auf der Erdbebenwarte in Zürich (Degenried) aufgestellt ist.

Im allgemeinen ordnet man aber die Masse M nicht nach allen Seiten frei beweglich an, sondern man läßt ihr nur einen oder höchstens zwei Freiheitsgrade, da bei der Kopplung der Vergrößerungshebelsysteme für zwei oder drei Komponenten der Bewegung die Gefahr gegenseitiger Beeinflussung besteht.

Bei der Wahl eines Seismographen oder Erschütterungsmessers ist die Amplitude der aufzunehmenden Erschütterung für die Wahl der Vergrößerung und der Bereich der vorzugsweise zu untersuchenden Störungsperioden für die Wahl der Eigenperiode maßgebend.

Für Orts- oder Nahbeben $T = 2$ Sekunden; Vergrößerung 1000 bis 2000.

Für Fernbeben mittlerer Epizentralentfernung $T = 6$—20 Sekunden; Vergrößerung 200—300.

Für Fernbeben großer Epizentralentfernung $T = 50$—60 Sekunden; Vergrößerung 10—20.

Für terrestrische Erschütterungsmessungen kommen oft noch

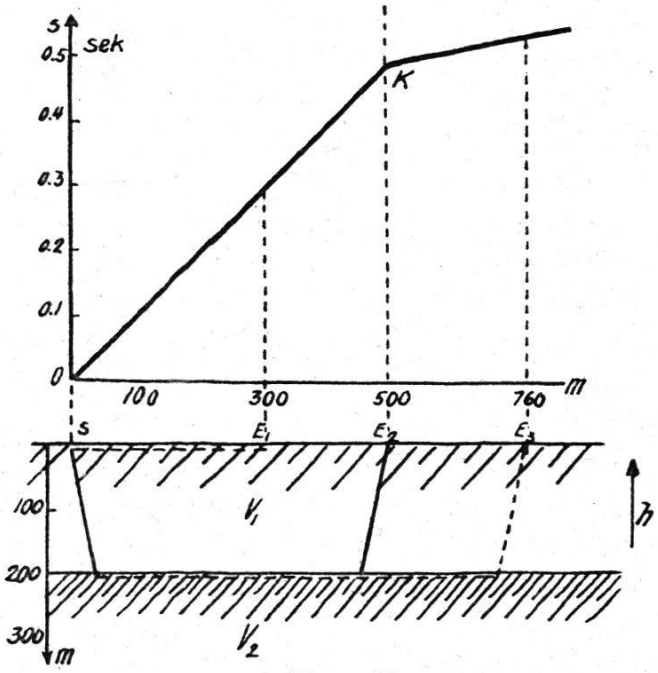
sehr viel kürzere Störungsperioden in Betracht, für die man besondere Erschütterungsmesser baut.

Die gebräuchlichen Typen der Seismometer sind das Horizontalpendel, das Bifilarpendel, das umgekehrte Vertikalpendel und der Federvertikalseismograph. Bezüglich deren Konstruktion sei auf die Werke über Erdbebenkunde verwiesen. Auch auf die Beschreibung transportabler Erschütterungsmesser kann hier nicht eingetreten werden.

Neben diesen sogenannten Verrückungsmessern werden auch sogenannte Geschwindigkeitsmesser und Beschleunigungsmesser konstruiert, auf die wir hier auch nicht eintreten können.

Dieses Forschungsgebiet kann nun in der folgenden Weise zur Erforschung des Untergrundes verwendet werden.

Man bringt in einem Punkte S eine Sprengmasse zur Explosion, wodurch S zu einem Erschütterungszentrum wird, von dem aus Erschütterungswellen ausgehen. In verschiedenen Punkten um S stellt man Erschütterungsmesser auf und bestimmt die Zeit bis zum Eintreffen der ersten Wellen; dadurch kann man die Geschwindigkeit der schnellst laufenden Longitudinalwellen bestimmen. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Longitudinalwellen vom Untergrund abhängt, so kann man Schlüsse über denselben ziehen.



Figur 18.

Die seismischen Methoden sind nun aber ganz besonders geeignet, die tektonische Struktur eines geschichteten Untergrundes zu untersuchen. Ein Beispiel möge dies näher erläutern. Unter einer oberen Decke von lockeren Gesteinen, etwa sandigen Tonen mit der Wellengeschwindigkeit v_1 liegen Schichten eines härteren Gesteines, etwa harte Kalke, mit einer Wellengeschwindigkeit v_2.

Es werde zunächst in S eine Sprengung zerknallt und die Ankunft der Erschütterungswellen an einer geradlinigen Reihe von Erschütterungsmessern E, die beispielsweise von 200 zu 200 Metern aufgestellt seien, registriert. In der darüber aufgezeichneten Laufzeitkurve sind dann zu jeder Basislänge die zugehörigen Laufzeiten als Ordinaten aufgetragen. Bei E_1 entspricht die Laufzeit noch der Wellengeschwindigkeit v_1, ebenso bei E_2; von dieser Stelle ab aber langen die Wellen, welche durch das untere Medium mit der höheren Wellengeschwindigkeit

v_2 gelaufen sind, früher in E an. Die Fortschreitungsgeschwindigkeit längs der Erdoberfläche ist dann von E_2 an gleich v_2, der Wellengeschwindigkeit in der Tiefenschicht. Die Laufzeitkurve hat bei K einen Knick. Aus dem Stück der Laufzeitkurve vor dem Knick erhält man die Wellengeschwindigkeit v_1 in der oberen Schicht, aus dem Stück nach dem Knick die Wellengeschwindigkeit v_2 in der unteren Schicht, und die Lage des Knickpunktes gibt die zur Grenzfläche senkrechte Entfernung h der harten Schicht von der Erdoberfläche. In unserem Beispiel war, wie man sogleich erkennt, $v_1 = 1000$ m/sek, $v_2 = 5000$ m/sek und $h = 200$ m. Für geneigte Schichten und für mehrere Schichten übereinander ergeben sich entsprechende Kurven, die im einzelnen darzulegen hier zu weit führen würde.

Auf diese Weise sind schon größere Untersuchungen durchgeführt worden. Leider fehlen in den bisherigen Veröffentlichungen alle technischen Angaben, sowie solche über die erzielten Genauigkeiten, so daß sie für kritische Darstellung nicht zu verwerten sind. In weitestem Ausmaße lassen sich alle diejenigen Aufgaben behandeln, bei denen Tiefe und das Einfallen von Schichten zu bestimmen sind, von denen je die tieferliegende eine höhere Wellengeschwindigkeit aufweist als die höhergelegene. Bei solchen Messungen werden nach Ambronn schon Genauigkeiten von 2—4 % in den Tiefenangaben erreicht, während die Einfallswinkel bis zu $\frac{1}{2}{}^0$ genau abgeleitet werden können. Gerade bei allen Fragen der Erdölgeologie, wo es sich zunächst um die Aufsuchung von Domen oder Antiklinalen, also um die genaue Feststellung der Einfallswinkel und Einfallsrichtungen handelt, ist die hohe Genauigkeit der seismischen Meßmethoden in der Bestimmung der Einfallswinkel von ganz besonderer Bedeutung.

Aehnliche Gesichtspunkte liegen vor bei seismischen Untersuchungen in Kohlengebieten, insbesondere dann, wenn das produktive Kohlengebirge, wie z. B. in Holland, unter mächtigen Schichten jüngerer Gesteine mit geringerer Wellengeschwindigkeit verborgen liegt und diejenigen Gebiete aufgesucht werden sollen, wo horstähnliche Emporpressungen des Kohlengebirges dieses bis zu geringeren Teufen emporragen lassen. Dankbarste Aufgaben für die seismischen Aufschlußmethoden liefern die Forschungen nach im Untergrunde verborgenen Salzstöcken, deren Tiefe und Form festgestellt und deren Flankeneinfallswinkel bestimmt werden sollen. Bei diesen Untersuchungen ist oft die Kombination der seismischen Untersuchungen mit Schweremessungen längs charakteristischer Profile, die aber erst auf Grund der Ergebnisse der seismischen Untersuchung ausgewählt werden sollen, von besonderem Wert, um das Salzgebirge außer seiner großen Härte auch durch seine geringe Dichte zu charakterisieren. Elektrische Messungen könnten schließlich die Lage der besonders gut leitenden Salzwasserhaut um den Salzstock bestimmen.

Einige Anwendungen bietet auch der Braunkohlenbergbau, wo die geringen Teufen meist nur schwache Sprengschüsse und einfache Apparaturen erfordern. Ferner eignen sich seismische Untersuchungen

oft vorzüglich zur Klärung der Gleichförmigkeit und Standfestigkeit des Untergrundes bei tief- und hochbautechnischen Projektierungen.

Auch bei der Erschließung von unterirdischem Wasser können die seismischen Methoden dann Vorteile bringen, wenn dazu die Klärung der Tektonik, die Kenntnis des Einfallens der Schichten und der Lage von Verwerfungen beitragen kann. Das gleiche gilt für die Erschließung von Erzlagerstätten auf Gängen und Lagern. Die Erze selbst können im allgemeinen, wenn es sich nicht um besonders massige Vorkommen handelt, seismisch nicht unmittelbar nachgewiesen werden. In zahlreichen Fällen ist aber auch schon die zuverlässige Lokalisation von begleitenden Schichten mit ausgezeichneter Wellengeschwindigkeit oder von erzführenden Gangspalten oder -Zonen von weittragender wirtschaftlicher Bedeutung. Gerade bei solchen Aufgaben kann die sachgemäße Kombination der seismischen Methoden mit anderen geeigneten physikalischen Aufschlußmethoden, insbesondere elektrischen und magnetischen Messungen, erhebliche Vorteile bringen.

Ich schließe meine Ausführungen mit der Zusammenstellung der verwendeten und empfehlenswerten Literatur des Gebietes.

Literatur.

Ambronn, Dr. Richard, Göttingen, Methoden der angewandten Geophysik aus: Wissenschaftliche Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe, Band XV. Verlag von Theodor Steinkopf, Dresden und Leipzig, 1926. 15 × 21 cm, 258 Seiten, mit ausführlichem Literaturverzeichnis.

Sieberg, Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde, Jena, 1923 (572 Seiten).

Eötvös, Baron Roland von, Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage. Verhandlungen der XV. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, 20.—28. Sept. 1906 in Budapest. Berlin, 1908, pag. 337—395.

Derselbe, Bericht über geodätische Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage. Verhandlungen der XVI. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, 21.—29. September 1909 in London. Berlin, 1910, pag. 317—350.

Derselbe, Bericht über die Arbeiten mit der Drehwage, ausgeführt im Auftrage der kgl. Ungarischen Regierung in den Jahren 1909—1911. Verhandlungen der XVII. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, 17.—27. September 1912 in Hamburg. Berlin, 1913, pag. 427—438.