

Mitteilungen der Erdbeben-Kommission

Neue Folge — Nr. L

Vorrichtung zum mechanischen Auswerten von Bebenkurven

Von

Wilhelm Schmidt

(Mit 1 Textfigur)

Wien, 1917

Aus der kaiserlich-königlichen Hof- und Staatsdruckerei

In Kommission bei Alfred Hölder

k. u. k. Hof- und Universitätsbuchhändler

Buchhändler der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften

Die »Mitteilungen der Erdbeben-Kommission« erschienen bisher in den Sitzungsberichten der mathem.-naturw. Klasse, Abteilung I. Von nun an werden sie als besondere Ausgabe veröffentlicht werden.

Bisher sind folgende Nummern der »Mitteilungen« ausgegeben worden:

- I. Bericht über die Organisation der Erdbeben-Beobachtung nebst Mitteilungen über während 'des Jahres 1896 erfolgte Erdbeben, zusammengestellt von Edmund v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft II) — K 60 h.
- II. Bericht über das Erdbeben von Brüx am 3. November 1896, von Friedrich Becke (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft II) — K 50 h.
- III. Bericht über das Erdbeben vom 5. Jänner 1897 im südlichen Böhmerwalde, von Friedrich Becke (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft III) — K 40 h.
- IV. Bericht über die im Triester Gebiete beobachteten Erdbeben am 15. Juli, 3. August und 21. September 1897, von Eduard Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft IX) — K 40 h.
- V. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1897 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben, zusammengestellt von Edmund v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft V) 3 K 40 h.
- VI. Die Erderschütterungen Laibachs in den Jahren 1851 bis 1836, vorwiegend nach den handschriftlichen Aufzeichnungen K. Deschmanns, von Ferdinand Seidl (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft VI) — K 50 h.
- VII. Verhalten der Karlsbader Thermen während des voigtländisch-westböhmischen Erdbebens im Oktober—November 1897, von Josef Knett (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft VI) 2 K 60 h.
- VIII. Bericht über das Graslitzer Erdbeben vom 24. Oktober bis 25. November 1897, von Friedrich Becke (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft VII) 5 K 40 h.
- IX. Bericht über die unterirdische Detonation von Melnik in Böhmen vom 8. April 1898, von Johann N. Woldřich (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft X) — K 90 h.
- X. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1898 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben, zusammengestellt von Edmund v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft IV) 3 K 20 h.
- XI. Die Einrichtung der seismischen Station in Triest und die vom Horizontalpendel aufgezeichneten Erdbebenstörungen von Ende August 1898 bis Ende Februar 1899, von Eduard Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft V) 1 K — h.
- XII. Übersicht der Laibacher Osterbebenperiode für die Zeit vom 16. April 1895 bis Ende Dezember 1898, von Ferdinand Seidl (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft V) — K 70 h.
- XIII. Bericht über das obersteirische Beben vom 27. November 1898, von Rudolf Hoernes (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft V) 1 K 10 h.
- XIV. Bericht über die obersteirischen Beben des ersten Halbjahres 1899 (zumal über die Erschütterungen vom 1., 7. und 29. April), von Rudolf Hoernes (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft VIII) 2 K 10 h.
- XV. Bericht über Erdbebenbeobachtungen in Kressmünster, von Josef Schwab (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft II) 1 K 10 h.
- XVI. Bericht über das niederösterreichische Beben vom 11. Juni 1899, von F. Noë (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft II) — K 60 h.
- XVII. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerťschen Horizontalpendel vom 1. März bis Ende Dezember 1899, von Eduard Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft II) — K 90 h.
- XVIII. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1899 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben, zusammengestellt von Edmund v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft III) 3 K 30 h.

- XIX.** Die tägliche periodische Schwankung des Erdbodens nach den Aufzeichnungen eines dreifachen Horizontalpendels zu Triest, von Eduard Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft VII) 3 K 20 h.
- XX.** Über die Beziehungen zwischen Erdbeben und Detonationen, von Josef Knett (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft IX) K 80 h.
- XXI.** Bericht über das Detonationsphänomen im Duppauer Gebirge am 14. August 1899, von Josef Knett (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft IX) . . . 1 K — h.

Neue Folge.

- I.** Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Lemberg, von W. Láška 1 K 90 h.
- II.** Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1900 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, von Edmund v. Mojsisovics 2 K 30 h.
- III.** Bericht über die seismischen Ereignisse des Jahres 1900 in den deutschen Gebieten Böhmens, von V. Uhlig 3 K — h.
- IV.** Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1900, von P. Franz Schwab K 60 h.
- V.** Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehler'schen Horizontalpendel im Jahre 1900, von Eduard Mazelle 1 K — h.
- VI.** Das nordostböhmisches Erdbeben vom 10. Jänner 1901, von J. N. Wolf Fich 1 K 60 h.
- VII.** Erdbeben und Stoßlinien Steiermarks, von R. Hoernes 2 K 10 h.
- VIII.** Die Erdbeben Polens. Des historischen Teiles I. Abteilung, von W. Láška — K 80 h.
- IX.** Bericht über die Erdbeben-Beobachtungen in Lemberg während des Jahres 1901, von Prof. Dr. W. Láška 1 K 10 h.
- X.** Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1901 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, von Edmund v. Mojsisovics 3 K 30 h.
- XI.** Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehler'schen Horizontalpendel im Jahre 1901, nebst einem Anhang über die Aufstellung des Vicentini'schen Mikroseismographen, von Eduard Mazelle 1 K 20 h.
- XII.** Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1901, von Prof. P. Franz Schwab — K 40 h.
- XIII.** Das Erdbeben von Saloniki am 5. Juli 1902 und der Zusammenhang der makedonischen Beben mit den tektonischen Vorgängen in der Rhodopemasse, von R. Hoernes 2 K — h.
- XIV.** Über die Berechnung der Fernbeben, von Prof. Dr. W. Láška . . . — K 30 h.
- XV.** Die mikroseismische Pendelunruhe und ihr Zusammenhang mit Wind und Luftdruck, von Eduard Mazelle 2 K 60 h.
- XVI.** Vorläufiger Bericht über das erzgebirgische Schwarmbeben vom 13. Februar bis 25. März 1903, mit einem Anhang über die Nacherschütterungen bis Anfang Mai, von J. Knett — K 80 h.
- XVII.** Das Erdbeben von Sinj am 2. Juli 1898, von A. Faidiga 2 K 90 h.
- XVIII.** Das Erdbeben am Böhmischem Pfahl am 26. November 1902, von J. Knett — K 80 h.
- XIX.** Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1902 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, von Edmund v. Mojsisovics. (Mit einem Anhang: Bericht über die Aufstellung zweier Seismographen in Píbram, von Dr. Hans Benndorf.) 2 K 60 h.
- XX.** Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehler'schen Horizontalpendel im Jahre 1902, von Eduard Mazelle 1 K 40 h.
- XXI.** Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1902, von F. Schwab — K 50 h.
- XXII.** Bericht über die seismologischen Aufzeichnungen des Jahres 1902 in Lemberg, von Prof. Dr. W. Láška — K 70 h.

- XXIII. Über die Verwendung der Erdbebenbeobachtungen zur Erforschung des Erdinnern, von Prof. Dr. W. Lásk a — K 40 h.
- XXIV. Berichte über das makedonische Erdbeben vom 4. April 1904, von Prof. R. Hoernes 1 K — h.
- XXV. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1903 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, von Edmund v. Mojsisovics 3 K 40 h.
- XXVI. Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1903, von Prof. P. Franz Schwab — K 40 h.
- XXVII. Bericht über das Erdbeben in Untersteiermark und Krain am 31. März 1904, von Prof. Dr. R. Hoernes und Prof. F. Seidl 1 K — h.
- XXVIII. Jahresbericht des Geodynamischen Observatoriums zu Lemberg für das Jahr 1903, nebst Nachträgen zum Katalog der polnischen Erdbeben, von Prof. Dr. W. Lásk a — K 60 h.
- XXIX. Über die Art der Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Erdinneren (I. Mitteilung), von Dr. Hans Benndorf — K 60 h.
- XXX. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebur-Ehlerl'schen Horizontalpendel im Jahre 1903, nebst einer Übersicht der bisherigen fünfjährigen Beobachtungsreihe, von Eduard Mazelle — K 90 h.
- XXXI. Über die Art der Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Erdinnern (II. Mitteilung), von Dr. Hans Benndorf 1 K 50 h.
- XXXII. Über das Mürtzaler Erdbeben vom 1. Mai 1885, von Dr. Franz Heritsch 2 K 40 h.
- XXXIII. Beschreibung des seismischen Observatoriums der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien, von Dr. Viktor Conrad 1 K — h.
- XXXIV. Bericht über das Erdbeben vom 19. Februar 1908, von Dr. Franz Noë 1 K — h.
- XXXV. Über die pulsatorischen Oszillationen (mikroseismische Unruhe) des Erdbodens im Winter 1907/1908 in Wien, von Dr. Rudolf Schneider . 1 K 50 h.
- XXXVI. Die zeitliche Verteilung der in den österreichischen Alpen- und Karstländern gefühlten Erdbeben in den Jahren 1897 bis 1907, von Dr. Viktor Conrad 1 K — h.
- XXXVII. Die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen in verschiedenen Tiefen, von Prof. W. Trabert — K 30 h.
- XXXVIII. Über seismische Laufzeiten, von Prof. V. Lásk a — K 40 h.
- XXXIX. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1909 (mit einigen Hilfstabellen zur Analyse von Bebenogrammen), von Dr. V. Conrad 1 K 30 h.
- XL. Das Scheibbs'er Erdbeben vom 17. Juli 1876, von A. Kowatsch . . 1 K 70 h.
- XLI. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1910, von Dr. Rudolf Schneider . . 1 K 20 h.
- XLII. Bericht über das Erdbeben in den Alpen vom 13. Juli 1910, von Dr. Josef Schorn 2 K — h.
- XLIII. Das mittelsteirische Erdbeben vom 22. Jänner 1912, von Dr. Franz Heritsch — K 80 h.
- XLIV. Die zeitliche Verteilung der in den Jahren 1897 bis 1907 in den österreichischen Alpen- und Karstländern gefühlten Erdbeben (ein Beitrag zum Studium der sekundär auslösenden Ursachen der Erdbeben) (II. Mitteilung), von Prof. V. Conrad — K 80 h.
- XLV. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1911, von Dr. Rudolf Schneider . . 1 K 30 h.
- XLVI. Über die Bestimmung von Azimut und scheinbarem Emergenzwinkel longitudinaler Erdbebenwellen, von H. Benndorf — K 60 h.
- XLVII. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1912, von Dr. Rudolf Schneider . . 1 K 30 h.
- XLVIII. Seismische Aufzeichnungen in Laibach, gewonnen an der Erdbebenwarte im Jahre 1913, von Prof. A. Achitsch — K 80 h.
- XLIX. Das Judenburg'er Erdbeben am 1. Mai 1916, von Dr. Franz Heritsch — K 60 h.

Vorrichtung zum mechanischen Auswerten von Bebenkurven

Von

Wilhelm Schmidt

(Mit 1 Textfigur)

(Vorgelegt in der Sitzung vom 15. Februar 1917)

(Vorschlag mechanischer Auswertung.) Vollständiges Auswerten von Bebenaufzeichnungen erfordert, wenn es mit den Hilfsmitteln der Mathematik geschieht, umständliche Rechnung und kann manche Apparateinflüsse, z. B. Schreibfederreibung, Aufzeichnung in Bogenlinien bei kurzem Schreibarm, innere Reibung der Achsenfedern, nur schwierig und kaum vollständig berücksichtigen. Diesem Verfahren gegenüber möchte ich ein anderes vorschlagen, das man als mechanisches Auswerten bezeichnen könnte: man bewegt den ganzen Erdbebenapparat willkürlich so, daß er eine mit dem Bebenogramm übereinstimmende Aufzeichnung liefert. Der leicht zu registrierende Verlauf der dabei angewandten Verrückungen gibt dann die gewünschte Auswertung.

Am entsprechendsten wäre es, das Bebenpendel, das die ursprünglichsten Aufzeichnungen geliefert hat, zu verwenden; nur scheidet es daran, daß bei den genaueren die zu bewegendenden Massen zu groß, die zurückzulegenden Wege infolge der starken Vergrößerung zu klein wären. Man verwendet deshalb einen besonderen Apparat, der den anderen in allem Wesentlichen vertreten kann, d. h. dieselbe Schwingungsdauer, Dämpfung usw. besitzt; auf diese Bestimmungsstücke kommt es ja allein an, sobald der Seismograph eine nach dem Pendel-

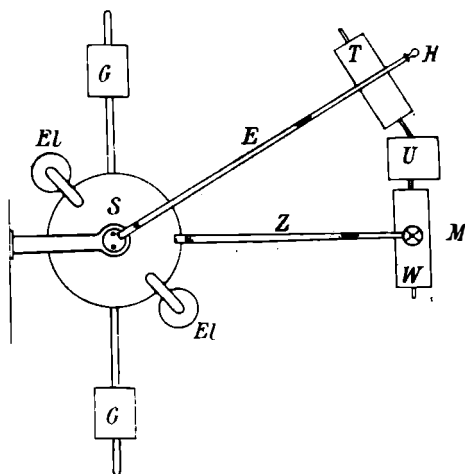
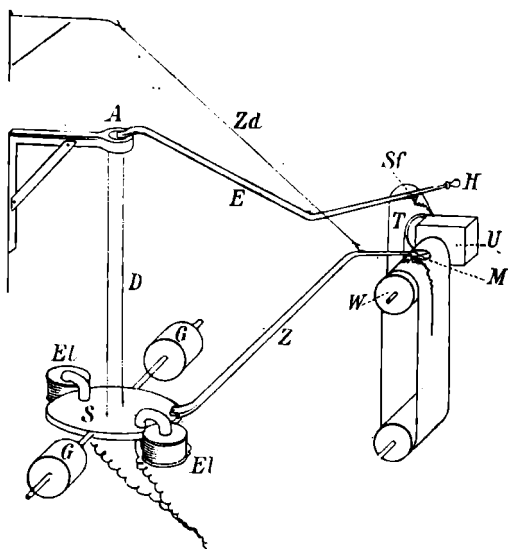
gesetz schwingende Masse benützt. Von der Vergrößerung kann man vorläufig absehen.

Dabei sind die Aufzeichnungen der zwei Gruppen von Erdbebenapparaten verschieden zu behandeln: verwickelter sind jene der »Seismographen erster Klasse« nach Wiechert's Bezeichnung, zu denen übrigens fast alle gebräuchlichen für horizontale und vertikale Stöße gehören. Die »Seismographen zweiter Klasse«, die wie Schlüter's Klinograph in erster Linie auf Neigungen ansprechen und Parallelverschiebungen gegenüber unempfindlich sind, lassen sich leichter nachahmen. Das »Auswertpendel« wird deshalb so beschrieben, wie es für die Kurven eines Seismographen zweiter Klasse einzu richten wäre; für sich, im vorletzten Abschnitt »Anpassung an Seismographen erster Klasse. . . « ist dann die Abänderung gegeben, die es auch für die andere Gattung von Bebenpendeln brauchbar macht.

Zunächst noch einige allgemeine Bemerkungen, die die Aufgabe wesentlich vereinfachen. Man wird sich vor allem auf eine einzige Komponente beschränken, d. h., wenn zwei vorliegen, diese nacheinander auswerten. Dann wird man geradlinige Verschiebungen womöglich vermeiden, also für alle Bebenpendel einen Apparat bauen, in dem das Trägheitsmoment durch das Drehmoment, die geradlinigen Schwingungen durch Rotationsschwingungen vertreten sind. Er soll sich dabei den verschiedensten gebräuchlichen Konstanten leicht anpassen lassen. Dem zu entsprechen ist nicht schwer; da ich augenblicklich keine Möglichkeit sehe, ein solches Auswertpendel auszuführen, beschreibe ich hier nur beiläufig seinen Bauplan.

(Beschreibung des Auswertpendels.) Eine schwere Masse ($G-S-G$ in der Figur) von etwa 5 bis 20 kg Gewicht ist an zwei, besser vielleicht noch an drei Drähten (D) aufgehängt. Durch einen längeren Hebel, den »Einstellarm« (E), läßt sich die Aufhängestelle oben (A) leicht um eine vertikale Achse drehen, die verlängert genau den Mittelpunkt der Masse trifft.¹

¹ Hier ist der leichteren Übersichtlichkeit halber diese Form beschrieben; besser geeignet dürfte manchmal eine andere sein, bei der die Drähte D oben fest bleiben, dafür aber unten an der Scheibe S wieder bifilar eine kleinere



Schematische Ansicht (oben) und Grundriß (unten) des Auswertpendels.

Masse angehängt ist. Der Einstellarm würde dann erst diese zweite Masse verdrehen und so Beschleunigungen auf die erste ausüben. Der besondere Vorteil bestünde in leichterem Abstimmen und stärkerer Vergrößerung.

Mit der Masse S steif verbunden, noch durch einen besonderen Draht (Zd) abgestützt, ist ein zweiter, durch ein Gegengewicht ausgeglichener Hebelarm, der »Zeiger« (Z); er trägt vorne eine Marke (M). Seine Länge wird immer gleich eingestellt der des Schreibarms jenes Seismographen, der die Bebenkurve aufgenommen hat. Nur wenn sie sehr lang wäre, etwa von einem Lichtzeiger herrührend, wird man geradlinige Bewegung der Marke durch Abknicken in den Zylindermantel zu erreichen suchen, so, daß man dann genau von vorne durchzusehen hätte.

Die Masse selbst besteht aus einer wagrecht liegenden Scheibe (S) mit zwei seitlich einander gegenüber angesetzten Stangen. Verschiebbare Gewichte (G) darauf lassen das Trägheitsmoment und dadurch die Schwingungsdauer verstellen. Diese ist aber auch durch gegenseitiges Nähern oder Entfernen der Aufhängedrähte zu ändern. Als verstellbare Dämpfung empfiehlt sich die elektromagnetische deshalb, weil sie sehr zuverlässig wirkt, schnell abgestimmt werden kann und doch der Stromverbrauch während der kurzen Dauer des Versuches keine Rolle spielt. Hier sei sie so ausgeführt, daß die Scheibe S , die dann natürlich nicht aus magnetisierbarem Stoff bestehen darf, zwischen den Polen zweier symmetrisch angeordneter Elektromagnete (El) frei schwingt. Wird andere Dämpfung gewählt, dann ist natürlich auch darauf zu sehen, daß sie beiderseits gleich wirkt.

Die Marke M kann entweder aus einer einfachen Visur mit Fadenkreuz bestehen — womöglich so, daß man gezwungen ist, parallaxenfrei zu schauen — oder aber aus einer leichten Lupe.

Der zu lesende Streifen wird knapp unter der Marke über eine Walze W gelegt. Ein Uhrwerk U , dessen Geschwindigkeit in möglichst weiten Grenzen veränderlich ist, bewegt ihn gleichförmig weiter; am besten wohl eines mit Kegelpendel, wenn nicht etwa Antrieb durch einen Elektromotor einfacher wäre. Es zieht auf einer anderen Trommel T einen zweiten Streifen Papier, den »Schreibstreifen«, weiter, auf dem der Einstellarm E seine augenblickliche Stellung mit Hilfe der Schreibfeder Sf aufzeichnet.

(Abstimmen des Auswertpendels.) Das Einstellen der Konstanten auf die des auszuwertenden Bebenpendels geschieht mit Vorteil nicht unmittelbar, sondern auf Grund des Eichungsstreifens des letzten. Ein solcher enthält die Aufzeichnungen der freien Schwingungen (um deren Dauer zu bestimmen), der gedämpften Schwingungen und der Empfindlichkeit. Nachdem man die Nulllinie genau eingestellt hat, bringt man zunächst die Aufzeichnung der Schwingungsdauer unter die Marke M , verstellt dann das Trägheitsmoment — durch Verschieben der Gewichte G — oder auch die Transportgeschwindigkeit des Streifens so, daß die Marke bei festgehaltenem Einstellarm E immer der geschriebenen Kurve folgt, sobald sie einmal auf irgendeine Weise auf ein kurzes Stück zur Deckung gebracht wurde.¹ Die Dämpfung war dabei ausgeschaltet; nunmehr wird sie abgestimmt, indem man z. B. einen solchen Strom durch die Elektromagneten El hindurchschickt, daß die Marke der entsprechenden Abklingungsfigur folgt. Im Falle mechanischer Dämpfung muß man die Gefäße anheben, schließen oder entsprechend füllen.

Nicht einzuregeln, sondern unmittelbar durch die Bauart gegeben ist das Übersetzungsverhältnis für die Neigungen: man legt den entsprechenden Eichungsstreifen des Bebenpendels ein und verstellt den Arm E so, daß sich die Ablenkung des Zeigers genau mit der auf dem Streifen deckt. Dieser Ausschlag, den man auf dem Schreibstreifen aufzeichnen läßt, entspricht dann der beim Eichen angewandten Neigung.

Die Reibung der Schreibfeder ließe sich angenähert berücksichtigen, indem man an der Masse S einen kurzen Hebelarm anbringt, ähnlich einer Schreibfeder beim Wiechertschen Pendel, nur daß er an Stelle der feinen Spitze einen

¹ Am besten wohl so: der Einstellhebel wird soweit verdreht gehalten, daß die Marke gerade einen Umkehrpunkt der Schwingung trifft; in dem Augenblick, wo dies eintritt, schlägt man den Einstellhebel schnell in seine Nullage zurück, wo er während des ganzen Ausschwingsens bleibt. Dasselbe gilt für das Einstellen der Dämpfung. Genau genommen bedürfte es dieser doppelten Einstellung gar nicht: folgt das Pendel der Dämpfungskurve genau, so hat es auch schon dieselbe Eigenschwingung.

kleinen Knopf trägt und damit unter möglichst gleichförmiger Reibung über eine ebene Fläche oder vielleicht noch besser über eine bewegte Walze dahinstreicht. Eingestellt wird durch die Größe des Übergewichtes. Eine innere Reibung in den Aufhängefedern oder dem Gestänge des Bebenpendels ließe sich durch Wahl entsprechend dicker Drähte D nachahmen. Auch da wird immer unmittelbar mit den entsprechenden Aufzeichnungen des Seismographen unter der Marke verglichen.

(Auswerten von Beben nach Neigungen.) Ist das Auswertpendel so abgestimmt, dann hat es genau die gleichen Schwingungsmöglichkeiten wie das Bebenpendel, antwortet also in gleicher Weise auf Kräfte. Man kann dann sofort an das Auswerten aller Kurven schreiten, die mit denselben Konstanten geschrieben wurden. Man legt den zu lesenden Bebenstreifen, die Nullage genau einhaltend,¹ auf die Walze W auf und bewegt den Einstellarm E an seiner Handhabe H oder mit Hilfe eines weiteren Hebels immer so, daß in jedem Augenblick die Marke genau über der gezeichneten Bebenkurve spielt. Dieses Verfolgen wird anfangs etwas schwerfallen, doch muß man darin bald genug Übung erlangen. Man wird natürlich nicht mathematisch genau der vorgegebenen Linie folgen können, sondern es werden einmal Abweichungen in dem einen, dann in dem andern Sinn vorkommen, gradeso wie beim Planimetrieren. Wie sich aber hier die Abweichungen zu beiden Seiten der richtigen Linie in hohem Grade aufheben, so wäre das auch beim Ausmessen der Erdbeben der Fall. Die Probe bestände in wiederholtem Durchfahren derselben Kurve oder darin, daß man den Hebel E wieder nach der das erste Mal aufgeschriebenen Linie bewegt und nachsieht, wie die nun erfolgenden Verschiebungen der Marke von der Bebenkurve abweichen. Nicht ausgeschlossen wäre es, daß sich zwei in ein derartiges Korrekturverfahren teilten: einer bewegt den Einstellhebel E nach der geschriebenen Kurve, der andere verfolgt die Marke und bringt mit Hilfe eines

¹ War beim Bebenpendel die Nulllinie nicht in die Verlängerung des Schreibarms gefallen, dann ist auch hier die Walze W schiefzustellen.

zweiten Hebels die zu genauer Deckung notwendigen Korrekturen an, die dann für sich aufgezeichnet werden können.

Wesentlich erleichtert wird das Verfolgen, wenn man den Streifen nicht mit derselben Geschwindigkeit wie im Erdbebenapparat ablaufen läßt, sondern mit einer geringeren; natürlich müßte das Abstimmen mit gleicher Geschwindigkeit erfolgt sein. Eine Grenze wäre nur dadurch gesetzt, daß man mit der Schwingungsdauer nicht zu hoch hinaufgehen kann, ohne die Angaben unsicher zu machen.

Das Ergebnis ist schließlich ein Linienzug auf dem zweiten Papierstreifen; er stellt die bei der tatsächlichen Bodenbewegung vorgekommenen Neigungen in jedem Augenblick als Ausschläge von der Mittellinie dar. Dabei kann schon rein mechanisch eine erhebliche Vergrößerung angewendet werden, obwohl das nicht in allen Fällen nötig sein dürfte: ist ja die Erdbebenkurve selbst in der Regel schon stark vergrößert.

(Anpassung an Seismographen erster Klasse; Auswerten nach der Bodenverschiebung.) Bisher war — für Bebenpendel zweiter Klasse berechnet — bloß von Neigungen die Rede. Es lassen sich aber auch die tatsächlichen Bodenverrückungen erhalten, die sich in den Kurven der Pendel erster Klasse spiegeln. Dazu ist eine Abänderung nötig, die man leicht aus der folgenden Überlegung erhält: die Schwingungsmöglichkeiten der trägen Masse eines solchen Pendels (abhängig von Dauer, Dämpfung usw.) sind zwar in unserem Apparat voll nachgeahmt; wenn man aber einen Bebenstreifen einlegte und ihn gleich behandelte wie oben, dann bekäme man jene Folge von Beschleunigungen,¹ die vermittels der Richtkraft des Pendels (elastische Federn z. B.) auf seine Masse hätte ausgeübt werden müssen, um dieselbe relative Bewegung zum Erdboden zu erzielen, wie sie beim Beben eingetreten war. Nun verrückte sich der Erdboden selbst — darin bestand ja das Beben —, es hat

¹ Der Neigung von früher entspricht hier eine Beschleunigung, eine Kraft, da nur eine solche einen konstanten Ausschlag von der Ruhelage hervorzubringen vermag.

also keinen Sinn, Beschleunigungen auf ihn zu beziehen; man muß vielmehr darnach trachten, die Verschiebung des Bodens im Auswertpendel entsprechend nachzuahmen, es so einzurichten, daß alle diejenigen Teile, die dort fest mit dem Boden verbunden sind und mit ihm mitwandern, auch hier gemeinsam verrückt werden. Das sind Aufhängung, Schreibvorrichtung und Dämpfung.

Die Walze *W* mitsamt ihrem Antrieb, dem Elektromagneten *El* und der Einstellhebel *E* wären also schwenkbar um die Achse des Ganzen anzuordnen; am besten wohl so, daß auch unter der Scheibe *S* ein Lager geschaffen wird und ein versteifter Bügel von hier zur Aufhängestelle *A* um das schwingende System herumgreift. Der einzige Teil, der fest bleibt, ist die Trommel *T*: sie stellt das absolut ruhende Bezugssystem dar, das man beim eigentlichen Erdbeben nicht zur Verfügung hat. Will man den gesonderten Antrieb dieser Trommel oder aber biegsame Wellen vermeiden, dann hindert nichts, auch sie an der Bewegung des Armes *E* teilnehmen zu lassen, dafür aber die auf dem Schreibstreifen anliegende Feder festzustellen, mit dem Träger des ganzen z. B. zu verbinden.

Das Abstimmen von Schwingungsdauer, Dämpfung und Reibung erfolgt genau so wie für die frühere Anwendung auf Seismographen erster Klasse; es wird also höchstens der Einstellarm für den ersten Anstoß freigegeben, Walze und Dämpfer bleiben fest, entsprechend dem Vorgang bei der Eichung der Erdbebenapparate. An die letzte kann sich auch die Eichung des Auswertpendels auf Vergrößerung anlehnen; ebenso wie man z. B. bei Horizontalpendeln der ganzen Masse durch den Zug eines Gewichtes eine einseitige Beschleunigung erteilt, so wird hier der entsprechende Zeigerausschlag durch Verdrehen des Armes *E* allein — der Betrag wie früher aufgezeichnet —, also durch eine Kraft hervorgerufen. Der Rückschluß von dieser Kraft auf die entsprechende Vergrößerung der Wege erfolgt dann auf dieselbe Weise, ja mit denselben Umrechnungsfaktoren, wie bei der Erdbebeneichung.¹

¹ Wird stärker vergrößert durch das in der ersten Fußnote angegebene Mittel, dann ergeben sich konstruktive Schwierigkeiten: die Dämpfungsmagnete *El*

Dasselbe Ziel eines unmittelbaren Aufzeichnens der Bodenbewegungen ließe sich vielleicht einfacher erreichen: man brächte den Zeiger Z nicht fest an der Scheibe S an, sondern verwendete statt seiner einen zweiarmigen Hebel. Das eine Ende wäre mit der Masse S gelenkig verbunden, das andere trüge die Marke M ; der dazwischenliegende Drehpunkt des Hebels wäre aber nicht fest, sondern derart mit dem Einstellarm E verbunden, daß die Marke M ihren Platz nicht ändert, wenn die Masse sich um denselben Winkel dreht wie der Einstellarm. Wollte man das genau erreichen, so ließe sich größere Reibung wohl kaum vermeiden; ob aber eine Annäherung genüge, die weniger übertragende Teile hätte, ist hingegen nicht sicher.

Der eigentliche Vorgang des Auswertens bleibt dabei genau derselbe wie früher, nur dürfte das Nachfahren schwieriger sein und doch schon größere Erfahrung oder wenigstens gutes Gefühl für die Art der Zusammenhänge voraussetzen. Natürlich treten auch da alle Fehler auf, die sonst einem Auswerten der Bebenstreifen auf die Bodenbewegungen selbst hin im Wege stehen. So kann unrichtiges Einstellen der Nulllinie, eine Verlagerung der Masse oder eines Übertragungshebels beim Bebenpendel usw. leicht zu störenden Abweichungen führen. Man drückt sie herab, wenn man das Beben nicht etwa in einem Zuge auswertet, sondern es abteilt, am besten wohl an Umkehrpunkten. Die einzelnen Stücke lassen sich dann sinngemäßer zusammensetzen. Oder aber man wertet mehrere Male aus, nur mit etwas verschieden angenommener Nulllinie und sucht unter den Kurven die vernünftigste heraus; das wird sich sehr leicht entscheiden lassen, denn man erhält sonst über die allgemeine Bewegung eine Parabel überlagert, die in kurzen Zeitabschnitten schon zu ganz unannehmbaren Wegen führt.

(Vorteile und allgemeinere Verwendung.) Den ganzen Vorschlag, wie ich ihn gemacht, halte ich sehr wohl für

und die Walze W müßten um andere Winkel gedreht werden, geringere als der Hebel E . Vielleicht darf man aber hier unter Umständen die Dämpfer sogar ganz feststehen lassen.

ausführbar und von besonderem Nutzen für genauere Analyse von Bebenkurven; ein solcher Apparat hätte seinen Platz am besten in einer Zentrale, wo die verschiedensten Stationen auszuwerten wären. Schon darin, daß man in einer Reihe von Fällen mit den wirklichen Bodenbewegungen vergleichen kann, bestünde eine schätzbare Übung im Lesen der Kurven. Die bei weitem einfachere Vorrichtung würde dasselbe leisten, was man sonst nur von besonders angestellten Versuchen, etwa solchen mit Hilfe einer Versuchsplattform, gewinnt. Außerdem ist leicht nachzuprüfen, in welcher Weise sich in einem bestimmten Fall der Einfluß etwas veränderter Konstanten des Bebenpendels — ganz konstant sind diese ja nie — äußern müßte. Gerade die Leichtigkeit solcher Proben gewährt einen großen Vorteil vor der rein mathematischen Behandlung, die natürlich zu denselben Ergebnissen führt; das aber erst nach mühsamem Ausmessen einer großen Anzahl von Punkten, wodurch sich ein zweckentsprechendes Auswerten ganzer Beben von selbst verbietet.

Darüber hinaus wäre es aber nicht ausgeschlossen, Aufzeichnungen selbst fehlerhaft gebauter Bebenpendel einigermaßen auszuwerten, bei denen verschiedene der gewöhnlich gemachten Voraussetzungen nicht erfüllt sind. Bedingung ist nur, daß der Apparat eindeutig schrieb, d. h. daß keine lockeren Verbindungen vorkamen, und daß es gelingt, alle seine Fehler auch dem Auswertpendel einzuimpfen.¹ Eben wegen dieser Anpassungsfähigkeit dürfte sich der Grundgedanke — die Bauweise wäre dem besonderen Fall anzupassen, könnte sogar mit Vorteil mit anderen als mechanischen Mitteln erfolgen — für die genauere Analyse anderer zeitlicher Verläufe eignen, bei denen in ähnlicher Weise wie beim Bebenpendel Einflüsse wirklicher oder scheinbarer Dämpfung, Trägheit usw. auftreten. Dahin gehören in der Regel alle Aufnahmen von Bewegungen, Schwingungen u. dgl., mögen sie nun für physikalische oder aber für technische Zwecke ausgeführt sein.

¹ Diese brauchen durchaus nicht besonders arg zu sein: so sind sicher die Ausschläge oft nicht proportional den Beschleunigungen, wirkt die Dämpfung ungleich usw.

Zusammenfassung.

Es wird vorgeschlagen, ein besonderes Auswertpendel zu bauen, dessen Bestimmungsstücke, Schwingungsdauer, Dämpfung usw. leicht auf die eines beliebigen Erdbebenpendels abgestimmt werden können. Ist das geschehen, dann wird der Erdbebenstreifen in den Apparat eingelegt und von einem Uhrwerk unter einem Zeiger, der den Stand der schwingenden Masse gibt, fortgezogen. Auf diese Masse werden nun durch Verstellen eines Hebels solche Kräfte ausgeübt, daß der Zeiger immer genau über der Bebenkurve spielt; dann vollführt die Masse dieselben Schwingungen wie die entsprechende des Seismographen beim Beben. Die hierbei angewendete Folge von Kräften wird aufgezeichnet und stellt die Auswertung des Bebens dar: wenn es sich um einen Seismographen zweiter Klasse handelte, die aufgetretenen Neigungen, bei einem Seismographen erster Klasse die Bodenbewegungen. Allerdings muß man besonders bei den letzten Ungenauigkeiten sorgfältig vermeiden.

Der Apparat ließe sich den verschiedensten Bedingungen genau anpassen, könnte z. B. noch Kurven von fehlerhaft gebauten Bebenpendeln auswerten, ebenso solche von anderen Vorrichtungen, bei deren Aufzeichnen irgendwelche der Trägheit, Dämpfung usw. analoge Einflüsse mitspielten.

Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
