

KAISERL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN.

MITTEILUNGEN

DER

ERDBEBEN-KOMMISSION

DER KAISERLICHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN.

NEUE FOLGE.

N^o. XXXVIII.

Über seismische Laufzeitkurven

VON

PROF. V. LÁSKA.

MIT 3 TEXTFIGUREN.

WIEN, 1910.

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-westböhmisches 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. Woldfich (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 obersteierische 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 obersteierischen 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 Kremsmünster, von Franz 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-Ehlerth'schen 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 90 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-Ehlerl'schen Horizontalpendel im Jahre 1900, von Eduard Mazelle 1 K — h.
- VI. Das nordostböhmisches Erdbeben vom 10. Jänner 1901, von J. N. Wolfřich 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 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben von Edmund v. Mojsisovics 3 K 30 h.
- XI. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerl'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 Adolf 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 Přibram, von Dr. Hans Benndorf) 2 K 60 h.
- XX. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerl'schen Horizontalpendel im Jahre 1902, von Eduard Mazelle 1 K 40 h.
- XXI. Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1902, von Prof. P. Franz Schwab — K 50 h.

- XXII. Bericht über die seismologischen Aufzeichnungen des Jahres 1902 in Lemberg, von Prof. Dr. W. Lásk a — 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 Rebeur-Ehler'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 Erdinneren (II. Mitteilung), von Dr. Hans Benndorf 1 K 50 h.
- XXXII. Über das Mürztaler 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.

Über seismische Laufzeitkurven

von

Prof. V. Láska.

(Mit 3 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. Juni 1910.)

Durch Discussion der Laufzeitkurven gelangt S. Szirtes¹ zu nachstehendem Resultat:

»... Somit ergibt sich eine bemerkenswerte Übereinstimmung auf der einen Seite zwischen Láska und Wiechert-Zöppritz, auf der anderen Seite zwischen Benndorf und Milne, wohingegen beide Gruppen recht beträchtliche Gegensätze aufweisen. Da sich die Ursache dieser Erscheinung nach der gegenwärtigen Sachlage noch der Beurteilung entzieht, so fehlt auch das Kriterium dafür, welcher unter den genannten Laufzeitkurven der Vorzug zu geben ist.«

Diese Bemerkung veranlaßte mich, der Frage näher zu treten, und ich unterzog die Kurven einer Prüfung, deren Ergebnisse in dieser Abhandlung niedergelegt sind.

Als Resultat ergab sich die Tatsache, daß beide Kurven qualitativ gleich sind und sich nur quantitativ voneinander unterscheiden, wenigstens innerhalb der durch Beobachtungen sichergestellten Grenzen, etwa von 1000 bis 14.000 *km*. Die Untersuchung gab auch eine einfache Relation zwischen der Epizentralentfernung und der Differenz der Eintrittzeiten der beiden Vorphasen.

¹ S: Szirtes, Seismogramme des japanischen Erdbebens am 21. Jänner 1906. Straßburg 1909.

Durch die hier angewandte graphische Methode hoffe ich ferner, einen willkommenen Beitrag zur Bearbeitung der Erdbeben geliefert zu haben. Bekanntlich werden die Erdbeben einzeln bearbeitet, weil summarische Behandlung leicht wertvolle Charakteristiken verwischen kann. Diese Methode gestattet durch die Einführung der sogenannten nomographischen Punkte sofort zu erkennen, ob den Beobachtungszahlen einer Station zu glauben ist oder nicht. Leider gilt noch heutzutage in der Seismologie der Satz »die Methoden sind da, aber die Zahlen fehlen«. Aus diesem Grunde habe ich den Gegenstand numerisch nicht erschöpfen können.

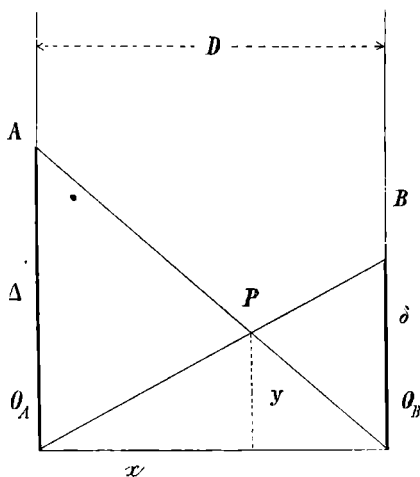


Fig. 1.

Wir konstruieren zwei parallele Gerade $O_A A$ und $O_B B$, welche von einer Transversale $O_A O_B$ in der Entfernung

$$O_A O_B = D$$

rechtwinkelig geschnitten werden und zeichnen (Fig. 1)

$$O_A A = \Delta = \text{Entfernung vom Epizentrum}$$

$$O_B B = \delta = V_2 - V_1,$$

d. h. gleich der Differenz der Eintrittszeiten der ersten und zweiten Vorphase des Seismogramms.

Die Verbindungsgeraden $O_B A$ und $O_A B$ mögen sich im Punkte P schneiden. Diesen wollen wir den nomographischen Punkt der beiden Größen Δ und δ nennen. Seine Ko-

ordinaten bezogen auf O_A als Ursprung und $O_A O_B$ als Abszissenachse, sollen mit x und y bezeichnet werden.

Nehmen wir an, daß für eine Gruppe

$$\begin{array}{cccc} \Delta_1 & \Delta_2 & \Delta_3 & \dots \\ \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 & \dots \end{array}$$

die nomographischen Punkte

$$P_1 \quad P_2 \quad P_3 \quad \dots$$

auf einer Kurve liegen, welche durch die Gleichung

$$f(x, y) = 0$$

dargestellt werden mag, dann gibt es immer eine darstellbare Relation zwischen Δ und δ . Mit anderen Worten, es existiert immer eine Gleichung

$$F(\Delta, \delta) = 0.$$

Diese wird erhalten, wenn man die Größen x und y aus nachfolgenden Gleichungen eliminiert:

$$\begin{aligned} f(x, y) &= 0 \\ \frac{1}{y} &= \frac{1}{\Delta} + \frac{1}{\delta} \\ \frac{\delta}{\Delta} &= \frac{x}{D-x}. \end{aligned}$$

Im speziellen Falle, wo

$$f(x, y) \equiv y - Ax - B = 0$$

ist, wo also die nomographischen Punkte auf einer Geraden liegen, folgt aus dieser Darstellungsweise eine Gleichung von der Form:

$$F(\Delta, \delta) \equiv \frac{M}{\Delta} + \frac{N}{\delta} - 1 = 0$$

wobei M und N Konstanten sind, welche durch nachstehende Gleichungen definiert erscheinen:

$$\begin{aligned} M &= B \\ N &= AD + B. \end{aligned}$$

Diese Konstruktion wenden wir auf die von Benndorf und Wiechert-Zöppritz gegebene Zahlenreihe an.

Entfernung in <i>km</i>	Benndorf		Wiechert- Zöppritz	
	δ			
	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>s</i>
1000	2	06	1	40
2000	3	36	3	20
3000	5	03	4	40
4000	6	30	5	50
5000	7	48	6	40
6000	9	06	7	40
7000	10	12	8	30
8000	11	18	9	20
9000	12	15	10	10
10000	13	12	11	0
11000	14	00	11	30
12000	14	48	12	10
13000	15	24	13	0
14000	16	0	—	—

Sie wurde ausgeführt im Maßstabe

$$1 \text{ mm} = 100 \text{ km für } \Delta,$$

$$10 \text{ mm} = 1 \text{ Zeitminute für } \delta,$$

$$D = 130 \text{ mm.}$$

Es ergab sich, daß beide Kurven, mit Ausnahme des Punktes $\Delta = 1000$, fast absolut genau auf je einer Geraden liegen und sehr nahe parallel laufen. Die Übereinstimmung ist eine fast überraschende, so daß sie geradezu die Form eines Gesetzes annimmt, nicht jene eines Interpolationsbildes.

Wir reproduzieren in der Fig. 2 einen Teil der graphischen Darstellung in vergrößertem Maßstab, um die Richtigkeit unserer Behauptung darzutun. Das Bild kann zugleich zur Bestimmung der Distanz Δ aus der Zwischenzeit δ auf Grund der beiden Kurven benützt werden.

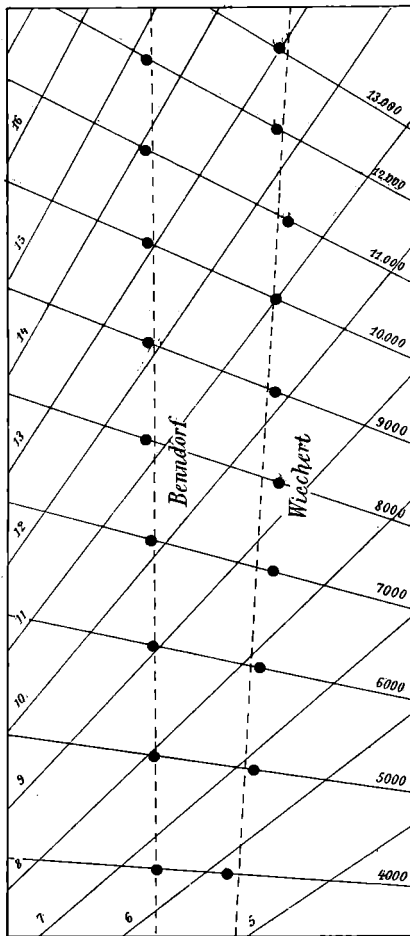


Fig. 2.

Als Gleichung der Kurve f ergab sich aus den Laufzeiten von

$$\text{Benndorf} \dots f(x, y) \equiv y - \frac{75}{18}(x - 43) = 0$$

$$\text{Wiechert} \dots f(x, y) \equiv y - \frac{71}{20}(x - 47) = 0$$

Daraus folgt nach

$$\text{Benndorf} \dots F(\Delta, \delta) \equiv \frac{322 \cdot 5}{\Delta} - \frac{652 \cdot 5}{\delta} + 18 = 0$$

$$\text{Wiechert} \dots F(\Delta, \delta) \equiv \frac{333 \cdot 7}{\Delta} - \frac{589 \cdot 3}{\delta} + 20 = 0$$

wobei wie üblich δ in Zeitminuten und Δ in Megametern
(= 1000 km) zu rechnen ist.

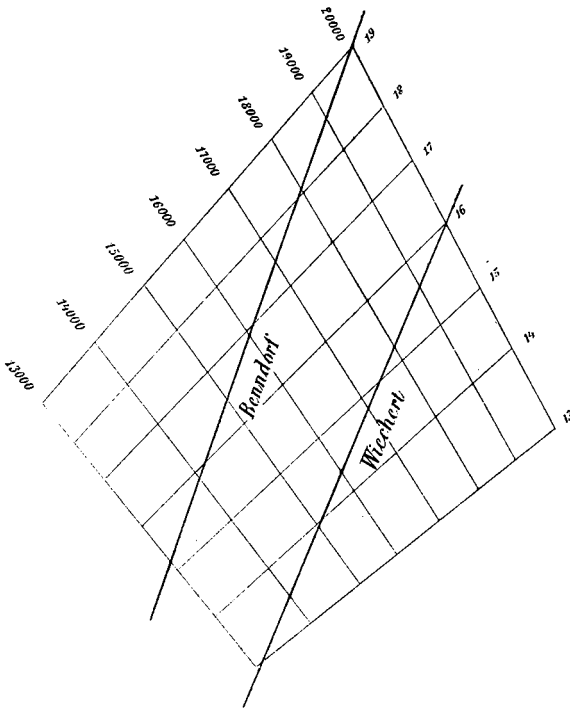


Fig. 3.

Die Zahlen wurden der graphischen Methode entnommen. Durch Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate, würde man vielleicht genauere Resultate erhalten. Indessen lohnt es sich nicht der Arbeit, weil die Laufzeitkurven noch nicht hinreichend sicher sind.

Als Schlußresultat erhalten wir demnach die einfache Beziehung:

$$\Delta = \frac{p \delta}{q - \delta},$$

wo p und q zwei zu bestimmende Konstanten sind.

Verlängert man die Geraden bis $\Delta = 20.000 \text{ km}$, d. h. bis zum Antipodenpunkte der Station, so ergibt sich bei

Benndorf $\delta = 19 \cdot 0$ Minuten

Wiechert. $\delta = 16 \cdot 0$ ▶

Leider verläßt uns hier, gerade im wertvollsten Gebiete der Forschung, die Sicherheit der Zahlenangaben. Ob man die Geraden so verlängern darf oder nicht, davon hängt ab die Lösung eines sehr wichtigen Problems, nämlich des seismischen Bildes des Erdinnern. Ist die Erde zweiteilig gebaut, dann wird das Nomogramm der Laufzeitkurve auch diskontinuierlich sein.

Um spätere Eintragungen zu ermöglichen, geben wir in der Fig. 3 ein vergrößertes Bild dieser »terra ignota« der Seismologie wieder, in welches auch die Verlängerung der beiden Geraden von Benndorf und Wiechert-Zöppritz eingezeichnet wurde.

Die Ausfüllung der Fig. 3 mit beobachteten und kritisch gesicherten Werten ist zurzeit eines der wichtigsten Probleme nicht nur der Seismologie, sondern auch der Geophysik überhaupt.

Die letzten durch die Beobachtungen einigermaßen gesicherten Punkte beider Geraden sind jene, welche zur Epizentraldistanz $\Delta = 13 \cdot 000$ gehören, für diese setzt an

Benndorf. $\delta = 15^m 24^s$

Wiechert-Zöppritz. . . . $\delta = 13^m 00^s$

Wir wollen nun versuchen, den Unterschied zwischen Benndorf und Wiechert-Zöppritz zu erklären.

Zu diesem Zwecke wurde die Abhängigkeit der Distanz von der Differenz der Eintrittszeiten der Hauptphase und erster Vorphase für kleine Entfernungen bis $\Delta = 1500$ nach dem

Material von Omori¹ und Stiatessi² in analoger Weise behandelt. Auch hier gab die Untersuchung zwei parallele Geraden, welche nicht zusammenfielen.

Dieses führte zu nachstehender Erklärung, welche ich jedoch mit aller Reserve anführe. Bekanntlich breiten sich die Wellen nicht vom Epizentrum, sondern vom Hypozentrum aus. Die Distanzen bedürfen also einer Korrektion, welche je nach der Tiefe für verschiedene Beben verschieden ausfällt. So lassen sich beispielsweise die Geraden von Omori und Stiatessi durch eine Korrektion der Distanzen, welche rund 250 *km* beträgt, zur Deckung bringen. Analoges gilt auch für die Geraden von Benndorf und Wiechert-Zöppritz. Jedes Erdbeben hat also seine eigene Laufzeitkurve.

Man wird daher gut tun, die Laufzeitkurven für jedes Erdbeben gesondert zu konstruieren, wie dieses erfreulicherweise schon bereits praktiziert wird.

¹ Publ. of the Earthquake. Inv. Com. Nr. 13.

² Bolletino della Soc. Met. italiana. III Ser., vol. XXV.