

KAISERL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN.

MITTEILUNGEN

DER

ERDBEBEN-KOMMISSION

DER KAISERLICHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN

NEUE FOLGE.

N^{o.} XIV.

ÜBER DIE BERECHNUNG DER FERNBEBEN

VON

PROF. DR. W. LÁSKA,

REFERENT DER ERDBEBEN-KOMMISSION.



WIEN, 1903.

AUS DER KAISERLICH-KÖNIGLICHEN HOF- UND STAATSDRUCKEREI.

IN KOMMISSION BEI KARL GEROLD'S SOHN,

BUCHHÄNDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Die »Mittelungen 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 »Mittelungen« 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 1886, 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 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 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-Ehlert'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 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. Láska 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 2 K 50 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-Ehlert'schen Horizontalpendel im Jahre 1900, von Eduard Mazelle 1 K — h.
- VI.** Das nordostböhmisches Erdbeben vom 10. Jänner 1901, von J. N. Woldřich 1 K 60 h.
- VII.** Erdbeben und Stoßlinien Steiermarks, von R. Hoernes 2 K 10 h.
- VIII.** Die Erdbeben Polens. Des historischen Theiles I. Abteilung, von W. Láska — K 80 h.
- IX.** Bericht über die Erdbeben-Beobachtungen in Lemberg während des Jahres 1901, von Prof. Dr. W. Láska 1 K 10 h.
- X.** Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1901 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben von Edmund v. Mojsisovics 1 K 10 h.
- XI.** Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlert'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.

Über die Berechnung der Fernbeben

von

Prof. Dr. **W. Láska.**

(Vorgelegt in der Sitzung am 5. Februar 1903.)

Die erfreuliche Vermehrung der seismischen Beobachtungsstationen sowie die Fortschritte der Seismologie überhaupt haben es ermöglicht, daß man heutzutage an die Lösung einiger der wichtigsten seismologischen Probleme herantreten kann. Unter diesen ist die Frage nach der geographischen Verbreitung der Epizentra an der Spitze. Besonders die Bestimmung derjenigen Epizentren, welche im Meere liegen oder auf unbewohnte Gegenden fallen, erscheint höchst wünschenswert. Denn erst so erhalten wir das vollständige Bild des seismischen Verhaltens der Erde und damit einen höchst wichtigen Beitrag zur Lösung so mancher geophysischen Probleme. Eine Zusammenstellung der Formeln, welche eine derartige Berechnung ermöglichen, und der Tafeln, welche die Rechnungen wesentlich erleichtern, dürfte daher allen Seismologen willkommen sein. Sie gelten für alle Entfernungen von 500 bis 12.500 *km* sicher, für größere sie festzustellen mangelte es mir an Beobachtungsmaterial. Aber nicht nur bei der Berechnung der Epizentra, sondern auch bei der Reduktion der Seismogramme werden diese Tafeln wichtige Dienste leisten können, weil sie Normalzeiten für den Beginn der drei Hauptphasen der Fernbeben liefern.

I. Berechnung der sphärischen Distanz des Epizentrums.

Bezeichnen wir mit

V_1 den Beginn der Störung überhaupt,
 V_2 » » » zweiten Vorphase,
 B » » » Hauptphase,

alles in Minuten ausgedrückt, sowie mit

Δ die Entfernung des Epizentrums

in 1000 *km*, so gelten nachstehende empirische Gleichungen:

$$1 + \Delta = V_2 - V_1 \quad \dots 1)$$

$$3 \Delta = B - V_1. \quad \dots 2)$$

Aus diesen ergibt sich

$$B = V_1 + 3 \cdot \Delta \quad \dots 3)$$

$$V_2 = V_1 + (1 + \Delta). \quad \dots 4)$$

Wenn angenommen wird, daß in der Gleichung 1) der Bestimmung der Größe Δ das Gewicht 1 zukommt, so hat die Bestimmung des Δ aus der Gleichung 2) das Gewicht 3. Wir erhalten so die genauere Gleichung

$$\Delta = \frac{(B + V_2) - \{2V_1 + 1\}}{4}. \quad \dots 5)$$

Eliminieren wir aus den Gleichungen 1) und 2) die Größe Δ , so folgt

$$B - V_1 = 3\{V_2 - V_1 - 1\}. \quad \dots 6)$$

Diese Formeln gelten nur für gedämpfte Pendel; um sie auch auf ungedämpfte anwenden zu können, müssen mehrere Reihen von Beobachtungen vereinigt und ihre Gewichte bestimmt werden. Denn nur so kann der Einfluß der Eigenschwingungen zum Teile eliminiert werden.

Eine zweite Voraussetzung ist, daß am Zentrum nur ein Erregungsstoß stattfand. Finden mehrere statt, so entspricht die Figur des Photogrammes nicht mehr der einfachen Form, auf welcher die obigen Formeln aufgebaut wurden.

Um den Gebrauch dieser Formeln darzutun, nehmen wir die Leipziger Beobachtungen des Jahres 1902, angestellt am astatischen Pendel von Wiechert.¹ Dieses Instrument steht zwar in Bezug auf die Empfindlichkeit etwas [den leichten Horizontalpendeln nach, besitzt aber eine ausgezeichnete Dämpfung und liefert demzufolge die reinsten Bilder.

Wir geben nachstehend die Zusammenstellung der dort angeführten Beben, deren Epizentra genau festgestellt werden konnten.

		Berechnetes Δ	Wahres Δ
28—III	$V_1 = 15^h 58^m 3$		
	$V_2 = 16 \ 10 \cdot 5$	$12 \cdot 2 - 1 = 11200$	
	$B = 16 \ 33 \cdot 0$	$34 \cdot 7 : 3 = 11600$	
		Formel 5) 11500	11500
19—IV	$V_1 = 3^h 32^m 6$		
	$V_2 = 3 \ 42 \cdot 9$	$10 \cdot 3 - 1 = 9300$	
	$V_3 = 4 \ 1 \cdot 5$	$28 \cdot 9 : 3 = 9600$	
		Formel 5) 9525	9500
5—VII	$V_1 = 15^h 59^m 4$		
	$V_2 = 16 \ 2 \cdot 0$	$2 \cdot 6 - 1 = 1600$	
	$B = 16 \ 3 \cdot 4$	$4 \cdot 0 : 3 = 1300$	
		Formel 5) 1375	1400
19—VI	$V_1 = 20^h 23^m 6$		
	$V_2 = - -$		
	$B = 20 \ 25 \cdot 0$	$1 \cdot 4 : 3 = 460$	460

Wir sehen also fast absolute Übereinstimmung für alle Entfernungen von 460 bis 11.500 *km*.

Gehen wir nun zu den Schwerependeln japanesischer Bauart über, so müssen wir solche Fälle aufsuchen, wo von einem Epizentrum mindestens zwei Beben beobachtet worden sind. Hier hat eine eingehende Untersuchung vieler Fälle gezeigt, daß V_2 im allgemeinen viel besser zu bestimmen ist als B . Die

¹ F. Etzold, Das Wiechert'sche astatische Pendel etc. Leipziger Berichte, Juli 1902.

Formel 5) darf hier also nicht angewendet werden, es müssen vielmehr die Gewichte p, q der einzelnen Bestimmungen von Δ aus den Gleichungen 1) und 2) separat bestimmt werden. Dann ist

$$\Delta = \frac{\Delta_1 p + \Delta_2 q}{p + q} \quad \dots 7)$$

der plausibelste Wert von Δ . Als Beispiel seien die Beben Nr. 2, 193, 196 und 197 in Omori's Publikation¹ angenommen, deren Epizentrum in einer Entfernung von 6100 *km* in Alaska lag. Wir haben:

Nr.	$V_2 - V_1$	v	v^2	
2....	7·3	+0·2	0·04	
193....	7·6	-0·1	0·01	Mittlerer Fehler
196....	7·6	-0·1	0·01	
197....	7·7	-0·2	0·04	$\sqrt{\frac{0\cdot10}{3}} = \pm 0\cdot2$ rund.
Mittel =	7·5		$[v^2] = 0\cdot10$	

Nr.	$B - V_1$	v	v^2	
2....	14·6	+0·5	0·25	
193....	17·2	-2·1	4·41	Mittlerer Fehler
196....	14·5	+0·6	0·36	
197....	14·2	+0·9	0·81	$\sqrt{\frac{5\cdot83}{3}} = \pm 1\cdot4$ rund.
Mittel =	15·1		$[v^2] = 5\cdot83$	

Wir haben demnach

$$\begin{aligned} V_2 - V_1 &= 7^m 5 \pm 0^m 2 \\ B - V_1 &= 15\cdot1 \pm 1\cdot4. \end{aligned}$$

Damit ergibt sich auf 100 *km* abgerundet:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 6500 \pm 200 \text{ km} && \text{Gewicht } 5 \\ \Delta_2 &= 5000 \pm 500 \text{ km} && \text{Gewicht } 1 \end{aligned}$$

und

$$\Delta = \frac{5\Delta_1 + \Delta_2}{5+1} = 6200 \text{ km}$$

¹ Omori, Publ. of the Earthquak Inv. Com., Nr. 5. Tokyo 1901.

in vollkommenster Übereinstimmung mit dem wirklich beobachteten Werte 6100 *km*, welcher natürlich auch nur rund auf 100 *km* sicher ist.

Als zweites Beispiel behandeln wir die Erdbeben, welche im Jahre 1897 in Straßburg beobachtet wurden und deren Epizentrum in der Nähe von Japan lag.¹ Die sphärische Entfernung in diesem Falle beträgt rund 10.000 *km*. Wir haben, indem wir die Numerierung der Quelle beibehalten:

Nr.	$V_2 - V_1$	v	v^2	
90....	11·4	-0·5	0·25	
103....	11·5	-0·6	0·36	Mittlerer Fehler
115....	10·3	+0·6	0·36	
134....	10·3	+0·6	0·36	$\sqrt{\frac{1·33}{3}} = \pm 0^m7$ rund.
Mittel =	10·9		$[v^2] = 1·33$	

Nr.	$B - V_1$	v	v^2	
90....	37·2	-2·7	7·29	
103....	35·0	-0·5	0·25	Mittlerer Fehler
115....	33·4	+1·1	1·21	
134....	32·5	+2·0	4·00	$\sqrt{\frac{12·75}{3}} = \pm 2^m0$ rund.
Mittel =	34·5		$[v^2] = 12·75$	

Demnach

$$\begin{aligned} V_2 - V_1 &= 10^m9 \pm 0^m7 \\ B - V_1 &= 34·5 \pm 2·0. \end{aligned}$$

Damit rund auf 100 *km*:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 9900 \pm 700 \text{ km} && \text{Gewicht 1} \\ \Delta_2 &= 11500 \pm 700 \text{ km} && \text{Gewicht 1} \end{aligned}$$

also den plausibelsten Wert

$$\Delta = \frac{1}{2} (\Delta_1 + \Delta_2) = 10.700 \text{ km.}$$

Wir erhalten also eine Distanz von mehr denn 10.000 *km* auf mehrere 100 *km* unsicher. Die Epizentra lagen sicher in

¹ Rudolph in Gerland's Beiträgen zur Geoph., V. Band, 1. Heft, 1901.

der Nähe von Japan, weil Japan das Schüttergebiet war, sind aber nicht bekannt und dürften im Meere liegen.

Wir haben auch hier, soweit es die mittleren Fehler der Entfernungen zulassen, eine vollkommene Übereinstimmung der berechneten und wirklichen Distanzen.

Nachdem wir so die Anwendbarkeit der Formeln für drei verschiedenartig gebaute und an verschiedenen Orten aufgestellte Instrumente gezeigt haben, wollen wir einige Folgerungen aus unseren Formeln ziehen. Aus 1) und 2) folgt

$$2\Delta - 1 = B - V_2, \quad \dots 7a)$$

eine Formel, welche für die Berechnung der Distanz angewendet werden kann in dem Falle, wo V_1 unsicher ist. Aus dieser Formel folgt, daß V_2 nur dann auftreten kann, wenn

$$\Delta > 500 \text{ km.}$$

Ist demnach die zweite Vorphase vorhanden, so beträgt die sphärische Entfernung vom Epizentrum mehr als 500 *km*.

Ferner erhalten wir

$$\frac{B - V_2}{V_2 - V_1} = \frac{2\Delta - 1}{\Delta + 1}, \quad \dots 8)$$

was man auch schreiben kann

$$\frac{B - V_2}{V_2 - V_1} = 2 - \frac{3}{\Delta + 1}.$$

Daraus entnehmen wir, daß das Verhältnis von $B - V_2$ zu $V_2 - V_1$ rund zwischen $1/2$ und 2 liegt. Tragen wir ferner $V_2 - V_1$ als Abszisse und $B - V_2$ als Ordinate auf, so erhalten wir eine Gerade mit der Gleichung

$$y = 2x - 3, \quad \dots 9)$$

während Omori für dieselbe Kurve (l. c.) nahe die Gleichung

$$y = x$$

findet. Schließt man bei Omori das Erdbeben Nr. 143 aus und ebenso diejenigen Beben, bei welchen $V_2 - V_1$ kleiner als $1 \cdot 5^m$

ist, so wird man zu einer Geraden geführt, welche von der unsrigen sehr wenig abweicht, welche aber das Erdbeben Nr. 186 sehr gut darstellt. Wir geben nun eine Anwendung der Tafel I auf die Diskussion eines Photogrammes und wählen hiezu die Straßburger Beben Nr. 123 und 124, weil bei ihnen das Epizentrum bekannt ist und man daher eine Kontrolle hat.

Die Originalzahlen lauten:

	Nr. 123	Nr. 124
V_1	16 ^h 37 ^m 9	18 ^h 45 ^m 4
V_2	16 44·2	18 55·2
B	16 50·9	18 59·0.

Suchen wir die Unterschiede, so folgt

$V_2 - V_1$	6 ^m 3	9 ^m 8
$B - V_1$	13·0	13·6.

Es entspricht also nur das Beben Nr. 123 der Tafel. Bilden wir daher die Distanzen, so folgt aus der Tafel I:

5300 <i>km</i>	8800 <i>km</i>
4300 <i>km</i>	4500 <i>km</i> .

Die Tafel zeigt, daß nur das erste Beben ein Normalbild lieferte. Die Formel 5) gibt

$$\Delta = 4500 \text{ km.}$$

Der Anblick des Seismogrammes müßte zeigen, ob die Figur bei Nr. 124 auch eine normale war. Wäre dieses der Fall, dann würde sich wohl entscheiden lassen, ob V_2 oder B bei Nr. 124 falsch angenommen wurde.

Das Epizentrum dieses Bebens ist bekannt, es lag etwa in einer Entfernung von rund 4700 *km* von Straßburg in Turkestan. Daß V_2 bei Nr. 124 falsch ist, beweisen die Angaben der italienischen Bebenwarten. Die Angabe (l. c.) $V_1 = 18^h 52^m 2$ für Potsdam ist wahrscheinlich $V_2 = 18^h 52^m 2$ zu lesen. Denn da $B = 19^h 2^m 9$ angesetzt ist, so folgt

$$B - V_2 = 10·7$$

und hieraus nach der Formel 7)

$$\Delta = 5850 \text{ km.}$$

wie es genähert sein soll. So könnte man alle Angaben der Straßburger Publikation richtig stellen, soweit es natürlich die Zahlen erlauben.

II. Die Berechnung des Epizentrums.

Es seien

$$\varphi \quad \lambda$$

die geographischen Koordinaten des Epizentrums sowie

$$\varphi_1 \lambda_1 \quad \varphi_2 \lambda_2 \quad \varphi_3 \lambda_3 \dots$$

jene der drei Beobachtungsorte. Setzt man

$$\begin{aligned} x &= \cos \varphi \cos \lambda & x_x &= \cos \varphi_x \cos \lambda_x \\ y &= \cos \varphi \sin \lambda & y_x &= \cos \varphi_x \sin \lambda_x \\ z &= \sin \varphi & z_x &= \sin \varphi_x \end{aligned}$$

und bezeichnet mit

$$(\Delta_1), (\Delta_2), (\Delta_3), \dots$$

die sphärischen Distanzen im Winkelmaß, so hat man

$$\cos (\Delta_x) = x x_x + y y_x + z z_x \quad x = 1, 2, 3, \dots$$

und die Kontrollgleichung

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1.$$

Die Größen x_x, y_x, z_x sind Konstanten der Beobachtungsstation und können der Tafel III entnommen werden. Die Größe (Δ_x) sowie $\log \cos (\Delta_x)$ liefert die Tafel II, nachdem mit Hilfe der Tafel I die Größe Δ_x bestimmt wurde. Mindestens zwei Δ sind notwendig, um φ und λ überhaupt bestimmen zu können, drei sind erforderlich, wenn man die obigen Formeln anwenden will. Sind mehrere gegeben, so kann nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen werden. Bei nur zwei Δ ist die Rechnung etwas beschwerlich. Sind x, y bestimmt, so folgt

$$\begin{aligned} \text{tang} \lambda &= \frac{y}{x} \\ \sin \varphi &= z \end{aligned}$$

womit die geographischen Koordinaten des Epizentrums bestimmt sind. Bei Anwendung dieser Formel ist natürlich auf ihre geometrische Bedeutung Rücksicht zu nehmen.

Als Beispiel nehmen wir das oben behandelte Beben vom 5. Juli 1902, dessen Epizentrum sich in der Nähe von Saloniki, also rund in $\varphi = 40^\circ$, $\lambda = 23^\circ$ E. Gr. befand.

Die Elemente sind:

Leipzig	Lemberg	Rom
$\varphi_1 = 51^\circ 20'$	$\varphi_2 = 49^\circ 50'$	$\varphi_3 = 41^\circ 54'$
$\lambda_2 = 12^\circ 23'$	$\lambda_2 = 24^\circ 1'$	$\lambda_3 = 12^\circ 29'$
$\Delta_1 = 1400 \text{ km}$	$\Delta_2 = 900 \text{ km}$	$\Delta_3 = 500 \text{ km}$.

Die Berechnung von Δ_1 haben wir im ersten Teile geliefert. Das Photogramm von Lemberg liefert

$$B - V_1 = 2^m 7, \text{ also } \Delta_2 = 900 \text{ km}.$$

Die Beobachtung von Rom war mir nicht zugänglich, ich habe daher die Distanz rund mit 500 *km* angenommen.

Damit ergeben sich nachstehende Gleichungen:

$$\begin{aligned} \text{Leipzig} & \dots\dots [9 \cdot 9894] = x [9 \cdot 7855] + y [9 \cdot 1270] + z [9 \cdot 8925] \\ \text{Lemberg} & \dots\dots [9 \cdot 9956] = x [9 \cdot 7703] + y [9 \cdot 4192] + z [9 \cdot 8832] \\ \text{Rom} & \dots\dots\dots [9 \cdot 9987] = x [9 \cdot 8614] + y [9 \cdot 2065] + z [9 \cdot 8247] \end{aligned}$$

Ihre Auflösung liefert

$$\begin{aligned} x & = [9 \cdot 8579] \\ y & = [9 \cdot 4887] \\ z & = [9 \cdot 8018] \end{aligned}$$

und damit erhält man

$$\begin{aligned} \varphi & = 39^\circ 19' \\ \lambda & = 23^\circ 8'. \end{aligned}$$

Die Zahlen in Klammern sind Logarithmen. Da die Entfernungen auf $\pm 100 \text{ km}$ unsicher sind, so kann man das Resultat auch rund $\pm 1^\circ$ annehmen. Wären mehr Beobachtungen vorhanden, so wäre das Resultat natürlich wesentlich genauer.

$V_1 = 0.0$ Minuten.

Tafel I.

Δ <i>km</i>	V_2 Minuten	B Minuten	Δ <i>km</i>	V_2 Minuten	B Minuten
500	1.5	1.5	3500	4.5	10.5
600	1.6	1.8	3600	4.6	10.8
700	1.7	2.1	3700	4.7	11.1
800	1.8	2.4	3800	4.8	11.4
900	1.9	2.7	3900	4.9	11.7
1000	2.0	3.0	4000	5.0	12.0
1100	2.1	3.3	4100	5.1	12.3
1200	2.2	3.6	4200	5.2	12.6
1300	2.3	3.9	4300	5.3	12.9
1400	2.4	4.2	4400	5.4	13.2
1500	2.5	4.5	4500	5.5	13.5
1600	2.6	4.8	4600	5.6	13.8
1700	2.7	5.1	4700	5.7	14.1
1800	2.8	5.4	4800	5.8	14.4
1900	2.9	5.7	4900	5.9	14.7
2000	3.0	6.0	5000	6.0	15.0
2100	3.1	6.3	5100	6.1	15.3
2200	3.2	6.6	5200	6.2	15.6
2300	3.3	6.9	5300	6.3	15.9
2400	3.4	7.2	5400	6.4	16.2
2500	3.5	7.5	5500	6.5	16.5
2600	3.6	7.8	5600	6.6	16.8
2700	3.7	8.1	5700	6.7	17.1
2800	3.8	8.4	5800	6.8	17.4
2900	3.9	8.7	5900	6.9	17.7
3000	4.0	9.0	6000	7.0	18.0
3100	4.1	9.3	6100	7.1	18.3
3200	4.2	9.6	6200	7.2	18.6
3300	4.3	9.9	6300	7.3	18.9
3400	4.4	10.2	6400	7.4	19.2

$V_1 = 0.0$ Minuten.

Tafel I.

Δ km	V_2 Minuten	B Minuten	Δ km	V_2 Minuten	B Minuten
6500	7.5	19.5	9500	10.5	28.5
6600	7.6	19.8	9600	10.6	28.8
6700	7.7	20.1	9700	10.7	29.1
6800	7.8	20.4	9800	10.8	29.4
6900	7.9	20.7	9900	10.9	29.7
7000	8.0	21.0	10000	11.0	30.0
7100	8.1	21.3	10100	11.1	30.3
7200	8.2	21.6	10200	11.2	30.6
7300	8.3	21.9	10300	11.3	30.9
7400	8.4	22.2	10400	11.4	31.2
7500	8.5	22.5	10500	11.5	31.5
7600	8.6	22.8	10600	11.6	31.8
7700	8.7	23.1	10700	11.7	32.1
7800	8.8	23.4	10800	11.8	32.4
7900	8.9	23.7	10900	11.9	32.7
8000	9.0	24.0	11000	12.0	33.0
8100	9.1	24.3	11100	12.1	33.3
8200	9.2	24.6	11200	12.2	33.6
8300	9.3	24.9	11300	12.3	33.9
8400	9.4	25.2	11400	12.4	34.2
8500	9.5	25.5	11500	12.5	34.5
8600	9.6	25.8	11600	12.6	34.8
8700	9.7	26.1	11700	12.7	35.1
8800	9.8	26.4	11800	12.8	35.4
8900	9.9	26.7	11900	12.9	35.7
9000	10.0	27.0	12000	13.0	36.0
9100	10.1	27.3	12100	13.1	36.3
9200	10.2	27.6	12200	13.2	36.6
9300	10.3	27.9	12300	13.3	36.9
9400	10.4	28.2	12400	13.4	37.2

Tafel II.

Δ <i>km</i>	(Δ)		$\log \cos (\Delta)$	Δ <i>km</i>	(Δ)		$\log \cos (\Delta)$
	o	'			o	'	
500	4	30	9.9987	3500	31	29	9.9308
600	5	24	9.9981	3600	32	23	9.9266
700	6	18	9.9974	3700	33	17	9.9222
800	7	12	9.9966	3800	34	11	9.9176
900	8	6	9.9956	3900	35	5	9.9129
1000	9	0	9.9946	4000	35	59	9.9080
1100	9	54	9.9935	4100	36	53	9.9030
1200	10	48	9.9922	4200	37	47	9.8978
1300	11	42	9.9909	4300	38	41	9.8924
1400	12	36	9.9894	4400	39	35	9.8869
1500	13	30	9.9878	4500	40	29	9.8812
1600	14	24	9.9861	4600	41	23	9.8752
1700	15	18	9.9842	4700	42	17	9.8691
1800	16	12	9.9824	4800	43	11	9.8628
1900	17	6	9.9804	4900	44	5	9.8563
2000	18	0	9.9782	5000	44	59	9.8496
2100	18	54	9.9759	5100	45	52	9.8441
2200	19	48	9.9735	5200	46	46	9.8357
2300	20	42	9.9710	5300	47	40	9.8283
2400	21	36	9.9684	5400	48	34	9.8207
2500	22	30	9.9656	5500	49	28	9.8128
2600	23	24	9.9627	5600	50	22	9.8047
2700	24	18	9.9597	5700	51	16	9.7964
2800	25	12	9.9558	5800	52	10	9.7877
2900	26	6	9.9533	5900	53	4	9.7788
3000	26	59	9.9499	6000	53	58	9.7696
3100	27	53	9.9464	6100	54	52	9.7600
3200	28	47	9.9427	6200	55	46	9.7502
3300	29	35	9.9393	6300	56	40	9.7400
3400	30	33	9.9350	6400	57	34	9.7294

Tafel II.

Δ km	(Δ)		log cos (Δ)	Δ km	(Δ)		log cos (Δ)
	°	'			°	'	
6500	58	28	9·7185	9500	85	27	8·8994
6600	59	22	9·7072	9600	86	21	8·8039
6700	60	16	9·6955	9700	87	15	8·6810
6800	61	10	9·6833	9800	88	9	8·5090
6900	62	4	9·6706	9900	89	3	8·2196
7000	62	58	9·6575	10000	89	57	6·9408
7100	63	52	9·6439	10100	90	51	8·1713
7200	64	46	9·6297	10200	91	45	8·4848
7300	65	40	9·6149	10300	92	39	8·6650
7400	66	34	9·5995	10400	93	33	8·7918
7500	67	28	9·5838	10500	94	27	8·8898
7600	68	22	9·5666	10600	95	21	8·9696
7700	69	16	9·5490	10700	96	15	9·0369
7800	70	10	9·5306	10800	97	9	9·0951
7900	71	4	9·5112	10900	98	2	9·1453
8000	71	58	9·4908	11000	98	56	9·1911
8100	72	52	9·4692	11100	99	50	9·2324
8200	73	46	9·4465	11200	100	44	9·2701
8300	74	40	9·4223	11300	101	38	9·3046
8400	75	34	9·3966	11400	102	32	9·3365
8500	76	28	9·3692	11500	103	26	9·3661
8600	77	22	9·3399	11600	104	20	9·3937
8700	78	16	9·3083	11700	105	14	9·4195
8800	79	10	9·2740	11800	106	8	9·4438
8900	80	4	9·2368	11900	107	2	9·4668
9000	80	57	9·1967	12000	107	56	9·4884
9100	81	51	9·1516	12100	108	50	9·5090
9200	82	45	9·1011	12200	109	44	9·5285
9300	83	39	9·0438	12300	110	38	9·5470
9400	84	33	8·9776	12400	111	32	9·5647

Tafel III.

Genäherte Positionen der wichtigsten Erdbebenwarten.

Station	φ		von Gr. λ		$\log x$	$\log y$	$\log z$
	o	'	o	'			
Batavia	— 6	8	+106	48	9·4585 _n	9·9786	9·0287 _n
Brüssel	+50	51	+ 4	22	9·7990	8·6819	9·8896
Budapest	+47	30	+ 19	6	9·8051	9·3445	9·8676
Bukarest	+44	26	+ 26	6	9·8070	9·4971	9·8451
Catania	+37	30	+ 15	5	9·8842	9·3148	9·7846
Dorpat	+58	23	+ 26	43	9·6705	9·3723	9·9302
Edinburg	+55	57	— 3	10	9·7475	8·4904 _n	9·9183
Florenz	+43	49	+ 11	13	9·8499	9·1472	9·8403
Grenoble	+45	11	+ 5	44	9·8459	8·8477	9·8509
Hamburg	+53	34	+ 10	1	9·7670	9·0141	9·9056
Charkow	+50	0	+ 36	14	9·7147	9·5797	9·8843
Ischia	+40	44	+ 13	57	9·8665	9·2617	9·8146
Jena	+50	56	+ 11	35	9·7906	9·1023	9·8901
Kremsmünster	+48	3	+ 14	8	9·8117	9·2128	9·8714
Laibach	+46	3	+ 14	30	9·8273	9·2400	9·8573
Leipzig	+51	20	+ 12	23	9·7855	9·1270	9·8925
Lemberg	+49	50	+ 24	1	9·7702	9·4192	9·8832
Moskau	+55	45	+ 37	34	9·6494	9·5355	9·9173
Nikolajew	+46	58	+ 31	58	9·7626	9·5579	9·8639
Padua	+45	24	+ 11	52	9·8371	9·1595	9·8525
Pavia	+45	11	+ 9	9	9·8425	9·0495	9·8509
Pola	+44	52	+ 13	50	9·8377	9·2291	9·8485
Potsdam	+52	23	+ 13	4	9·7742	9·1399	9·8988
Rio de Janeiro	—22	55	— 43	10	9·8272	9·7994 _n	9·5904 _n
Rocca di Papa	+41	46	+ 12	42	9·8619	9·2148	9·8235
Rom	+41	54	+ 12	29	9·8614	9·2065	9·8247
Shide	+50	41	— 1	17	9·8017	8·1520 _n	9·8886
Siena	+43	20	+ 11	20	9·8532	9·1552	9·8365
Straßburg	+48	35	+ 7	46	9·8166	8·9513	9·8750
Tokyo	+35	41	+139	45	9·7920 _n	9·7200	9·7659
Triest	+45	39	+ 13	45	9·8318	9·2205	9·8544
Verona	+45	27	+ 10	59	9·8380	9·1260	9·8529