

## Werk

**Jahr:** 1926

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:2

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

**Werk Id:** PPN101433392X\_0002

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0002](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0002)

**LOG Id:** LOG\_0083

**LOG Titel:** Zur Frage der Laufzeitkurven

**LOG Typ:** article

## 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)

## Zur Frage der Laufzeitkurven.

Von **B. Gutenberg** in Frankfurt a. M.

Es wird gezeigt, daß die meisten älteren Laufzeitkurven und somit auch die aus diesen abgeleitete mittlere Kurve von Krumbach einen gemeinsamen systematischen Fehler besitzen, und daß die Laufzeitkurven von A. Mohorovičić zurzeit wohl die besten Werte für die direkten Vorläufer bis etwa  $90^0$  Herddistanz enthalten. Diese Laufzeiten, sowie solche von anderen Wellen nach Gutenberg werden angegeben.

In Heft 8, S. 360 des ersten Jahrganges dieser Zeitschrift, hat G. Krumbach den dankenswerten Versuch unternommen, aus den zahlreichen Laufzeitkurven „mittlere Laufzeitkurven“ abzuleiten. Er kam dabei zu dem Ergebnis, daß für die *P*-Wellen, mit denen wir uns zunächst beschäftigen wollen, die Zeiten bei allen Autoren später liegen als bei A. Mohorovičić<sup>1)</sup>, und führte diese Unterschiede auf die Verwendung verschiedener Einsätze zurück. Nun zeigte sich aber bei der Bearbeitung<sup>2)</sup> des Japanbebens vom 1. September 1923, dessen Beobachtungsmaterial das bei allen früheren Beben vorhandene an Umfang und Genauigkeit übertrifft, eine vorzügliche Übereinstimmung der beobachteten Einsätze in Europa mit den unter Benutzung der Laufzeiten von Mohorovičić berechneten Werten, so daß Zweifel auftauchen müssen, ob die systematische Abweichung der anderen Kurven keine bestimmten Gründe hat. Da Krumbach die Laufzeitkurven von Wiechert-Zöppritz, Geiger-Gutenberg, O. Hecker und S. W. Visser zum Vergleich herangezogen hat (Literatur von Krumbach zitiert), wollen wir uns auch auf diese Kurven beschränken.

Die Laufzeitkurven von Wiechert-Zöppritz sind seither immer wieder als Grundlage für Laufzeituntersuchungen herangezogen worden. Leider ist der Vorschlag des Verfassers<sup>3)</sup>, alle Abweichungen bei neuen Kurven auf die Wiechert-Zöppritzschen als Ausgangskurven zu beziehen, nicht durchgedrungen. Diese Kurven beruhen auf Registrierungen des calabrischen Bebens vom 8. Sept. 1905 an 13 Stationen, des indischen Bebens vom 4. April 1905 an 11 Stationen und des San-Francisco-Bebens vom 18. April 1905 an 13 Stationen. Alle Messungen der *P*-Laufzeiten sind zunächst relativ zu einem unbekanntem Nullpunkt. Als solcher wird vielfach die Herdzeit angenommen, während abweichend hiervon, worauf zur Vermeidung von Irrtümern ausdrücklich hingewiesen sei, A. Mohorovičić den Beginn des Bebens im Epizentrum wählte. Will man also aus den Kurven des letzteren den wahren Beginn des Bebens erhalten, so ist zu den Laufzeitkurven für *P* die Steigzeit Herd-Epizentrum zuzuzählen, die für die von Mohorovičić für seine Kurven angenommene Herdtiefe von 25 km etwa  $4\frac{1}{2}$  sec beträgt.

Zöppritz sah mangels geeigneter Unterlagen von der Berücksichtigung der Herdtiefe ganz ab und nahm an, daß bei dem calabrischen Beben die  $P$  Welle 12 sec gebraucht habe, um vom Herd nach Messina (80 km) zu gelangen. Dieser Wert hängt von der Herdtiefe ab, vermutlich ist er zu groß. Um den Fehler  $a_1$  dieses Wertes sind nun alle Laufzeitangaben des Bebens falsch. Weiter hängen sie aber von dem Fehler  $a_2$  der Einsatzzeit in Messina ab; daß dieser mehrere Sekunden betragen kann, wird jeder zugeben, der die Zeitgenauigkeit der Angaben der älteren Aufzeichnungen (1905) kennt. Somit sind alle Laufzeiten dieses Bebens mit einem systematischen Fehler von  $a = a_1 + a_2$  sec behaftet. Bei dem indischen Beben entnahm Zöppritz die Laufzeit für  $P$  nach Tiflis dem ersten Beben und berechnete hieraus die Herdzeit, d. h. auch alle Punkte dieses Bebens besitzen den gleichen systematischen Fehler  $a$ , somit etwa zwei Drittel aller Beobachtungspunkte. Beim letzten Beben endlich bestimmte Zöppritz die Eintrittszeit wieder aus Nahstationen, und zwar nahm er als Laufzeit nach Berkeley (35 km) 5 sec, nach der Licksternwarte (80 km) 11 sec an; hier gilt das oben bei Messina Gesagte sinngemäß, alle Zeitangaben haben neben den variablen Fehlern einen systematischen Fehler  $b$ , der wahrscheinlich im gleichen Sinne liegt wie  $a$  (d. h., wenn man von der Epizentralzeit ausgeht, wie Mohorovičić, sind alle Laufzeiten zu groß angesetzt; für 45 km Herdtiefe wäre statt 5 sec zu setzen 2 sec und statt 11 bzw. 12 zu setzen 8 sec; bei 25 km Herdtiefe sind die Zahlen 3 bzw.  $10\frac{1}{2}$  sec. Die Epizentralzeit wäre um einige Sekunden später, alle Laufzeiten entsprechend kleiner). Wir finden also, daß die Wiechert-Zöppritzsche Laufzeitkurve aus den angegebenen Gründen einen kleinen systematischen Fehler  $f$  besitzt.

Geiger und Gutenberg suchten nun diese Kurve unter Benutzung der Zöppritzschen Methode auf Grund von Amplitudenbeobachtungen zu verbessern. Diese Verbesserung erstreckte sich aber nur auf die Richtung der Kurve; für deren Höhe wurde verlangt (a. a. O., S. 187, § 7, 2), daß die Kurve den Wiechert-Zöppritzschen Laufzeitbeobachtungen genügt, mit anderen Worten, sie hat ebenfalls den systematischen Fehler  $f$ .

Bei der Kurve von Hecker „wurde mit Hilfe einiger besserer Stationen die Stoßzeit abgeleitet“. Hierbei wurde offenbar die kurz darauf zitierte Wiechert-Zöppritzsche Kurve benutzt bzw. Nahstationen; die Übereinstimmung der Laufzeiten bei kurzen Entfernungen spricht jedenfalls dafür. In diesem Falle wären die Stoßzeiten um  $f$  zu früh, die abgeleiteten Laufzeiten hätten wieder den systematischen Fehler  $f$ .

Schließlich verwandte Visser zur Bestimmung der Herdzeiten die Laufzeiten von Geiger-Gutenberg (a. a. O. S. 8), so daß auch seine Kurven ungefähr den systematischen Fehler  $f$  haben.

Fassen wir nun unsere Ergebnisse zusammen, so finden wir, daß vermutlich alle vier genannten Kurven den gleichen systematischen Fehler  $f$  haben, der im wesentlichen von der Laufzeit der  $\bar{P}$ -Wellen beim calabrischen Beben nach Messina abhängt, und die Feststellung mutet etwas merkwürdig an, daß ein Irrtum der bei Messina am 8. Sept. 1905 festgestellten Eintrittszeit um einige Sekunden eine ähnliche Änderung aller Laufzeiten der Tabellen und Kurven von

Mittlere Laufzeittabellen für Erdbebenvorläufer,  
für 25km Herdtiefe, gerechnet von der Epizentralzeit aus.  
P und S nach A. Mohorovičić, die übrigen nach Gutenberg, zum Teil unter Be-  
nutzung älterer Tabellen (Literatur bei Krumbach, a. a. O.).

Epizentral- entfernung $\Delta$		Laufzeit (vom Eintreffen der ersten Longitudinalwelle im Epizentrum)										Epizentral- entfernung $\Delta$			
Grad	km	$P_n$		$PP$		$PPP$		$S_n$		$P'S$		$SS$		Grad	km
		m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s		
10	1110		26	2	27	2	29	4	20		—		4.5	10	1110
12	1330		54		57		59	5	09		—		5.4	12	1330
14	1560	3	21	8	28	3	30		57		—		6.3	14	1560
16	1780		47		58	4	00	6	45		—		7.2	16	1780
18	2000	4	13	4	28		30	7	32		—		8.1	18	2000
20	2220		37		57	5	00	8	16		—		8.9	20	2220
22	2440	5	01	5	26		30		58		—		9.8	22	2440
24	2670		24		54	6	00	9	36		—		10.6	24	2670
26	2890		45	6	21		30	10	13		—		11.4	26	2890
28	3110	6	07		49		59		59		—		12.1	28	3110
30	3330		27	7	16	7	28	11	22		—		12.9	30	3330
32	3560		45		42		56		54		—		13.7	32	3560
34	3780	7	03	8	07	8	23	12	26	12	26		14.5	34	3780
36	4000		20		31		56		57		58		15.2	36	4000
38	4220		35		55	9	16	13	25	13	27		15.9	38	4220
40	4440		50	9	18		42		54		59		16.6	40	4440
42	4670	8	05		41	10	08	14	21	14	28		17.3	42	4670
44	4890		20	10	03		34		48		56		18.0	44	4890
46	5110		34		25	11	00	15	15	15	24		18.7	46	5110
48	5330		49		46		25		43		54		19.3	48	5330
50	5560	9	03	11	07		51	16	09	16	22		20.0	50	5560
52	5780		18		28	12	16		37		51		20.6	52	5780
54	6000		32		48		41	17	03	17	18		21.1	54	6000
56	6220		46	12	07	13	04		30		47		21.7	56	6220
58	6440		59		26		27		56	18	15		22.3	58	6440
60	6670	10	11		44		49	18	21		42		22.8	60	6670
62	6890		23	13	01	14	10		46	19	08		23.3	62	6890
64	7110		35		17		30	19	11		35		23.8	64	7110
66	7330		47		33		50		35	20	00		24.3	66	7330
68	7560		58		48	15	10		59		26		24.8	68	7560
70	7780	11	09	14	03		30	20	23		51		25.3	70	7780
72	8000		21		18		51		47	21	17		25.8	72	8000
74	8220		33		33	16	11	21	10		43		26.3	74	8220
76	8440		45		48		31		33	22	12		26.8	76	8440
78	8670		56	15	03		51		56		38		27.3	78	8670
80	8890	12	07		18	17	11	22	18	23	05		27.7	80	8890
82	9110		18		33		30		39		31		28.2	82	9110
84	9330		30		48		50	23	01		56		28.7	84	9330
86	9560		41	16	03	18	10		22	24	19		29.2	86	9560
88	9780		53		18		30		43		42		29.6	88	9780
90	10000	13	04		33		50	24	02	25	03		30.1	90	10000

Epizentral- entfernung $\Delta$		Laufzeit von										Epizentral- entfernung $\Delta$			
		$P_n$		$P'$		$PP$		$\bar{S}_c P_c \bar{S}$		$PPS$				$\bar{S}_c P_c \bar{S} P$	
Grad	km	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	Grad	km
92	10 220	13	15	—	—	16	48	23.8	26.0	—	—	30.6	—	92	10 220
94	10 440		25	—	—	17	03	24.0	26.4	—	—	31.1	—	94	10 440
96	10 670		35	—	—		18	24.2	26.9	—	—	31.5	—	96	10 670
98	10 890		45	—	—		33	24.4	27.3	—	—	32.0	—	98	10 890
100	11 100		55	17	50		48	24.5	27.7	—	—	32.5	—	100	11 100
105	11 670	14	18	18	10	18	25	24.9	28.7	—	—	33.5	—	105	11 670
110	12 220		48	—	—	30	19	03	25.3	29.7	—	34.6	—	110	12 220
115	12 780	15	04	—	—	48	40	25.7	30.7	30.1	—	35.7	—	115	12 780
120	13 330		27	19	02	20	18	26.0	31.6	30.8	—	36.8	—	120	13 330
125	13 890		50	—	—		55	26.2	32.5	31.5	—	37.8	—	125	13 890
130	14 440	16	13	—	—	20	21	32	26.4	33.3	32.0	38.9	—	130	14 440
135	15 000		36	—	—	29	22	19	26.6	34.2	32.6	39.9	—	135	15 000
140	15 560		58	—	—	38	44	26.8	35.1	33.1	33.1	40.9	—	140	15 560
145	16 110	17	21	—	—	47	23	26	27.0	36.0	33.6	41.9	—	145	16 110
150	16 670		43	—	—	56	46	27.1	36.9	34.1	34.1	42.8	—	150	16 670
155	17 220	18	06	20	04	24	17	27.2	37.7	34.6	34.6	43.8	—	155	17 220
160	17 780		(29)	—	—	12	47	27.3	38.5	35.1	35.1	44.7	—	160	17 780
165	18 330		(52)	—	—	18	25	17	27.4	—	35.6	45.6	—	165	18 330
170	18 890	19	(15)	—	—	19	46	27.4	—	36.1	36.1	46.4	—	170	18 890
175	19 440		(38)	—	—	20	26	15	27.5	—	36.5	47.2	—	175	19 440
180	20 000	20	(00)	—	—	20	40	27.5	—	37.0	37.0	48.0	—	180	20 000
$\Delta$ Grad	. . . . .	135				140		145	150	160	170	180			
$P_c P_c \bar{S}$	. . . . .	23.0				23.3		23.5	23.6	23.7	23.8	23.9	Min.		

Wiechert-Zöppritz, Geiger-Gutenberg, O. Hecker und S. W. Visser (vermutlich noch weiterer Kurven, z. B. Klotz, Milne, Zeissig u. a.) zur Folge gehabt hätte.

Die systematische Abweichung dieser Kurven von den Werten, die A. Mohorovičić abgeleitet hat, erscheint nun in etwas anderem Lichte, und aus der Tatsache, daß die mittlere Abweichung bis  $\Delta = 6000$  km etwa  $+ 4$  sec beträgt, kann man schließen, daß der erwähnte systematische Fehler  $f$  etwa diesen Betrag hat. Von  $\Delta = 6000$  km ab wird die allgemeine Streuung der Werte größer, zum Teil liegt dies an der Tatsache, daß die  $P$ -Wellen dann abnehmen, und insbesondere von  $\Delta = 9000$  km ab bei schwächeren Beben und geringerer Instrumentalvergrößerung der eigentliche Beginn nicht registriert wird, sondern eine spätere Welle.

Die Folgerung, die sich für die Praxis ergibt, lautet also, daß die Kurve von A. Mohorovičić, zu deren Aufstellung jedes verwandte Beben für sich untersucht wurde<sup>4)</sup> unter Berücksichtigung der verschiedenen von Mohorovičić gefundenen Einsätze, die allen anderen Bearbeitern von Laufzeitkurven noch unbekannt waren, unbedingt den Vorzug verdient, daß andererseits die „Mittelkurve“ von Krumbach ebenfalls den erwähnten systematischen Fehler  $f$  enthält. Auch J. B. Macelwane<sup>5)</sup>, der neuerdings Laufzeittabellen zusammengestellt hat, ging für die  $P$ -Wellen von der Kurve von Mohorovičić aus.

Komplizierter liegen die Verhältnisse bei der Laufzeitdifferenz  $S-P$ . Hier fehlt, wie zu erwarten, der systematische Unterschied; die Kurven der anderen Autoren liegen bis etwa  $\Delta = 7000$  km über, dann unter der Kurve von Mohorovičić. Bis 4500 km stimmt übrigens die Kurve von Visser, welche das meiste Beobachtungsmaterial enthält, gut zu ersterer, erst bei  $\Delta = 7300$  km überschreitet der Unterschied  $\pm 5$  sec, was bei  $S$  mit seinem vielfach nicht ganz sicher festzulegenden Beginn durchaus innerhalb der Beobachtungsfehler ist. Aus den Berichten läßt sich ja leider in den seltensten Fällen entnehmen, ob der Einsatz von  $S$  gut oder schlecht definiert ist.

Von  $\Delta =$  etwa 9000 km ab tritt hier eine neue Komplikation auf: Vor der  $S$ -Welle liegt mit wachsendem Zeitabstand die Welle  $\overline{S_c P_c S}$ , die im Mantel transversal, im Kern longitudinal schwingt. Sie wurde rein theoretisch von B. Gutenberg 1912 gefunden<sup>6)</sup>, in dem Material von S. W. Visser (a. a. O.) ist sie deutlich zu erkennen, auch bei zahlreichen Beben wurde sie beobachtet (vgl. z. B. die Berichte von Wien von V. Conrad), schließlich stellte H. Turner<sup>7)</sup> ohne Kenntnis der vorhergehenden Arbeiten die Laufzeitkurve dieser Welle fest — er bezeichnete sie zuerst als  $Y$ -Welle — und wies dann auf ihre Identität mit der genannten theoretisch gefundenen Welle hin. Wir haben also nur bis etwa  $\Delta = 9000$  km  $S$  als ersten Einsatz der zweiten Vorläufer, von da ab übernimmt  $\overline{S_c P_c S}$  diese Rolle. Analog verdeckt die Welle  $\overline{P_c P_c S}$  stellenweise die einmal reflektierten Longitudinalwellen. Es seien daher in diesem Zusammenhange auch die Laufzeiten dieser Wellen gegeben. Die vorstehenden Laufzeittabellen sollen im übrigen lediglich einen Überblick geben; es ist nicht beabsichtigt, sie als „Referenzwerte“ vorzuschlagen, solche können vielmehr erst nach längerer Diskussion der Erfahrungen, welche mit den Kurven gemacht wurden, aufgestellt werden.

#### Literatur.

- 1) Hodografi . . . , Rad jugoslav. Acad. **226**, 94.
- 2) Gutenberg, Bearbeitung von Aufzeichnungen einiger Weltbeben. Abh. der Senckenberg. naturf. Ges. **40**, 57 (1925).
- 3) Bericht über die Tagung in Jena 1923, S. 5.
- 4) Gerlands Beitr. z. Geophysik, **14**, 199 (1916).
- 5) Table of travel times, 1926, hektographiert.
- 6) Über Erdbebenwellen VII. A, Nachr. d. K. Ges. d. Wissensch., Göttingen 1914.
- 7) Gutenbergs  $S_c P_c S$ . Seismol. invest., Brit. Assoc., Sect. A, 31. Report, Oxford 1926, S. 4.

---

## Erdbeben, Mondphasen, Sonnenflecken.

Von V. Conrad in Wien.

Die von Herrn O. Myrbach in dieser Zeitschr. **2**, 217—222 gegebenen Häufigkeitszahlen werden in bezug auf ihre Abweichungen vom arithmetischen Mittel untersucht. Die Abweichungen scheinen den Gesetzen zufälliger Fehler zu gehorchen.

Herr O. Myrbach ist in einem Aufsatz „Ein Beitrag zur Frage, ob Sonnenflecken und Mondphase einen auslösenden Einfluß auf Erdbeben haben“ (diese